

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

ÚT ÉS VASÚTÉPÍTÉSI TANSZÉK

**Hideg remix eljárások hazai alkalmazása
a külföldi gyakorlat tükrében**

DIPLOMAMUNKA

Készítette:

Balázs Júlia

*Infrastruktúra-
építőmérnök MSc*

Konzulens:

Dr. Kisgyörgy Lajos

Egyetemi docens

Társ-konzulensek:

Dr. Ambrus Kálmán

Ny. egyetemi adjunktus

Bebők Gábor

*3R Magyar Remix
Egyesület*

- Budapest, 2014 -

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

ÚT ÉS VASÚTÉPÍTÉSI TANSZÉK

**Hideg remix eljárások hazai alkalmazása
a külföldi gyakorlat tükrében**

Készítette: Balázs Júlia

Diplomamunka kódja: MSC-G-010-13/14/2

Konzulensek: Dr. Ambrus Kálmán, Dr. Kisgyörgy Lajos, Bebők Gábor

Összefoglaló

A XXI. században ez erősödő környezettudatos szemléletmódnak köszönhetően a természeti erőforrásokkal való takarékoskodás és az anyagok újrahasznosítása az útépítés területén is egyre nagyobb teret hódít. Jelen diplomamunka keretén belül az egyik legjelentősebb felújítási eljárás, a helyszíni hideg remix technológia kerül bemutatásra.

A célkitűzések megfogalmazása, valamint az újrahasznosítási eljárások technológiai és történeti fejlődésének áttekintését követően ismertetésre kerülnek a különböző útfelújítási lehetőségek, úgymint a keverőtelepi, a helyszíni és a mobil technológiák. Ezt követően a helyszíni hideg remix eljárás változatainak, a hidraulikus, a bitumenes és a vegyes kötőanyagú technológiák bemutatására kerül sor.

A különböző technológiai változatok közötti döntés előkészítése során elvégzendő vizsgálatok áttekintése után a hideg remix eljárás során alkalmazandó gépláncok ismertetése következik.

A hazai szabályozási környezet bemutatását követően ismertetésre kerülnek a magyar és német gyakorlat sajátosságai, valamint az aktuális külföldi technológiai újítások. Végül a hazai gyakorlat értékelésére és annak módosítására való javaslattételre kerül sor.

KULCSSZAVAK: hideg remix eljárás, mobil újrahasznosítás, újrahasznosító géplánc, szabályozási környezet

BUDAPESTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF HIGHWAY AND RAILWAY ENGINEERING

**The application of cold recycling technology
in the light of international practice**

Written by: Balázs Júlia

Code of the thesis: MSC-G-010-13/14/2

Consultants: Dr. Ambrus Kálmán, Dr. Kisgyörgy Lajos, Bebók Gábor

ABSTRACT

In the 21st century thanks to the increasingly cover of environmentally friendly approach, the saving of natural resources and recycling of materials play bigger part of road construction. In this thesis one of the most significant recycling process, the cold in place recycling technology will be presented.

After the wording of objects and the review of the technological and historical development of recycling procedures, the different road reconstruction options will be described, as the in-plant, the in-place and the mobile technologies. Then the versions of cold in-place recycling process, the hydraulic, the bituminous and the mixed binder technologies, will be presented.

After the review of the investigations which help the choice between the technological versions, the machine chains of the cold in-place recycling will be demonstrated.

After the presentation of the domestic regulation, the specificities of the hungarian and german practice and the actual foreign innovations will be presented. Finally the domestic practice will be evaluated, and some suggestions will given for its modification.

KEYWORDS: cold recycling, mobile process, recycler machine chain, regulation

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

ÚT ÉS VASÚTÉPÍTÉSI TANSZÉK

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki Dr. Ambrus Kálmán ny. egyetemi adjunktusnak, tanszéki konzulensemnek és Bebők Gábor úrnak, külső konzulensemnek, a 3R Magyar Remix Egyesület titkárának, szakmai segítségükért.

**HIDEG REMIX ELJÁRÁSOK HAZAI ALKALMAZÁSA
A KÜLFÖLDI GYAKORLAT TÜKRÉBEN**

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS.....	1
2. AZ ÚTFELÚJÍTÁSI TECHNOLÓGIÁKRÓL ÁLTALÁNOSAN	3
2.1. Az aszfalt recycling története.....	5
2.1.1. A technológia fejlődése.....	5
2.1.2. A szabályozási stratégiai fejlődése	7
2.2. Gazdasági, műszaki és környezeti feltételrendszer.....	8
2.2.1. Gazdasági szempontok.....	8
2.2.2. Műszaki szempontok	9
2.2.3. Környezetvédelmi szempontok.....	11
3. ÚJRAHASZNOSÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK	12
3.1. Keverőtelepi újrahasznosítás	13
3.1.1. Pályaszerkezet bontási technológiák.....	13
3.1.2. Bontott anyag tárolása.....	14
3.1.3. Meleg eljárásos keverőtelepi technológia.....	15
3.1.4. Hideg eljárásos keverőtelepi technológia	16
3.2. Helyszíni újrahasznosítás	16
3.2.1. Meleg eljárásos technológiák.....	17
3.2.2. Hideg eljárásos technológiák	22
3.3. Mobil újrahasznosítás	25
4. HIDEG HELYSZÍNI ELJÁRÁSOK TECHNOLÓGIA VÁLTOZATAI.....	28
4.1. Hidraulikus kötőanyagú alapréteg	28
4.1.1. Cement kötőanyagú alapréteg.....	28
4.1.2. Cementtej kötőanyagú alapréteg.....	29
4.2. Bitumenes kötőanyagú alapréteg	30
4.2.1. Bitumenemulzió kötőanyagú alapréteg.....	30
4.2.2. Habosított bitumen kötőanyagú alapréteg	32
4.2.3. Az emulziós és habosított bitumen kötőanyag összehasonlítása	36
4.3. Vegyes kötőanyagú alapréteg	37
4.4. Változatok közötti döntés	38
5. A TERVEZÉST MEGELŐZŐ VIZSGÁLATOK.....	42
5.1. Adatgyűjtés, rendelkezésre álló információk.....	42
5.1.1. Történeti adatok	42
5.1.2. Tervezési forgalom	43
5.2. Előzetes vizsgálatok.....	44
5.2.1. Vizuális állapotfelvétel	44
5.2.2. Homogén szakaszokra bontás	45
5.3. Részletes vizsgálatok	46

6. A HIDEG REMIX GÉPEI	48
6.1. Kötőanyag terítő és adagoló gépek	49
6.1.1. Szilárd halmazállapotú kötőanyagot terítő gépek	49
6.1.2. Folyékony halmazállapotú kötőanyagot adagoló gépek	50
6.2. Recycler egységek	51
6.2.1. Marókeverő	51
6.2.2. Kényszerkeverő.....	54
6.3. Mobil vontatott törő	56
6.4. Mobil újrahasznosítás keverő egysége.....	57
7. HAZAI SZABÁLYOZÁS BEMUTATÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE	60
7.1. Az alkalmazás feltételei	61
7.2. A tervezés menete	63
7.2.1. Állapotfelvétel.....	63
7.2.2. A beavatkozás típusának kiválasztása, az alapréteg megtervezése.....	63
7.3. Építési előírások.....	68
7.3.1. Általános építési előírások	69
7.3.2. A kivitelezés eszközei.....	70
7.3.3. A kivitelezés és burkolatépítés.....	70
7.4. Minőségi követelmények	71
8. HAZAI ÉS KÜLFÖLDI EREDMÉNYEK, TAPASZTALATOK	73
8.1. Hazai közúthálózat helyzete	73
8.2. Hazai alkalmazások	74
8.3. Hazai eredmények.....	77
8.4. Hazai tapasztalatok	79
8.5. A német és magyar gyakorlat összehasonlítása	80
8.5.1. Előkészítő munkák.....	80
8.5.2. Kivitelezés menete	81
8.5.3. Alkalmazott kötőanyag	82
8.5.4. Alkalmazott rétegrend.....	82
8.6. Technológiai újdonságok	84
8.6.1. NovoCrete	85
8.6.2. NovoFlex.....	87
9. ÉRTÉKELÉS ÉS JAVASLAT.....	89
10. ZÁRSZÓ.....	91
11. IRODALOMJEGYZÉK.....	92

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Kimutatás a közlekedési munkamegosztás helyzetéről.....	3
2. ábra: Pályaszerkezet újrahasonosítási technológiák	12
3. ábra: A burkolati rétegek hőmérséklet-változása meleg újrahasonosítási eljárás során	18
4. ábra: Burkolatprofil az ADMIX eljárás előtt és után.....	19
5. ábra: Burkolatprofil a REMIX PLUSZ eljárás előtt és után.....	20
6. ábra: Bitumenemulzió kötőanyagú alapréteg építése	31
7. ábra: Bitumen habosítási eljárás elvi sémája.....	33
9. ábra: Marókeverő és a hozzá tartozó adagoló rendszer vázlatrajza.....	52
10. ábra: Kényszerkeverő és a hozzá tartozó adagoló rendszer vázlatrajza	55
11. ábra: Kényszerkeverő változtatható munkaszélességgel	55
12. ábra: Mobil keverő alapegységei.....	58
13. ábra: A mobil keverő és a hozzá tartozó egységek elhelyezkedése.....	59
14. ábra: A magyar és német gyakorlat által alkalmazott típuspályaszerkezetek.....	83
15. ábra: Hideg remixszel felújított pályaszerkezetek.....	84
16. ábra: Hagyományos és NovoCrete technológiával épített pályaszerkezetek.....	86
17. ábra: Leromlott állapotú pályaszerkezet felújítása NovoFlex technológiával.....	88

KÉPJEGYZÉK

1. kép: Mobil újrahasonosítási eljárás.....	26
2. kép: SW 19 SC típusú száraz kötőanyag terítő gép.....	49
3. kép: SW 3 FC típusú terítőgép	50
4. kép: WR 2000 típusú remixer.....	53
5. kép: Nagyméretű burkolatdarabok felszínre fordítása.....	56
6. kép: Burkolat törése vontatott mobil törőgéppel	57
7. kép: Hideg remixszel épült pályaszerkezetből származó fűrt minta.....	83
8. kép: A NovoFlex technológia építésére alkalmas célgép	87

DIAGRAM JEGYZÉK

1. diagram: A pályaszerkezet állapotának alakulása az élettartam függvényében	10
2. diagram: Energiafelhasználás újrahasonosítás és hagyományos építés esetén.....	24
3. diagram: Habosított bitumen expanziója és felezési ideje a víztartalom függvényében	34
4. diagram: Homogén szakaszokra bontás	45
5. diagram: Újrahasonosított felületek nagysága évenkénti bontásban	74
6. diagram: Felújítási munkák úthálózati elemek közötti megoszlása	75

TÁBLÁZAT JEGYZÉK

1. táblázat: A habosított bitumennel megerősített réteg jellemző paraméterei.....	36
2. táblázat: Bitumenes kötőanyagú eljárások és meleg remix eljárás összehasonlító táblázata	37
3. táblázat: Vizuális állapotfelvétel során vizsgálendő hibák hibacsoportonként	44
4. táblázat: Tervezési forgalom szerinti forgalmi terhelési osztályok	62
5. táblázat: Az egyes szilárdsági osztályok nyomószilárdsági értékei.....	65
6. táblázat: Minimális teherbírési értékek az alapréteg kora szerint.....	67
7. táblázat: Próbaszakaszok kísérleti eredményei.....	78

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A személyek és tárgyak mozgatásának igénye már az őskorban fennállt, az elmúlt két évszázadban pedig a mobilitás a technika nagyarányú fejlődésével természetessé is vált.

A mobilitással párhuzamosan folyamatosan fejlődött a közlekedési infrastruktúra, mind mennyiségi, mind pedig minőségi értelemben. Annak ellenére, hogy a közlekedés és áruszállítás az évszázadok folyamán állandó szerepet játszott a civilizációk működésében, a társadalom csak az elmúlt évtizedekben vált érzékenyé annak környezeti hatásaira.

A közlekedés során nemcsak a káros anyagok és a zaj kibocsátása jelent környezeti terhelést, maga a közlekedési infrastruktúra is jelentős hatást gyakorol anyag- és energiaigény szempontjából a természetre. Így a fejlett országokban a közlekedési létesítmények építésénél, fenntartásánál, üzemeltetésénél kiemelt figyelmet kap a környezetvédelem.

A XXI. században az Európai Unió egyik legfőbb célkitűzése a fenntartható fejlődés megvalósítása. Cél, hogy az emberiség jelen szükségleteinek kielégítése, a környezeti és a természeti erőforrások jövő generációk számára történő megőrzésével egyidejűleg menjen végbe.

Ennek az erősödő környezettudatos szemléletmódnak köszönhetően a modern gazdaságokban megnövekedett a természeti erőforrásokkal való gazdálkodás jelentősége, melynek keretén belül elterjedt ezen erőforrások újrahasznosításának lehetősége.

Mivel az útépítési anyagok 100%-ban újra felhasználhatók, ezen a területen az újrahasznosítás nemcsak gazdasági és műszaki, hanem környezeti szempontból is indokolt.

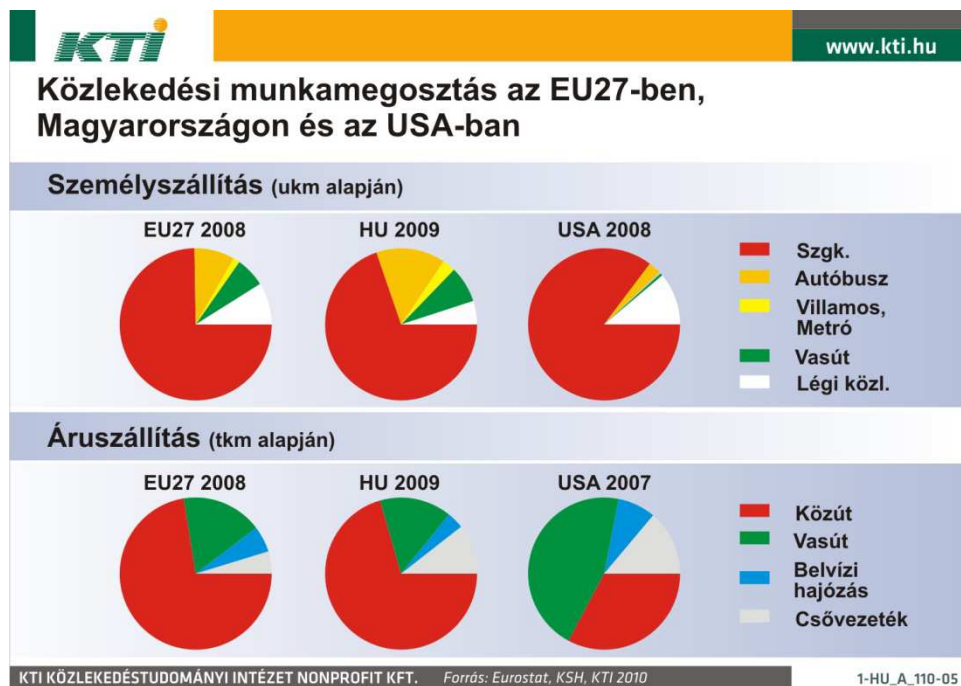
Ma már számos technológia áll rendelkezésre az útburkolatok újrahasznosítására. A technológiák elsődleges célja az aszfalt, mint értékes építőanyag újrahasznosítása, ami történhet helyszíni és telepi körülmények között, hideg és meleg technológia alkalmazásával egyaránt.

Jelen diplomamunka célja, az egyik legjelentősebb újrahasznosítási eljárás, a helyszíni hideg remix technológia hazai alkalmazásának bemutatása és értékelése a külföldi gyakorlat tükrében. Továbbá cél az érvényben lévő hazai műszaki szabályozás ismertetése és értékelése, illetve javaslattétel annak ellentmondásainak feloldására.

2. AZ ÚTFELÚJÍTÁSI TECHNOLÓGIÁKRÓL ÁLTALÁNOSAN

A nagy teljesítőképességű és hatékony közlekedési infrastruktúra nemzetgazdasági szempontból az egyik legjelentősebb szektor. Hazánkban a személy- és áruszállítási igény kielégítésének legnagyobb hányada a közút felhasználásával megy végbe.

Az első ábrán látható egy a Közlekedéstudományi Intézet által készített kimutatás a közlekedési munkamegosztás arányairól az Európai Unió államaiban, Magyarországon és az Egyesült Államokban.



1. ábra: Kimutatás a közlekedési munkamegosztás helyzetéről

(Forrás: www.kti.hu)

Ebből adódóan elmondható, hogy döntő jelentősége van az úthálózat megfelelő állapotának, amelyet az időben végrehajtott, szakszerű útfenntartás és útfelújítás biztosíthat.

Az útburkolatok állapota, a járműforgalom okozta terhelés és egyes környezeti tényezők hatására, fokozatosan romlik. Ezért a biztonsági, gazdasági és utazáskényelmi elvárások teljesülése érdekében különböző fenntartási és felújítási

technológiákkal az utak romlását lassítani, illetve azokat bizonyos időközönként a kiinduló helyzethez hasonló állapotra szükséges hozni.

A burkolatok méretezése során tervezett elhasználódás felgyorsulását megelőzendő, úgynevezett rutinszerű fenntartási tevékenységek végrehajtása szükséges, melyek közül a legfontosabb a vízelvezető rendszerek karbantartása, valamint a burkolatokon megjelenő repedések, felületi hámlások és kátyúk megfelelő kezelése.

A nagyobb felületre kiterjedő felújítások elvégzésére számos technológia áll rendelkezésre.

Azokban az esetekben, amikor az aszfaltburkolat teherbírása még megfelelő, azonban annak felülete tükrössé vált, vagy ha azon kisebb felületi hibák jelentek meg, a felületi bevonatok alkalmazhatóak. Ha ez az állagmegóvó fenntartási beavatkozás megfelelő időben történik a burkolat leromlási ideje meghosszabbítható.

Teherbírási elégtelenség, burkolatjavítások, burkolat korszerűsítések és megerősítések esetén azonban nem elegendő felületi bevonat készítése, ilyen esetekben az aszfaltrétegek felújítása válik szükségessé.

Magyarországon jellemzően a megnövekedett tengelyterhelés, az intenzív forgalom és a nyári magas hőmérséklet hatására kialakuló keréknyomvályúk megszüntetése teszi szükségessé a burkolatbontást. Erre sor kerülhet nagymértékben deformálódott útpálya, repedezett, kátyús burkolat és a megerősítést megelőző profilkiigazítás miatt is.

Az aszfaltok előnyös tulajdonsága, hogy pályaszerkezetben való felhasználás után is értékes marad és újra felhasználható, hiszen a bitumen kötőanyag kémiaiilag nem alakul át és nem végez visszafordíthatatlan kémiai reakciót az ásványi anyagokkal. A bitumen ugyan kémiaiilag módosul (öregedik, keményedik, oxidálódik) azonban az aszfaltanyag bizonyos kezeléssel újra felhasználhatóvá tehető. *(Nemesdy, 1989)*

Az elmúlt évtizedekben az aszfaltok újrafelhasználása folyamatosan fejlődött, így ma már több újrafelhasználási, idegen szóval recycling, technológia is rendelkezésre áll. A következő fejezetben az újrahasznosítási technológiák fejlődésének és azok szabályozási folyamatainak történeti áttekintése kerül bemutatásra.

2.1. Az aszfalt recycling története

2.1.1. A technológia fejlődése

A motorizáció fejlődésével a XX. században egyre nagyobb igény mutatkozott a jobb minőségű és gyors közlekedést lehetővé tevő úthálózatok iránt. Ez magával vonta a II. Világháború utáni nagyarányú útépitéseket, elsősorban az Amerikai Egyesült Államokban és Németországban.

A hálózatok bővülése, új aszfaltburkolatú utak építése az 1973-ban bekövetkezett első olajválságig folyamatosan emelkedett. A válság negatív hatásai nem csak a benzin és gázolajárakon érződött, hanem más kőolajtermékek, elsősorban a bitumen árán is, melyre az úthálózatok használhatóság fenntartása érdekében továbbra is szükség volt. A válságot megelőzően az elbontott értékes útépitési anyagok nem kerültek újrahasznosításra, legtöbbször csak töltés építés során hasznosították azokat.

Az olajválság hatására az Amerikai Egyesült Államokban felismerték, hogy a felbontott aszfaltanyag nem csak földmű építés során, hanem burkolati rétegek építéséhez is megfelelő lehet.

Ezen felismerést követően az amerikai útépitési gyakorlat azon eljárást alkalmazta, amely során a felbontott aszfalttörmelékot hagyományos keverőtelepekre szállították, ott felmelegítették majd új aszfalt adagolása mellett átkeverték azt. Tulajdonképpen ettől fogva beszélhetünk keverőtelepi újrahasznosításról.

Az első próbaszakaszok eredményeinek kiértékelése után világossá vált, hogy a módszer életképes és gazdaságosan, környezetbarát módon képes az elhasználdott aszfaltburkolatok helyreállítására. Ezt követően a technológia folyamatosan tovább finomodott és 1979-re Németországban is elfogadott felújítási módszerré vált.

Az útépitésben élen járó országokban az 1980-es évek elejétől speciális célgépek kidolgozásával megkezdődött az újrahasznosítási technológiák fejlesztése. Ebben a német Wirtgen cég járt az élen, melynek mérnökei 1985-ben kifejlesztették az RX 4500 jelű berendezést, amely olyan önjáró, maró-, keverő- és terítő egységgel egybeépített célgép, mely képes az önjáró, melegítő egységekkel, előre felmelegített burkolat felmarására, anyagának átkeverésére új folyékony kötőanyag, vagy

aszfaltkeverék hozzáadását követően, a felújított keverék elterítésére és előtömörítésére.

A németországi elterjedést követően a helyszíni meleg újrahasznosítási technológia rohamosan kezdett terjedni Európa szerte. Ezen eljárások Magyarországon német és holland közvetítéssel az 1980-as évek végén jelentek meg a hazai vállalatok gyakorlatában, kezdetben csak kísérleti, később üzemi szinten.

Azonban fontos megemlíteni, hogy a magyarországi meleg újrahasznosítás az 1920-as évekig nyúlik vissza, amikor is már a Magyar Asphalt Vállalat Illatos úti keverőtelepén állítottak elő úgy öntött aszfaltot, hogy ahhoz régi öntött aszfalt burkolat bontásából származó anyagot adagoltak vissza.

A helyszíni meleg remix technológia magyarországi első megjelenése 1992-re tehető, amikor a Strabag Hungária Rt. a 4. sz. és 44. sz. főutak egy-egy szakaszán elkészítette első kísérleti szakaszait.

Hazánkban a mai napig mintegy 2 millió négyzetméteren készült helyszíni meleg újrahasznosítási technológiával burkolat felújítás. Ennek 60 %-a autópályán, 35 %-a első vagy másodrendű főúton, míg a maradék 5 %-a alsóbb rendű úthálózati elemeken végzett beavatkozás volt.

A másik jelentős újrahasznosítási eljárás, a hideg remix technológia pedig Európában három-négy évtizedes múltra tekint vissza. A tengeren túl és Európában is az építőgép gyártók fejlesztették ki a célgépeket és az ahhoz szükséges technológiát, valamint készítettek technológiai leírásokat, minőségi követelményrendszert.

Az ázsiai országokban a nagy multinacionális társaságok vezették be ezt a takarékos, nagy hatékonyságú gyors eljárást, ahol a nagy távolságok miatt helyi anyagokat kellett helyben hasznosítani.

Németország egyesítésekor a hideg remix eljárás volt a vezértechnológia az autópályák felújításakor. Franciaországban a kisebb forgalmú utakon, míg Németországban az autópályákon is az egyik vezető technológia volt és ma is gyakorlat.

Hazánkban a technológia több mint két évtizede jelent meg. A nagyobb vállalatok a technológiai ismeretek elsajátításával felkészültek a teljes vastagságban történő pályaszerkezet felújításra.

Magyarországon speciális célgépet aszfalt újrahasznosításra először 1996-ban alkalmaztak, mely során a 86-os út 3+000 és 5+000 szelvények közötti szakaszán, egy közel 15 000 m²-es felületen helyszíni hideg újrahasznosítást végeztek el. Azóta hazánkban mintegy 300 km burkolat-felújítás készült helyszíni hideg remixes technológiával. *(Fenntartható utak. Fenntartható útügy nemzetgazdasági szintű optimalizálása, 2013)*

2.1.2. A szabályozási stratégiai fejlődése

Az elmúlt évtizedekben a fenntartható fejlődés érdekében a technológiai fejlődéssel egy időben megszületett több, az újrahasznosításra vonatkozó irányelv és szabályozás is.

2005. december 21-én az Európai Közösségek Bizottsága kiadta COM (2005) 666. számú közleményét „Az erőforrások fenntartható felhasználásának előtérbe helyezése: a hulladékkeletkezés megelőzésére és a hulladékok újrafeldolgozására irányuló tematikus stratégia” címmel. A stratégia szerint a hulladék lehetőséget jelent, hiszen az az ipar számára értékes erőforrásnak tekinthető.

Jelenleg az Európai Unió hulladékgazdálkodási politikájának alapja a hulladékgazdálkodási hierarchia koncepciója. Eszerint az ideális eset a hulladék keletkezésének megelőzése, és ha ez nem lehetséges, akkor a lehető legtöbb keletkező hulladék esetében alkalmazni kell az újrahasználatot, az újrafeldolgozást vagy az energetikai hasznosítást.

A stratégia továbbá kimondja, hogy az Európai Unió tagállamainak feladata ennek jogi háttérének kialakítása, a szervezeti feltételek létrehozása, a szabványosítás, a gazdasági ösztönzők alkalmazása és a feladatok tervezése.

Magyarország 2004-es Európai Uniós csatlakozásával vállalta, hogy igazodik annak egységes környezetvédelmi stratégiájához. Eszerint a tagállamoknak a természeti tőke védelmét kell szolgálniuk, és arra ösztönözniük a vállalatokat és a

vállalkozásokat, hogy helyezték környezetbarát alapokra az uniós gazdaságot, továbbá védelmezzék az Európai Unióban élő emberek egészségét és jóllétét.

Ezen vállalást előkészítve megszületett az útburkolatok újrahasznosítására vonatkozó szabályozás, melyet a következő Útügyi Műszaki Előírások tartalmaznak:

- | | |
|-------------------------------|--|
| e-UT 05.02.51 (ÚT 2-3.706): | Bontott útépitési anyagok újrahasználata és hasznosítása. Általános feltételek. |
| e-UT 05.02.52 (ÚT 2-3.707): | Bontott útépitési anyagok újrahasználata I
Pályaszerkezet helyszíni hideg
újrahasznosítása |
| e-UT 05.02.53 (ÚT 2-3.708): | Bontott útépitési anyagok újrahasználata II.
Telepen történő hideg újrahasznosítás |
| e-UT 05.02.55 (ÚT 2-3.709): | Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek helyszíni
újrafelhasználása melegremix eljárással |
| e-UT 05.02.31 (ÚT 2-3.710): | Útbeton betonhulladék újrahasznosításával |
| e-UT 05.02.15 (ÚT 2-3.301-8): | Útépitési aszfaltkeverékek. Visszanyert
aszfalt. |

Azonban ezen előírások az újrahasznosítási technológiák gyors fejlődése miatt mára már nem felelnek meg az elvárásoknak, hiszen nem követték az elmúlt 6 évben történt technológiai változásokat, ezért ezek korszerűsítését mielőbb el kell végezni.

2.2. Gazdasági, műszaki és környezeti feltételrendszer

Mint már az előzőekben is említésre került, az útépitési anyagok újrahasznosítása a környezeti előnyök mellett gazdasági és műszaki szempontból is előnyös.

2.2.1. Gazdasági szempontok

Gazdasági szempontból azon újrahasznosítási módszerek indokolhatók, amelyek az építető és a kivitelező szempontjából kisebb költséget jelentenek, mint a

pályaszerkezet felújításának vagy megerősítésének hagyományos módszerei, melyek új aszfaltréteg ráépítéssel adnak megoldást a problémákra.

Európai tapasztalatok szerint, az eddig végzett felújítási munkák alapján megállapítható, hogy a hagyományos felújítási munkákhoz képest 20-25 %-os költségmegtakarítás érhető el a helyszíni meleg remixes technológia alkalmazásával.

A számításokból egyértelműen levonható, hogy a meleg remixes technológiának a hagyományos technológiákkal szemben több gazdasági előnye is van, hiszen a remix technológia alkalmazása során a szállítási igények csökkenése mellett az anyagköltségek is mérséklődnek.

A hideg remix technológiát tekintve elmondható, hogy ha a kivitelezésre kijelölt útszakaszon 7-8 cm vagy ennél nagyobb vastagságú aszfaltrétegre van szükség, akkor egy réteg 4-5 cm vastagságú aszfaltburkolat áráért, minden árviszony mellett gazdaságos az átlag 20-25 cm vastagságban épített hideg remixelt burkolat. (*Fenntartható utak, Fenntartható útügy nemzetgazdasági szintű optimalizálása, 2013*)

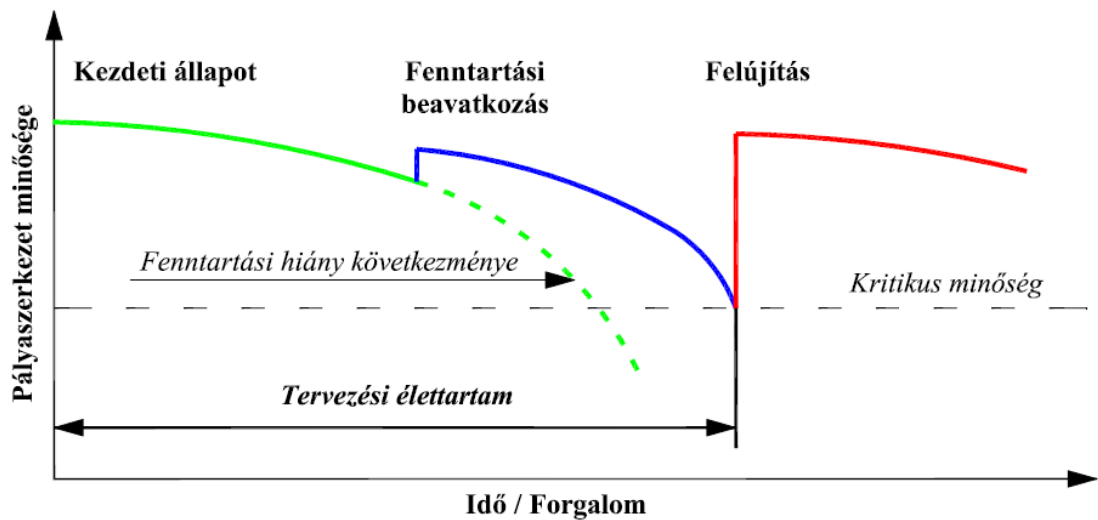
Tehát nemzetgazdasági szinten vizsgálva az újrahasznosítás fogalmkörét megállapítható, hogy az útépitési anyagok újrahasznosítása költségkímélő, felszabadítja a forrásokat más útépitésekre, rehabilitációra vagy állagmegóvásra. Így a régi aszfalt felhasználása az állam és egyéb tulajdonosok érdeke és kötelessége is. Azonban a kivitelezők érdekeltté tétele is fontos feladat, hogy hatékonyan és magas színvonalon teremtsék meg az újrahasznosítási technológiák műszaki feltételrendszerét.

2.2.2. Műszaki szempontok

Burkolatok újrahasznosítása esetén műszaki szempontból alapkövetelmény, hogy a beépített újrahasznosított rétegek megfeleljenek a műszaki szabályozásnak, és a kialakított burkolati rétegek legalább olyan tartósságúak legyenek, mint egy újjépítésű pályaszerkezet.

Műszaki szempontból vizsgálva az újrahasznosítás témakörét elmondható, hogy a megfelelő időben elvégzett karbantartási és fenntartási munkák a pályaszerkezet használhatóságának időtartamát növelhetik, azonban a tervezési időtartam eltelte után sok esetben csak a teljes burkolat felújítás ad megfelelő megoldást a pályaszerkezetben jelentkező hibákra.

A következő diagramon a pályaszerkezet leromlásának alakulása látható az élettartam függvényében.



1. diagram: A pályaszerkezet állapotának alakulása az élettartam függvényében

(Forrás: Wirtgen GmbH.: Cold recycling. Wirtgen Cold Recycling Technology, 2012)

A diagramon látható, hogy az élettartam folyamán áthaladó forgalom hatására a pályaszerkezet állapota folyamatosan romlik. A nem megfelelően végzett, vagy elhanyagolt fenntartási beavatkozás hatására a burkolat állapota elér egy kritikus szintet, amely után használhatatlanná válik. Azonban a megfelelően végzett fenntartási beavatkozások ellenére is, a tervezési élettartam végére, a pályaszerkezet ugyancsak használhatatlanná válhat. Ekkor a jól megválasztott felújítási technológia alkalmazásával a burkolat a továbbiakban is megfelelően teljesítheti funkcióját.

2.2.3. Környezetvédelmi szempontok

A burkolatok újrahasznosítása több szempontból előnyös környezetvédelmi oldalról is. A már korábban említett természeti erőforrásokkal való takarékoskodás mellett fontos szempont, hogy a hulladék keletkezése is megelőzhető ezen technológiákkal. Annak ellenére, hogy az aszfalt nem veszélyes anyag, a nagy depókban történő tárolása amellet, hogy nem esztétikus, jelentős területet igényel, amellyel nő az ipar által elfoglalt természeti területek nagysága.

A helyszíni eljárások további előnye, hogy a szállítási igény csökkenésével annak környezetkárosító hatásai, valamint az alapanyagot termelő kőbányák és bitumengyártók szerepének csökkenésével az élő és épített környezet terhelése is csökkent.

Ma már elmondható, hogy a jelentős technikai tudásnak és a folyamatosan fejlődő gépesítésnek köszönhetően az újrahasznosítási technológiák teljes egészében eleget tesznek a műszaki, gazdasági és környezetvédelmi követelményeknek.

A széleskörű technológiai fejlesztéseknek köszönhetően, a beruházások körülményeinek megfelelően kiválasztható az arra legalkalmasabb felújítási technológia. A következő fejezetekben ezen újrahasznosítási technológiák kerülnek részletes bemutatásra.

3. ÚJRAHASZNOSÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK

A technológiai fejlettségnek köszönhetően az aszfaltok újrahasznosítására mára már több módszer is rendelkezésre áll. Az aszfalt felmarását követően az újrahasznosítandó anyag felhasználható a helyszínen, vagy telepre depóniába szállítható, ahol az, megfelelő előkészítést követően, újra alkalmassá tehető a beépítésre. Emellett létezik egy harmadik újrahasznosítási módszer is, a mobil újrahasznosítás, amely ötvözi a telepi és a helyszíni újrahasznosítás előnyeit.

Ezen túlmenően a visszanyert aszfaltok újrafelhasználására alapvetően két technológia típus áll rendelkezésre, a hideg- és a meleg-eljárásos technológia, melyek végezhetők helyszíni illetve telepi körülmények között is.

A következő ábra ezen technológiai változatok áttekintésére szolgál.



2. ábra: Pályaszerkezet újrahasznosítási technológiák

Jelen fejezetben a burkolatok újrahasznosításának mind a három típusa, a keverőtelepi újrahasznosítás, a helyszíni újrahasznosítás és a mobil újrahasznosítás különböző változatai is bemutatásra kerülnek.

3.1. Keverőtelepi újrahasznosítás

Keverőtelepen történő újrahasznosítás, esetében először a leromlott állapotú, előregedett aszfaltréteg eltávolítását kell elvégezni.

Az újrahasznosítandó aszfalt feldolgozása elsősorban az előkészítő műveletek során kialakult aszfaltdarabok méretétől függ, az aszfaltdarabok méretei pedig nagyban függenek az alkalmazott bontási technológiától. Így e szempontból kétféle aszfalt visszanyerési technológiát különböztethetünk meg, ezek a marás és a bontás vagy aprítás.

3.1.1. Pályaszerkezet bontási technológiák

Aszfaltmarógépek használatakor a felmart apró szemcsés aszfalt, törés és osztályozás után juttatható be a keverőtelepi folyamatba, vagy helyszíni burkolatfelújító gép alkalmazása esetén, átkeverés és javítás után visszaépíthető a burkolatba.

A marási művelet kétféle módszerrel, hideg és meleg marással, hajtható végre.

Meleg marás esetében a gépalkatrészek igénybevétele jóval kisebb, a felmart aszfalt pedig nem aprózódik el. Hátránya, hogy a melegítési folyamat nagy energiaigényű. Emiatt a meleg marást szinte kizárólag csak helyszíni újrafelhasználásra alkalmazzák.

A hidegmarás előnye a kisebb energiaigény mellett, hogy az aszfaltanyag nem károsodik, valamint a művelet bármilyen időjárási körülmények között végezhető. Hátránya azonban, hogy a kőváz jelentősen aprózódik, a marófej folyamatosan nagymértékben kopik, illetve maga az eljárás nagy zajjal és porterheléssel jár.

Az aszfalt visszanyerésének másik módszere a bontás vagy aprítás, ami végezhető bármilyen megfelelő teljesítményű földmunkagép alkalmazásával.

A bontási eljárás nagy előnye, hogy a folyamatnak nincs öregítő hatása, azonban a különböző anyagok bontás közben nem választhatók szét.

A bontókalapács alkalmazásakor a felbontott anyag kb. 100 - 500 mm-es darabokból áll. Az ilyen méretű anyag helyszíni burkolat-felújításra nem alkalmas, de nem lehet azt közvetlenül sem a keverőgépbe, sem a szárítódobba rakni. A nagy darabok felmelegedése ugyanis lényegesen hosszabb időt, vagy magasabb hőfokot igényelne, mint a kis szemcsés zúzaléké, emiatt egyrészt aránytalanul megnövekedne a keverési ciklusidő, másrészt a nagy darabok felszíni rétegeiben a bitumen könnyebben túlmelegedhet, ami a keverék minőség-romlását eredményezheti. (Rácz, 2011)

Így a bontás során nyert durva törmeléket aprítógéppel fel kell dolgozni, ügyelve arra, hogy a 2 mm-nél kisebb szemcsék részaránya, ne legyen nagyobb, mint 45%.

3.1.2. Bontott anyag tárolása

Abban az esetben, ha a visszanyert anyag nem kerül közvetlenül a helyszínen újrahasznosításra, akkor annak tárolását keverőtelepen célszerű végezni. Legfontosabb szempont a keverőtelepi tárolás esetén, hogy a tárolótér burkolatát esséssel kell megépíteni, hogy a vízelvezetés minden esetben biztosított legyen.

További kikötés, hogy az aszfalt-granulátum összetapadásának megelőzése érdekében 3 m-nél magasabb depónia nem építhető. Továbbá hosszabb idejű tárolás esetén az aszfalt-granulátumhoz mészkölisztet, vagy homokot kell hozzákeverni a csomósodás és összetapadás elkerülése érdekében.

Tárolásra vonatkozó további követelmény, hogy a bontott és mart aszfaltot külön kell tárolni, ugyanúgy, mint a kopó-, kötő- és az alaprétegből nyert aszfaltot.

Célszerű az aszfalt-granulátumot tető vagy fólia alatt tárolni, megakadályozva a csapadék behatolását az anyagba. Ugyanis az aszfalt-granulátum nedvességtartalma a visszaadagolhatóság mennyiségi arányát nagyban befolyásolja, így az anyag elnedvesedésének megakadályozásával annak későbbi szárítása kisebb energiát igényel. (Infrastruktúra létesítmények kivitelezése, 2004)

Közvetlenül az újrafelhasználás előtt a bontott aszfaltkeveréket a szennyeződésektől megtisztítják, majd törőberendezéssel felaprítják. A törést követően 0/60 mm szemnagyságú aszfalttörmelék áll rendelkezésre, amit egy osztályozó segítségével az

igényeknek megfelelő frakciókra bontanak. A 0/8-as és a 8/25-ös frakciók már újrafelhasználásra alkalmas, a fennmaradó anyag pedig újabb törési folyamaton megy keresztül. Ezt követően a visszanyert aszfalt az érvényben lévő Útügyi Műszaki Előírásnak megfelelő arányban adagolható az új aszfaltkeverékhez.

3.1.3. Meleg eljárásos keverőtelepi technológia

A meleg eljárásos keverőtelepi eljárás során az újrahasznosítás történhet adagos aszfaltkeverő géppel vagy dobkeverővel.

Adagos keverő használata esetén az újrahasznosítás során hideg és meleg aszfaltgranulátum egyaránt felhasználható. A meleg visszaadagolás jóval nagyobb volumenben történhet, mint a hideg, hiszen hideg visszaadagolás esetén erős gőzképződés megy végbe, valamint ilyen esetekben a szükséges állandó hőmérséklet biztosítása is nehezebb. A granulátum felmelegítésével ezek a folyamatok kiküszöbölhetők. A beadagolást követően a keverőteknőben a granulátum a szükséges adalékanyagokkal összekeveredik és aszfaltot képez.

Dobkeverő esetén nagyobb mennyiségű aszfalt használható fel. A keverés során a dobkeverő jobban homogenizálja az anyagot és eközben egyenletes hőmérsékletet is biztosít. Azonban a képződő keverék tulajdonságai jobban függenek a régi aszfalt minőségétől, mint az adagos keverő használata esetén. Azonban a dobkeverőben a régi aszfalt bitumenje a közvetlen láng hatására károsodhat. Ennek kiküszöbölésére a dob közepén, valamint harmadánál elhelyezett beadagoló recycling-gyűrűt alkalmaznak.

A dobkeverő egy alternatívája a dupladobos keverő, ami két koncentrikus kör keresztmetszetű keverődobból áll. Ezen keverőkben az újrahasznosított anyag adagolási aránya akár az 50-60 tömeg %-ot is elérheti, mivel ebben az esetben, a keverődobban egyenletes a hőmérséklet eloszlás és az anyag is jól homogenizálódik.

3.1.4. Hideg eljárásos keverőtelepi technológia

A telepi hideg eljárásos technológia alkalmazásakor a hideg marást követően a burkolat anyagát keverőtelepre szállítják, ahol az feljavításra, vagy a beépítésig depóniába kerül.

A telepen történő hideg újrahasznosítást indokolhatja a pályaszerkezet elégtelen teherbírása, a 100 mm-nél nagyobb kiterjedésű deformációk, a szélesítések és javítások következtében kialakult inhomogén pályaszerkezet, a talaj teherbírási, víztelenítési és összetételi elégtelensége, valamint a fagyvédelem hiánya is, melynek javítása a burkolati rétegek építése előtt meg kell történjen. (Szakos, 2010)

A visszanyert anyag alapréteg kialakítására alkalmassá tehető. Különböző technológiai változatok állnak rendelkezésre az alkalmazott kötőanyag fajtája szerint. Hidraulikus kötőanyagként cement, ritkább esetekben mész, bitumenes kötőanyagként emulzió vagy habosított bitumen, valamint hidraulikus és bitumenes kötőanyagok együttesen is alkalmazhatók. Emellett általában ásványi anyag pótlásra is szükség lehet.

A kialakított keveréket a helyszínen, hagyományos módon alapréteggként építik be. Ebből fakadóan ezen eljárás előnye, hogy az eltávolított pályaszerkezet alatt elvégezhető a szükséges földmű erősítés, javítás, valamint a vízelvezetési problémák is megoldhatók.

3.2. Helyszíni újrahasznosítás

A helyszíni újrahasznosítás, a külföldi szakirodalom szerint in-place recycling, a telepi újrahasznosításhoz hasonlóan, egyaránt végezhető meleg és hideg eljárásos módszerekkel.

A meleg remix eljárás alkalmazható az e-UT 06.03.13 (ÚT 2-1.202) Útügyi Műszaki Előírás szerinti valamennyi forgalmi terhelési osztályban, elsősorban a D, E, K és R forgalmi terhelési osztályokba tartozó utak aszfaltburkolatának felújítására, ezzel szemben a hideg remix technológia az e-UT 05.02.52 (ÚT 2-3.707) Útügyi Műszaki Előírás szerint csak A, B, C, D és E forgalmi terhelési osztályokban használható. Kísérleti jelleggel készültek már Magyarországon próbaszakaszok 2005-

ben az M0-M1 autópálya csomópont H ágán, és 2012-ben az M1-es autópálya bal pályáján, a Bicskei szakaszon, 1000 m hosszón.

3.2.1. Meleg eljárásos technológiák

A közúti aszfaltburkolatok kopórétegei az állandó és egyre növekvő nehézforgalom hatására károsan deformálódnak. A bekövetkező deformációk, nyomvályúk, általános felületi elhasználódások, repedések egyre kiterjedtebben okoznak balesetveszélyt és igényelnek költséges felújításokat.

A meleg eljárásos módszerek alapja a burkolat felső rétegének marása, melyet a könnyebb fellazíthatóság érdekében melegítés előz meg.

A módszer előnye, hogy a meleg marás következtében az eredeti szemszerkezet nem roncsolódik, valamint a ráépítés, az összekeverés és az újra tömörítés is megoldható a technológia alkalmazásával.

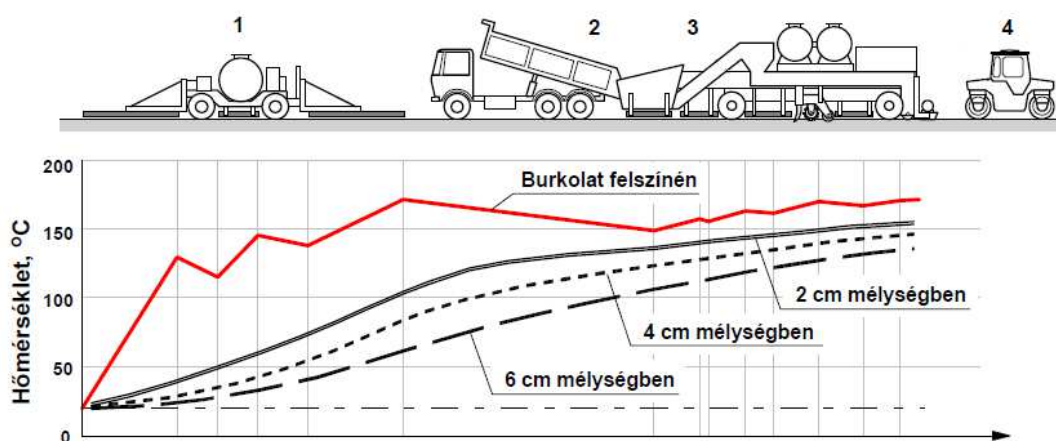
A burkolat felmelegítése történhet gázlángos, infraégős fűtőelemekkel, amelyek a pályaszerkezet felső 3-4 cm vastag rétegét melegítik fel, vagy történhet elektromágneses nagyfrekvenciás hullámokkal működő melegítő egységgel is.

A helyszíni meleg-eljárásos újrahasznosítási technológiák alkalmazásakor megfelelő eredményt csak egyenletes hőmérsékletű réteggel lehet elérni. Az optimális fellazítási hőmérséklet 120-150°C. A melegítőelem teljesítménye és a melegítés időtartama határozza meg, hogy ezt a hőmérsékletet a burkolatban milyen mélységig lehet biztosítani.

Az eljárás során a burkolat felső 4-6 centiméterét előmelegítő gép felmelegíti. A felmelegített, felpuhult kopó réteg a remix gép rotációs marójával fellazításra kerül, majd a fellazított anyag a gép keverőteknőjébe kerül, ahol friss aszfaltkeverék, vagy bitumen hozzákeverésével rejuvenáció következik be. Az új keverék a keverőegységből kikerülve elterítésre kerül a gép szintvezérelt vibrációs terítőpadja által. A frissen terített réteg végleges tömörítése statikus és vibrációs hengerekkel történik. *(Inreco Hungary Kft.: Helyszíni meleg aszfalt újrahasznosítás, 2011)*

Így tehát a technológiát megvalósító géplánc burkolat előmelegítő gépből, helyszíni újrahasznosító gépből, valamint a burkolat fajtájától, vastagságától függően vibro-, gumi- vagy kombihengerekből áll. A következő ábrán ezen technológiai géplánc, valamint a burkolat, melegítés hatására bekövetkező, hőmérséklet-változását bemutató grafikon látható.

A géplánc számozott elemei a következők: 1: mobil inframelegítő, 2: szállítójármű, 3: burkolatfelújító berendezés, 4: tömörítő henger



3. ábra: A burkolati rétegek hőmérséklet-változása meleg újrahasznosítási eljárás során

(Forrás: Rácz Kornélia: *Betontechnológiai gépek II.*, 2011)

Az aszfaltok meleg helyszíni újrahasznosítására több technológia is rendelkezésre áll, melyek a következők:

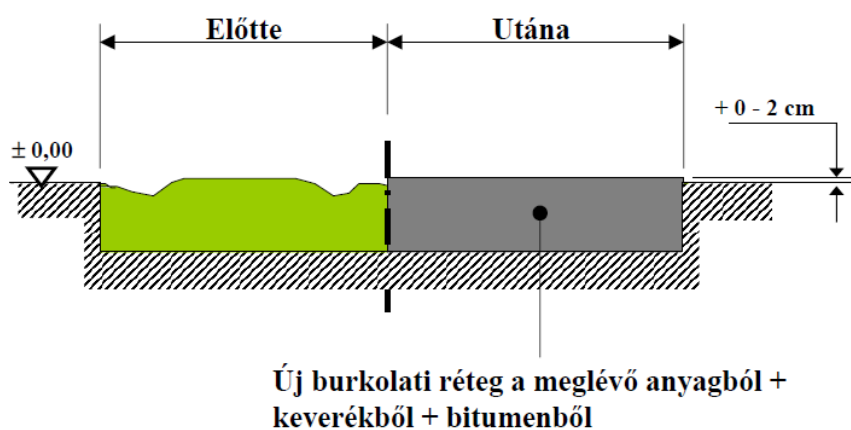
- ADMIX technológia
- REMIX PLUSZ technológia
- kisebb beavatkozást igénylő eljárások:
 - regripping eljárás
 - reshaping eljárás
 - repaveing eljárás

A következőkben ezen technológiák bemutatására kerül sor.

ADMIX technológia:

A meleg remix eljáráson belül az egyik legszélesebb körben alkalmazott technológia az ADMIX eljárás. A folyamat során a felmelegített, fellazított és keverőegységbe továbbított régi aszfaltkeverék kiegészítésre kerül olyan anyagokkal, amelyek hatására előállítható egy megfelelő, előírt paraméterekkel rendelkező új aszfaltkeverék, amely visszaterítés és tömörítés után egy új építésű aszfaltréteg tulajdonságaival rendelkezik.

A következő ábra az ADMIX technológia alkalmazása előtti és utáni burkolatprofil mutatja.



4. ábra: Burkolatprofil az ADMIX eljárás előtt és után

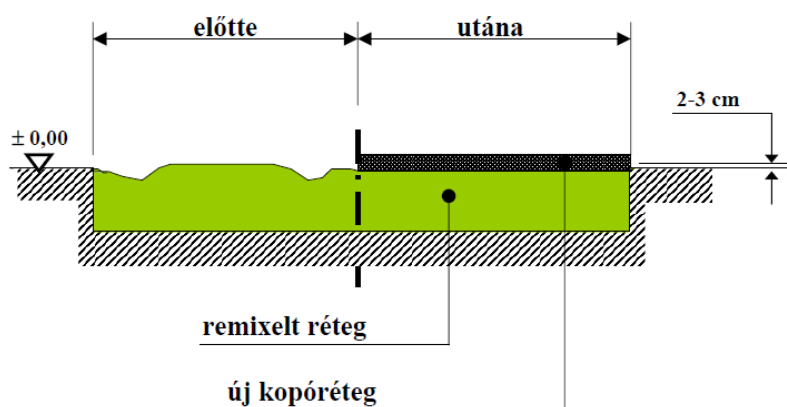
(Forrás: Dr. Pallos Imre: *Aszfaltok újrahasznosításának meleg eljárásos technológiái*, 2011)

Az ADMIX technológia alkalmazható ha, az eredeti keverék összetételi hibája miatt a burkolat deformált, nyomvályús. Alkalmazható továbbá a kötőanyagában leöregedett, felületi hámlást, kipergést mutató rétegek esetében, valamint pályaszerkezet erősítéskor, vagy azokban az esetekben, amikor a leöregedett kopóréteget a burkolaterősítés során kötőréteggént kívánjuk alkalmazni. (*Inreco Hungary Kft.: Helyszíni meleg aszfalt újrahasznosítás*, 2011)

REMIX PLUSZ technológia:

A REMIX PLUSZ eljárás során a felmelegített, fellazított aszfalt bitumen vagy rejuvenáló szer hozzáadásával kerül visszaterítésre és ezzel egyidejűleg a felületre egy új 1,5-3,0 cm vastag réteg kerül terítésre. Az újrahasznosított és az új aszfaltrétegek tömörítésére együtt kerül sor, ezzel biztosítva a két réteg megfelelő kötését és együttdolgozását.

A technológia alkalmazása csak két terítőpaddal rendelkező célberendezéssel valósítható meg, az első terítőpad a remixált réteget, a második pedig az új réteget dolgozza be.



5. ábra: Burkolatprofil a REMIX PLUSZ eljárás előtt és után

(Forrás: Dr. Pallos Imre: *Aszfaltok újrahasznosításának meleg eljárásos technológiái*, 2011)

Ezen technológia előregedett, plasztikusan nem deformált kopórétegek felújítására, polírozódott felületek javítására, a felület típusának megváltoztatására, valamint a pályaszerkezet kismértékű (maximum 2 cm) megerősítésére alkalmazható. (Kubányi, 2014)

A REMIX PLUSZ eljárás előnye, hogy lehetővé teszi olyan speciális keverékek alkalmazását a kopóréteg felső zónájában, amelyek a kopóréteg teljes vastagságában költségük miatt gazdaságilag nem lenne megtérülő. További előnye, hogy ezen technológia lehetővé tesz olyan aszfaltrétegek helyszíni újrafelhasználását is, amelyek egyébként erre nem alkalmasak.

Regripping eljárás:

Az eljárás során a burkolatfelület érdessége jelentősen fokozható. A folyamat során a felmelegített aszfalt felületre érdesítő zúzalékot szórnak, majd azt a régi burkolat anyagába hengerlik.

Reshaping eljárás:

A reshaping eljárás új anyag hozzáadása nélkül alkalmas a kisebb nyomvályúk helyreállítására. Ebben az esetben a régi burkolat összetétele megfelelő, de nyomosodott felületű. Ezért a reshape-célgép felmelegíti a felületet, forrón felmarja, keveri, majd egyenletesen elteríti a régi aszfaltanyagot. A folyamat során a bitumen javítható rejuvenátor anyag hozzáadásával. Ezt követően az elterített anyagot gumihengerekkel tömörítik.

Repaving eljárás:

A repave eljárás lényege, hogy a meglévő kopóréteg felületének felmelegítését követően a célgép a burkolat felületét fellazítja, a laza keveréket elteríti, és kialakítja az új profilt. A laza, meleg rétegre új keveréket terít, majd azt előtömöríti. Tehát ennél az eljárásnál a meglévő réteg aszfaltját nem keverik át, nem „remixálják”.

A két réteg végleges betömörítése egyszerre, hengerekkel történik. A meleg marás és profilozás, valamint az új kopóréteg ráépítése egyetlen célgéppel történik. (*Szakos et al, 2011*)

Az eljárás egyszerűsített formája az ún. infradominó eljárás. A technológia alkalmazása során csak felmelegítésre kerül az aszfalt, a régi burkolat nem kerül felbontásra. Ezt követően a teljes burkolatszélességben finisherrel 2-3 cm vastagságú új réteget terítenek. A hengerlés hatására a felmelegített régi és új aszfaltréteg összedolgozódik.

Összefoglalva elmondható, hogy a meleg eljárások előnye, hogy a forgalmat csak korlátozottan zavarják, a régi burkolatfelület és az új kopóréteg között jó együttműködést biztosítanak, nagy felületeken tömegesen jelentkező hibák, mint például a nyomvályúk, felületi egyenetlenségek, repedések, előregedett felületek javítására alkalmasak, emellett a burkolatok utazáskényelmi és közlekedés-biztonsági

tulajdonságait javítják, valamint a felület vízbehatolás és olvadási károkkal szembeni ellenállását is javítják.

A meleg eljárások hátránya viszont, hogy csak korlátozott mélységig teszik lehetővé a pályaszerkezet javítását a költséges felmelegítés miatt, továbbá a burkolat bitumenjében meghatározatlan mértékben öregedés mehet végbe, így annak ragasztóképessége is romolhat. Továbbá a burkolat melegítése során felszabaduló gázok légszennyező tulajdonságokkal bírnak.

A meleg eljárásos technológiák kivitelezése során a minőség-ellenőrzés nehéz, annak eredményei alapján való visszacsatolás korlátozott, így a művelet során létrejött kopóréteg minősége a szokásosnál is bizonytalanabb. (*Pallos, 2011*)

Tehát elmondható, hogy a technológia legnagyobb hiányossága, hogy az nem képes a pályaszerkezet teljes újrahasznosítására, ezáltal jelentős teherbírás növekedést nem érhetünk el alkalmazásával.

3.2.2. Hideg eljárásos technológiák

A hideg remix technológia alkalmazása a teherbírásukat veszített pályaszerkezetek valamint szélesített burkolatok esetében a leggyakoribb.

A hideg recycling eljárások alkalmasak az útpályaburkolat kötőanyagának előregedéséből, túlsúlyos nehézgépjárművel által okozott burkolatsüllyedések, erősen kátyúsodott burkolatok, vagy az adalékanyag polírozódásából eredő burkolati hibák helyszíni megszüntetésére, így jellemzően

- a megsüllyedt burkolatszélék, burkolatsávok szintre emeléses javítására
- teljesen előregedett, repedezett, kátyúsodott hengerelt aszfaltburkolatok javítására
- itatott, portalanított makadámburkolatok javítására
- stabilizált utak, makadámburkolatok feljavítására, teherbírásának növelésére
- helyszíni stabilizáció készítésére. (*Inreco Hungary Kft.: Hideg remix útrehabilitáció, 2011*)

Továbbá a hideg remix technológia különösen alkalmas akár több ízben szélesített burkolatok felújítására is.

A közúthálózat legtöbb elemén megfigyelhető, hogy a folyamatos fejlesztések során az utak szélesítése utólag épült meg, ami emiatt a meglévő útpályával nem dolgozik együtt. A két szerkezet között hosszrepedés jelenik meg a kopórétegen, ráadásul a meghibásodás veszélye az út terhelésével arányosan nő. Így az útkorszerűsítés hagyományos menete a későbbiekben nehezen orvosolható hibalehetőséget épít be, amely az útalap értékét csökkenti. Azonban ezek az inhomogenitásból származó hibák a hideg remix eljárás alkalmazásával kiküszöbölhetőek. (*Besse et al, 2009*)

A technológia lényege, hogy a leromlott pályaszerkezet a kívánt, illetve a szükséges mélységben fellazításra kerül, majd – az előzetes vizsgálatokkal megállapított mennyiségű – új kötőanyag és esetleg szükséges kiegészítő ásványi anyag hozzáadásával egy új homogén útburkolatalap-keverék áll elő, amelyet a megfelelő szintre történő elterítést követően előtömörítenek. Az így előállított új burkolatalap felületét a forgalmi igénynek megfelelően kétrétegű felületi bevonattal vagy hengerelt aszfalt réteggel szükséges lezárni. (*Inreco Hungary Kft.: Hideg remix útrehabilitáció, 2011*)

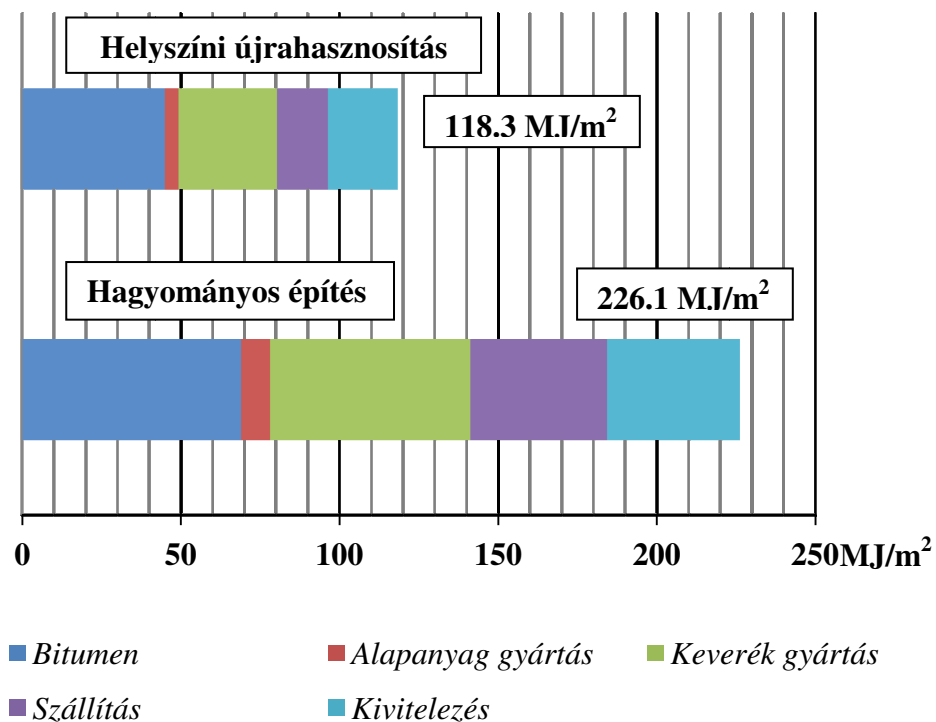
A helyszíni hideg eljárások típusai a kötőanyag felhasználás szerint különböztethetők meg. Eszerint alkalmazható cementes, cementtejes, bitumenemulziós, habosított bitumenes vagy vegyes kötőanyagú hideg újrahasznosítási eljárás. Ezen eljárások részletes bemutatására a 4. fejezetben kerül sor.

A helyszíni hideg újrahasznosítás egy speciális fajtája, a külföldi szakirodalomban FDR - Full Depth Reclamation elnevezésű, a teljes mélységű visszaépítési eljárás. Az eljárás során a bitumenes pályaszerkezeti rétegek mellett megtörténik a kötőanyag nélküli rétegek felmarása is. Ezt követően töréssel, osztályozással és keveréssel homogén keveréket állítanak elő, amelyhez stabilizáló anyagként bitumenemulziót, habosított bitument, vagy cementet adagolnak. Ezt követően az anyag visszaterítésére és tömörítésére kerül sor.

Az FDR módszer specialitása, hogy ez az egyetlen olyan technológia, ami segítségével kiküszöbölhetőek az alsó rétegek hibái és deformációi, valamint a hozzáadott kötőanyagok segítségével jelentős szerkezeti erősítés érhető el.

A helyszíni hideg eljárások előnye tehát, hogy lehetővé válik a leromlott pályaszerkezetek anyagának maradéktalan felhasználása, csökkentve ezzel a hagyományos eljárású átépítésekhez viszonyított költségeket. Emellett környezetkímélő hatással is bír, hiszen alkalmazása során nem keletkezik környezetkárosító hulladék.

A következő ábrán látható a Colas Út Zrt. energiafelhasználást bemutató diagramja a francia RD911-es számú, Livadre várost elkerülő, út építése során.



2. diagram: Energiafelhasználás újrahasznosítás és hagyományos építés esetén

(Zsiga György: *Hideg recycling bitumenes kötőanyaggal*, 2014)

A diagramon feltüntetett értékekből látszik, hogy a helyszíni eljárással kialakított 1 m² pályaszerkezet kiépítéséhez 118.3 MJ, míg a hagyományos eljárással kialakított 1 m² burkolat esetén 226.1 MJ az energiaszükséglet. A diagram alapján az is

elmondható, hogy a helyszíni eljárás esetén a szállítás és a kivitelezés az a két tényező, amely jelentősen csökkenti az energiaszükségletet.

3.3. Mobil újrahasznosítás

A mobil újrahasznosítás, a külföldi szakirodalom szerint in-plant recycling, alkalmazása esetén a telepi és helyszíni hideg újrahasznosítás előnyei egyaránt érvényesülnek.

A technológia alapja a mobil hideg-recycling keverő, amely hideg keverékek előállítására képes különböző kötőanyagok hozzáadásával. A technológia legfőbb előnye, hogy alkalmazásával az újrahasznosítandó pályaszerkezet anyaga mellett más terület bontott útépitési anyagai is felhasználhatóak.

A technológia alapja egy, az építési terület közelében, egy arra alkalmas helyen, elhelyezett mobil keverőegység. Ez a mobil koncepció lehetővé teszi a gyors áthelyezést a különböző alkalmazási helyszínek között, valamint a berendezés gyors felállítását. Ezzel a technológia jelentős szállítási idő-és költségmegtakarítást is eredményez, hiszen az úgynevezett telephely az építési terület közelében található.

A technológia lényege, hogy az alkalmazott keverőegységhez a bontott anyagot teherautó szállítja, ahol azt egy homlokrakodó a keverőegységbe tölti. Ezt követően a keverőegységen belül megtörténik a megfelelő szemszerkezet kialakítása, valamint az anyag szükséges kötőanyagokkal, és esetenként hozzáadott kőanyagokkal történő homogenizálása. Ezután a gép szállítószalagja segítségével az új anyag teherautóra kerül, ami elszállítja azt a beépítés helyszínére, ahol az, a hagyományos útépitési eszközök felhasználásával, beépítésre kerül.

Ebből adódóan további előnye, hogy az újrahasznosított pályaszerkezet teljes szélességben építhető, így biztosítva a burkolat teljes szélességben történő megfelelő együttdolgozását.

A következő ábrán egy mobil újrahasznosító telep látható működés közben. A keverőegységhez egy cementsiló és egy vizet adagoló tartályautó csatlakozik.



1. kép: Mobil újrahasznosítási eljárás

(Forrás: www.wirtgen.de)

A műszaki és gazdasági előnyök mellett további előnye, hogy nagy kapacitása ellenére nincs nagy munkaerőigénye. A német gyakorlat szerint a mobil újrahasznosítás során a keverőegységhez egyetlen szakember is elegendő, aki elvégzi az anyag gépbe adagolását, a gép beállítását valamint annak működés közbeni folyamatos ellenőrzését.

A mobil újrahasznosítás legnagyobb hátránya, ami miatt Magyarországon nem kerül alkalmazásra, az az újrahasznosító egység ára, ami körülbelül 80 millió euróra tehető. Magas ára miatt annak bérleti költségei is magasak, így az csak nagyobb mennyiségű munka esetén térül meg. Azonban jelenleg hazánkban csak 1-3 km hosszú útszakaszokon folynak felújítások, emiatt a géppel sokszor, rövid időn belül kell áttelepülni.

Azonban az pozitívumként említhető, hogy Magyarországon nem szükséges környezetvédelmi engedély a gép használatba helyezéséhez. Ennek oka, hogy hazánk az Európai Parlamentben vállalta, hogy a keletkező építési hulladékok 70 %-át újrahasznosítja. Mivel ezen hulladékok 90 %-a az útéptésből származik, így különösen nagy hangsúlyt kell fordítani annak újrahasznosíthatóságának biztosítására. Így, míg más jellegű építési munkák esetében a környezetvédelmi engedély megszerzése hosszadalmas procedúra, addig a mobil újrahasznosítási

eljárással végzett útfelújítás során nem szükséges a környezetvédelmi engedély megszerzése.

A technológia részletes bemutatására, és az eljárás során alkalmazott gépek bővebb bemutatására jelen diplomamunka 6. fejezetében kerül sor.

4. HIDEG HELYSZÍNI ELJÁRÁSOK TECHNOLÓGIA VÁLTOZATAI

Mint már az az előzőekben bemutatásra került, a helyszíni hideg remix eljárásnak több technológiai változata létezik, melyek között az alapvető különbséget a hozzáadott adalékanyag típusa jelenti.

Eszerint hideg helyszíni újrahasznosítás során hidraulikus kötőanyag, bitumenes kötőanyag vagy a kettő együttesen is alkalmazható, továbbá használható érvényes Építőipari Műszaki Engedély, vagy Európai Műszaki Engedély szerinti egyéb technológia is.

Az e-UT 05.02.52 (ÚT 2-3.707) Útügyi Műszaki Előírás alapján empirikus adatok szerint a kötőanyag nélküli újrafelhasználás nem biztosítja a szükséges minőséget, ezáltal az nem gazdaságos. Így kötőanyag nélküli újrafelhasználást csak akkor célszerű előírni, ha a 100 kN egység tengelyek napi száma nem több mint 50, valamint a felbontandó rétegek szemeloszlása kedvező, és az kevés pótlással javítható. (*Gulyás et al, 2006*)

Mivel az alapréteg feladata a megfelelő teherbírás biztosítása, így a kötőanyag fajtájától függetlenül, minden eljárás alkalmazásakor alapkövetelmény, hogy a burkolatalap megfeleljen a vele szemben támasztott minőségi követelményeknek.

4.1. Hidraulikus kötőanyagú alapréteg

Hidraulikus kötőanyagú alapréteg építése akkor ajánlott, ha a felújítandó pályaszerkezet teherbírása alacsony (4-es, 5-ös teherbírési osztályú), vagy ha a bontásra szánt anyagkeverék kedvezőtlen szemeloszlású, valamint ha a megmunkálendő anyag mind kereszt-, mind hosszirányban változékony. (*e-UT 05.02.52 (ÚT 2-3.207) Útügyi Műszaki Előírás*)

4.1.1. Cement kötőanyagú alapréteg

Hazai viszonylatban a hideg újrahasznosítási eljárások során leggyakrabban használt hidraulikus kötőanyag a cement. Ennek oka, hogy a cement egy könnyen hozzáférhető jó minőségű építőanyag, amellyel kapcsolatban rengeteg kutatási és építési adat áll rendelkezésre. A cement mellett hidraulikus kötőanyagként egyaránt

alkalmazható mész vagy pernye, azonban a teherbírás növelésére a legalkalmasabb kötőanyag a cement.

A cementes kötőanyagú alaprétegek jellemzője, hogy a kötőanyag adagolásával a teherbírás és szilárdság növekedése mellett a réteg rugalmassága egyre csökken, ridegebbé válik. Ez reflexiós repedések kialakulásához vezet, amelyek következtében nemcsak az alapréteg, de a felette lévő aszfaltrétegek is átrepedhetnek. (*Ambrus - Pallos, 2004*)

Mivel az eljárás elsődleges célja a pályaszerkezet teherbírásának növelése, így a fő tervezési paraméterként a nyomószilárdság értéke a meghatározó, emellett a szakítószilárdság, a repedési hajlam valamint a tartósság is figyelembe veendő. A szilárdsági érték a hozzáadott cement mennyiségétől, annak típusától és sűrűségétől függ. A szilárdság a cementtartalom növekedésével lineárisan növekszik, de függ annak szilárdságától is. (*Nemesdy, 1989*)

A cement kötőanyagú keverékek nyomószilárdsági követelményeit szilárdsági osztályok szerint az e-UT 06.03.52 (ÚT 2-3.207) Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei - Tervezési előírások című Útügyi Műszaki Előírás tartalmazza.

A cement kötőanyagú alapréteg építése során a meglévő pályára, az átkeverendő mennyiségtől függően, a cement előre elterítésre kerül, a fellazított burkolati anyag és az esetleg hozzáadott közúzalék együttes tömegéhez viszonyítva 2-5 % mennyiségben. Ezt követően a recycler gép az útpályát megfelelő mélységig fellazítja, így a burkolat anyagával együtt az előre elterített cement és közúzalék is a marótérbe kerül, ahol a hozzáadagolt vízzel homogenizálásra majd elterítésre kerül. Ezt követően megtörténik a profil kialakítása és a réteg tömörítése. (*Szakos et al, 2011*)

4.1.2. Cementtej kötőanyagú alapréteg

Hidraulikus kötőanyagként a cement mellett leggyakrabban alkalmazott kötőanyag a cementtej. Az építési területen a folyamatosan ellenőrzött cementterítési folyamatok során is többször képződik, a környezetre káros hatásokat jelentő,

cementfelhő. A kötőanyagként cementtejet alkalmazó technológia ezen felhőképződést előzi meg.

Ebben az esetben az előzetes vizsgálatok alapján a cementtej zárt rendszerben kerül előkeverésre, amit ezután közvetlenül a recycler gép keverőegységébe juttatnak. A homogenizálás a marótérben a fellazítással egy időben megy végbe, majd az előzőekhez hasonlóan kialakításra kerül a profil és megtörténik a tömörítés. (*Szakos et al, 2011*)

4.2. Bitumenes kötőanyagú alapréteg

Az e-UT 05.02.52 (ÚT 2-3.707) Útügyi Műszaki Előírás szerint bitumenes kötőanyagú beépítést akkor célszerű előírányozni, ha a pályaszerkezet teherbírása megfelelő, azaz legalább 3-as teherbírású osztályú, továbbá azokban az esetekben, ahol a megmunkálandó pályaszerkezet aszfaltanyag-tartalma magas (több mint 50 %), a bontásra szánt anyagkeverék szemmegoszlása egyenletes, valamint ahol a hajlékony pályaszerkezet megtartása a cél.

Bitumenes kötőanyagú alaprétegek esetében a kötőanyagként alkalmazható bitumenemulzió, habosított bitumen vagy Építőipari Műszaki Engedéllyel vagy Európai Műszaki Engedéllyel rendelkező kötőanyag.

A bitumenes kötőanyag előnye, hogy, ellentétben a cementes kötőanyagokkal, zsugorodási repedés nem alakul ki alkalmazása során, továbbá ezen technológiával történő építés után a pályaszerkezet rögtön átadható a forgalomnak.

4.2.1. Bitumenemulzió kötőanyagú alapréteg

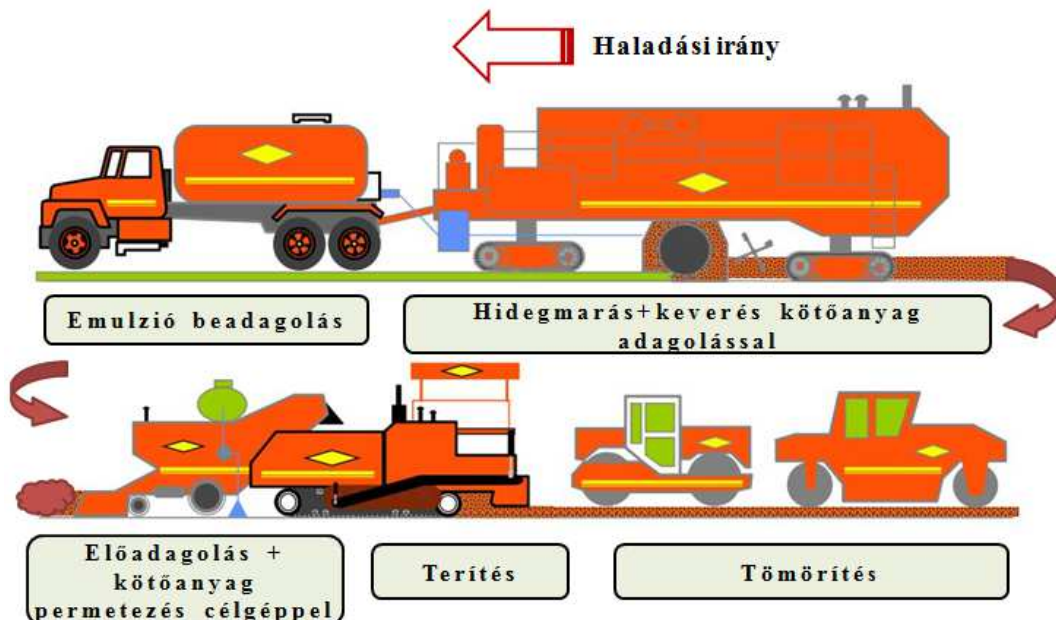
A bitumenemulziós eljárás során az egyik meghatározó tényező a bitumen optimális mennyisége. A vonatkozó előírás kimondja, hogy az emulziók bitumentartalma 60-65 % közötti, pH értéke pedig 3 és 9 közötti legyen. (*e-UT 05.02.52 (ÚT 2-3.707) Útügyi Műszaki Előírás*)

Az optimálisan szükséges bitumenmennyiség sávja elsősorban az ásványi adalékanyag szemeloszlásától és fajtájától függ, annak meghatározása laboratóriumi vizsgálatokat igényel. (Nemesdy, 1989)

Így tehát a megfelelő teherbírás eléréséhez megfelelő mennyiségű és minőségű bitumenemulzió adagolása szükséges.

A bitumenemulziós alapréteg építése során a meglévő aszfaltburkolatot a recycler egység az alaprétegegig fellazítja, majd az anyagot, a bitumenemulziót tároló tartálykocsiból származó emulzióval és ha szükséges vízzel, alaposan átkeveri és homogenizálja. A bitumenemulzió szükséglet általában 5-10 tömeg % közé tehető. Az átkeverést követően az emulzióban a bitumen elválk a víz fázistól, a bitumen koagulál és bevonatot képez az ásványi anyag szemcséin. A helyszínen így megkevert, feljavított új útalapot a célgép elteríti, ezt követően a gréder kialakítja a profilt, a hengerek pedig betömörítik a réteget. Ezt követően megkezdődik a száradási folyamat, amely során a víz elpárolog a rétegből, ezzel növelve annak merevségét.

A következő ábrán a bitumenemulzió kötőanyaggal történő hideg helyszíni remix eljárás folyamata látható.



6. ábra: Bitumenemulzió kötőanyagú alapréteg építése

(Forrás: Zsiga Gy.: *Hideg recycling bitumenes kötőanyaggal*, 2014)

Az építés során fontos szempont, hogy a bitumenemulzió törése után annak viszkozitása hirtelen megnövekszik, ezért az újrahasznosítási folyamatot úgy kell megtervezni, hogy a bedolgozás még a törési folyamat befejeződése előtt végbe menjen. A vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás szerint a bitumenemulzió törési folyamata a keverék kiürítését követően legkorábban 1 óra elteltével fejeződjön be, és a szemek legyenek tartósan bevonva. A törési folyamat kezdetét arról lehet felismerni, hogy a keverék ömleszthetővé válik, illetve a hideg újrahasznosított keverék színe barnáról feketévé változik. Minél korábban következik be ez az állapot, annál nagyobb tömörítési munkára van szükség a beépítés során, azaz annál gyorsabban kell tömöríteni. (*e-UT 05.02.52 (ÚT 2-3.707) Útügyi Műszaki Előírás*)

Ebből következik, hogy az újrahasznosítási eljárás során lassantörő, kationaktív bitumenemulzió alkalmazása a célravezető. Emellett követelmény, hogy bitumenemulziós keverék esetén a kivitelezés csak nyári időszakban végezhető.

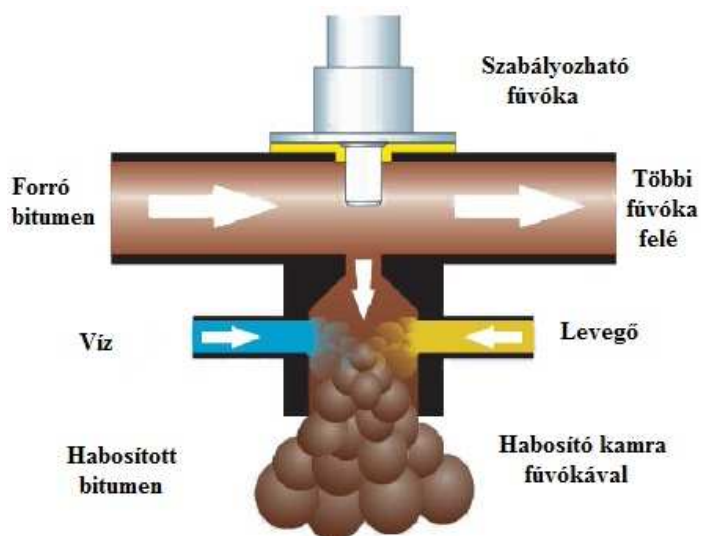
4.2.2. Habosított bitumen kötőanyagú alapréteg

A habosított bitumen használata a hideg keverékekkel történő újrahasznosításban világszerte egyre népszerűbb technológia.

A habosított bitumen forró, B60-B200 osztályú, útpályák burkolására alkalmazott bitumen és 2-3 tömeg % mennyiségű víz felhasználásával állítható elő. A víz a forró bitumenhez hozzáadva hirtelen elpárolog, a vízgőz a bitumenben pedig robbanásszerű habképződést eredményez. Így néhány másodperc alatt a bitumenben 15-20-szoros térfogat növekedés következik be.

A habosodás intenzitása és határfoka a nyomás és hőmérséklet beállításával szabályozható. A habosítási technológia útépitő gépek segítségével vagy laboratóriumi expanziós kamrában kivitelezhető, ahol az 5 bar nyomású víz beporlasztásra kerül a 180 °C-os bitumenbe. Az expanziós kamrából a habbitumen egy fúvókán át távozik, majd az bekeverésre kerül a pályaszerkezet felmárt anyagába.

A következő ábrán ezen habosítási eljárás elvi sémája látható.



7. ábra: Bitumen habosítási eljárás elvi sémája

(Forrás: Witgen GmbH.: *Preliminary testing for determining the mix quality - Laboratory-scale foamed bitumen plant WLB 10S, 2009*)

A habosított bitumen alkalmazásával javul az anyag tulajdonsága, annak kötőanyagként történő alkalmazhatósága, ugyanis a habnak nagyobb a felülete, mint a folyékony bitumené, ezért a hideg, nedves ásványianyag-keverék jobban feldolgozható. Továbbá a habosítás során a bitumen viszkozitása csökken, a folyási tulajdonságai pedig javulnak, így az anyag jobban teríthető, valamint a habosított bitumen hőmérséklete csak 50-60 °C.

A habosított bitumen minőségét jelentősen két tényező befolyásolja.

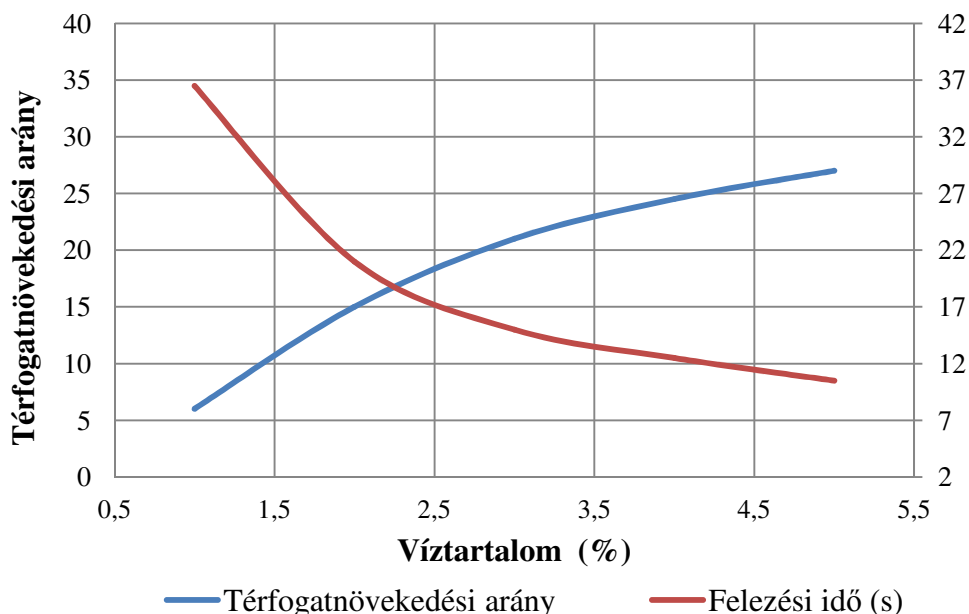
Egyrészt az expanzió, azaz a habosított bitumen maximálisan elérhető térfogatának és a habosítás előtti bitumen térfogatának aránya, melynek értéke jó minőségű habosított bitumen esetén nagyobb, mint 15.

Másrészt a felezési idő, amely alatt a habbitumen térfogata a habosodás után a felére csökken, melynek értéke jó minőségű habbitumen esetén 10–15 másodperc.

A habbitumen a bepermetezett vízgőz kondenzációja miatt egy idő után összeesik. Minél nagyobb az expanzió és a felezési idő értéke, annál jobb minőségű a habbitumen. A két paramétert a forró bitumen hőmérséklete, annak típusa, a

beadagolt víz mennyisége, a habosítási folyamat nyomásértéke, valamint a hozzáadott aditívek befolyásolják. (Veith, 2001)

A következő grafikonon a habosított bitumen térfogat növekedése és annak felezési ideje látható a hozzáadott víztartalom függvényében.



3. diagram: Habosított bitumen expanziója és felezési ideje a víztartalom függvényében

(Forrás: Wirtgen GmbH.: Preliminary testing for determining the mix quality - Laboratory-scale foamed bitumen plant WLB 10S, 2009)

A grafikonból látszik, hogy a hozzáadott víz mennyiségének növelésével a térfogat nő, a felezési idő pedig csökken. Ennek magyarázata, hogy a víz mennyiségének növelése a hab térfogatát hatékonyan növeli, mivel nőnek a bitumenbuborékok. Azonban ezek növekedésével azok vastagsága csökken és kisebb a szilárdságuk, ami a felezési idő rövidülését eredményezi.

Így a grafikon alapján elmondható, hogy a víztartalom a két görbe metszéspontjában veszi fel az optimális értéket, ami 2-2,5 % közötti.

További, a paramétereket jelentősen befolyásoló tényező a bitumen hőmérséklete. A bitumen hőmérsékletének növekedésével annak viszkozitása csökken, aminek következtében nagyobb buborékok képződnek a víz elpárolgásakor. A folyamat a bitumen hőenergiáját hasznosítja, így a habbitumen minősége annál jobb, minél magasabb a bitumen habosítás előtti hőmérséklete.

A habosítási nyomás szintén jelentős befolyásoló tényező. A víz és bitumen habosító kamrába történő benyomása minél nagyobb nyomásérték mellett történik, annál jobban diszpergálódik az anyag, ezzel növelve az egyes részecskék felületét. Ezáltal a hab egységesebbé válik.

Egyéb befolyásoló tényező a különböző aditívek alkalmazása. Az egyes aditívek adagolásával befolyásolható a habosodás folyamata. (*Cold recycling technology. Wirtgen Cold Recycling Technology, 2012*)

Magyarországon a vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás szerint a habosított bitumen kötőanyagú stabilizálásra az olyan anyag alkalmas, melynek 0,063 mm alatti része 5 és 20% között van. Ha a finomrész hiányzik, akkor legfeljebb 2% cement vagy mész hozzáadásával lehet a kívánt stabilitást elérni. (*e-UT 05.02.52 (ÚT 2-3.707) Útügyi Műszaki Előírás*) A hiányzó szemcsetartomány pótlása mellett a cement növeli a réteg szilárdságát és plasztikus indexét is.

A következő táblázat a habosított bitumennel megerősített rétegek jellemző paramétereit mutatják 1-2% cement beadagolása mellett. A táblázatban szereplő hasító-szilárdsági értékek 25 °C-on Marshall próbatesteken végzett vizsgálatok eredményei.

Anyag	Beadagolt bitumen mennyisége	Hasító-szilárdság	Rugalmassági modulus
Felmart aszfalt/összetört anyag	1,5 - 3,0 %	350 - 800 kPa	2500 - 5000 MPa
Összetört kőzet	2,5 - 4,0 %	400 - 900 kPa	3000 - 6000 Mpa
Természetes kő	3,0 - 4,5 %	250 - 500 kPa	2000 - 4000 Mpa

1. táblázat: A habosított bitumennel megerősített réteg jellemző paraméterei

(Forrás: Wirtgen GmbH.: *Foamed Bitumen -*

The innovative bindig agent for road construcion, 2009)

A vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás továbbá azt is kimondja, hogy a habosított bitumennel történő stabilizálás esetében a bedolgozási idő nincs korlátozva.

A technológia építése során a meglévő pályaszerkezetet megfelelő mélységben a recycler fellazítja, azt alaposan átkeveri, homogenizálja a mikroprocesszorokkal vezérelt szivattyúk által szállító-tartálykocsiból adagolt vízzel és a habosított bitumennel. A habosított bitument a bitumenszállító tartálykocsiból nyert forró bitumenből a célgép állítja elő, mely így alkalmas az ásványi anyagszemcsék vékony rétegben és igen hatékonyan való bevonására. A homogenizált keveréket, azaz a feljavított új útalapot, a gép elteríti és a gréder kialakítja a kívánt profilt. (*Szakos et al, 2011*)

4.2.3. Az emulziós és habosított bitumen kötőanyag összehasonlítása

A bitumenes kötőanyagú technológia építése előtt a kötőanyag típusának kiválasztása során több szempontot is figyelembe kell venni.

A következő táblázatban az egyes eljárások összehasonlítása látható különböző szempontok szerint. A bitumenemulziós és habosított bitumenes hideg újrahasznosítás mellett a táblázatban megtalálhatók a meleg remix alkalmazásának feltételei is.

	Bitumen kötőanyagú hideg remix eljárás		Meleg remix eljárás
	Bitumenemulzió	Habosított bitumen	
Alkalmazható kőváz	zúzottkő; természetes kavics; újrahasznosított pályaszerkezeti rétegek, stabilizációk	zúzottkő; természetes kavics; újrahasznosított pályaszerkezeti rétegek, stabilizációk; homok	zúzottkő; maximum 50 %-ban újrahasznosított pályaszerkezeti rétegek
Bitumen keverési hőmérséklete	20 - 70 °C	160 - 180 °C (habosítás előtt)	140 - 180 °C
Kőváz hőmérséklete a keverés alatt	Környezeti léghőmérséklet (> 10°C)	Környezeti léghőmérséklet (> 15°C)	Forró (140 - 200°C)
Keverés alatti víztartalom	Optimális víztartalom plusz 1 % mínusz a hozzáadott emulzió víztartalma	"Habosodási pont" Optimális víztartalom 70 - 90 %-a	Száraz keverés
Kőváz bitumennel bevont felülete	Finomrész bevonása; Durva szemcsék egy részének bevonása; Kohézió növelő hatás	Csak finomszemcsék bevonása; Kohézió növelő hatás	Minden szemcsén egyenletes bevonatot képez (kontrolált bevonatvastagság)
Építési és tömörítési hőmérséklet	Környezeti léghőmérséklet (> 5°C)	Környezeti léghőmérséklet (> 10°C)	140 - 160 °C
Hézagtartalom	10 - 15 %	10 - 15 %	3 - 7 %
Teherbíróképesség javulása	Lassú (párolgás)	Közepes (párolgás)	Gyors (lehülés)
Modifikált bitumen alkalmazhatósága	Alkalmazható	Nem alkalmazható. (A modifikált bitumenek nem habosíthatók)	Alkalmazható
Fontos bitumen paraméterek	Emulzió típusa; Visszamaradó bitumen minősége; Törési idő	Térfogatnövekedés; Felezési-idej	Penetráció; Lágyuláspont; Viszkozitás

2. táblázat: Bitumenes kötőanyagú eljárások és meleg remix eljárás összehasonlító táblázata

(Forrás: Wirtgen GmbH.: Cold recycling. Wirtgen Cold Recycling Technology, 2012)

4.3. Vegyes kötőanyagú alapréteg

Vegyes kötőanyagú alaprétegek esetében a keverék beépítése egyesíti a hidraulikus és a bitumen kötésű alaprétegek előnyeit. A teherbírás megnő, de a hidraulikus kötőanyagú alaprétegeknél kialakuló repedések előfordulása csökken.

A vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás szerint a kötőanyag szükséges mennyisége bitumenemulzió esetében 2-6 %, cement esetében pedig 3-6%.

A német gyakorlatban ezek az értékek hasonlóan alakulnak, azonban az alkalmazás célja eltérő. Németországban általánosan 2,5 % a cement, 5% a bitumenemulzió felhasználás, azonban a cementre a német utak esetében ténylegesen nem kötőanyagként van szükség, hanem a régi pályaszerkezetekben megtalálható kátrány közömbösítésére. Ezzel ellentétben Magyarországon a körülbelüli 5%-os cementfelhasználás gazdaságossági indokokra vezethető vissza, hiszen a nagyobb mennyiségű bitumenemulzió alkalmazása nagyban megnöveli a költségeket.

4.4. Változatok közötti döntés

Az újrahasznosítás során alkalmazandó változat kiválasztása körültekintő, minden szempontot figyelembe vevő vizsgálatot kíván. Minden beruházás esetében figyelembe kell venni annak környezeti és építési körülményeit, valamint a megbízó által elvárt szempontokat is.

A vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás szerint az építés megkezdésének feltétele az előzetes laboratóriumi vizsgálatok mellett az alkalmazandó kötőanyag alkalmasságának elemzése is.

Az egyes változatok közötti döntést megkönnyíti azok előnyeinek, hátrányainak valamint alkalmazhatósági szempontjainak komplex áttekintése. A következőkben erre kerül sor.

Kötőanyag nélküli újrahasznosítás:

A kötőanyag nélküli újrahasznosítás abban az esetben alkalmazható, ha a forgalmi terhelés kicsi, valamint az Útügyi Műszaki Előírás szerinti szemeloszlás keveréssel előállítható.

Hidraulikus kötőanyagú újrahasznosítás:

A hidraulikus kötőanyagokat alkalmazó újrahasznosítás a remixálandó réteg kedvezőtlen szemeloszlása, szennyezettsége, valamint annak magas agyagtartalma esetén ajánlott. Emellett hidraulikus kötőanyag alkalmazása előirányzott inhomogén pályaszerkezet és túlzott teherbírás hiány esetében is. A hidraulikus kötőanyagok alkalmazásának előnyei és hátrányai a következők:

1. A hidraulikus kötőanyagként cementet alkalmazó eljárás egyik előnye, annak jó elérhetősége, hiszen ez nagy tömegben is egyszerűen beszerezhető anyag. Emellett, annak alkalmazása a bitumenes kötőanyaghoz viszonyítva árban is kedvezőbb.
2. Pályaszerkezet újrahasznosítás során jelentősen növelhető a burkolat teherbírása és nyomószilárdsága is.
3. További előnye, hogy alkalmazása egyszerű, kötőanyag-terítő gép hiánya esetén a cement akár kézzel is teríthető.
4. Előnyei közé sorolható az is, hogy ezen építőanyag az építőipar más szakágaiban is gyakran alkalmazásra kerül. Ezért nagyon sok kutatási eredmény és specifikáció áll rendelkezésre a témában.
5. Az értékelés szempontjából a cement kötőanyag legnagyobb hátránya, hogy alkalmazása során a zsugorodási repedések nem kerülhetők el, csak minimalizálhatók. Emellett ezen kötőanyag növeli a pályaszerkezet merevségét is.
6. Az építést követően a pályaszerkezet nem adható át a rögtön a forgalomnak, valamint az átadás után is korlátozni kell a nehéz gépjármű forgalmat.

Bitumenes kötőanyagú újrhasználás:

Bitumenes kötőanyagok alkalmazását célszerű előirányozni, ha a pályaszerkezet teherbírása megfelelő, anyaga egyenletes szemeloszlású és magas aszfaltarányú. Továbbá hajlékony pályaszerkezetre irányuló beruházói igény esetében is ezen eljárás alkalmazása a célravezető. Az eljárás előnyei és hátrányai a következők:

1. A bitumenes kötőanyagú alaprétegek esetében, legyen a kötőanyag bitumenemulzió vagy habosított bitumen, a legnagyobb előny annak rugalmassága. A bitumennel stabilizált alapréteg viszkózus viselkedésű, így a kötőanyag javítja a pályaszerkezet nyírési tulajdonságait, kohézióját, deformációkkal szembeni ellenálló képességét.
2. Építési eljárása egyszerű. Az anyag a tartálykocsiból közvetlenül injektálható a recycler egységbe. Azonban, a hidraulikus kötőanyagokkal ellentétben, a bitumenes kötőanyag adagolása emberi erővel nem, csak speciális eszközök segítségével oldható meg.
3. A cementhez hasonlóan a bitumennel kapcsolatban is rengeteg kutatási eredmény áll rendelkezésre, hiszen az az építőipar más területein is alkalmazásra kerül.
4. Az értékelés szempontjából fontos kérdés a tartósság. Mivel a bitumen vékony réteget képez a szilárd szemcséken, így azoknak védelmet nyújt a víz és nyomás okozta terhelésekkel szemben.
5. A hidraulikus kötőanyagokkal ellentétben a bitumennel épített alaprétegek az építést követően rögtön átadhatók a forgalomnak, különösen habosított bitumen alkalmazása esetében.
6. Gazdasági szempontból a bitumen kötőanyag alkalmazása költséges, hiszen a bitumen relatívan drága.
7. Az alkalmazás egyik legnagyobb hátránya, hogy a bitumen előállítása nem az építés helyszínén történik, mivel a gyártási folyamat során elvárt a folyamatos minőség-ellenőrzés. Emellett az emulgeáló szerek, valamint az anyag építési területre történő szállítása jelentősen megnövelik az építési költséget.
8. A habosított bitumenek előállítása során előirányzott 160 °C-os bitumenhőmérséklet biztosítása érdekében gyakran van szükség speciális melegítő egységekre, melyek alkalmazása nagy körültekintést és szakértelmet igényel.

9. További hátrány a habosított bitumennel történő építés esetében a bontott burkolattal szemben támasztott szigorú szemeloszlási elvárások, különösen a 0,075 mm-nél kisebb szemcsék mennyiségének esetében.
10. Abban az esetben, ha a meglévő burkolat anyagának nedvességtartalma az optimális víztartalommal közel azonos, az emulzió adagolásával az könnyen telítette válhat.
11. Hátrány továbbá, hogy a bitumenemulziós réteg beépítését követően a teherbírás még nem maximális, ugyanis az a pályaszerkezetben lévő víz elpárolgásával folyamatosan növekszik, ami hosszabb időt vesz igénybe. A víz párolgásának biztosítása miatt, ezen típusú kötőanyag alkalmazása csak a tavaszi/nyári időszakban megengedett. (*Cold recycling. Wirtgen Cold Recycling Technology, 2012*)

Vegyes kötőanyagú újrahasznosítás:

Vegyes kötőanyagú eljárás alkalmazása a fentiekől nagyobb teherbírás igény és kisebb repedési hajlamra való törekvés esetén ajánlott.

Ezen eljárások ötvözik a fent említett hidraulikus és bitumenes kötőanyagú eljárások előnyeit. A vegyes kötőanyag alkalmazása minden esetben előzetes laboratóriumi vizsgálatokat igényel, mely során vizsgálandó a keverék alkalmassága a támasztott megbízói, műszaki és gazdasági követelményekkel szemben.

5. A TERVEZÉST MEGELŐZŐ VIZSGÁLATOK

Az előző fejezetben tárgyalt hideg újrahasznosítási technológiák közötti választás megalapozásához elengedhetetlen, a technológiai tervezést megelőző, előzetes vizsgálatok végrehajtása.

5.1. Adatgyűjtés, rendelkezésre álló információk

A burkolat felújítási munkákat megelőzően, minden esetben szükséges azon három, tervezés szempontjából alap paraméter meghatározása, melyek alapvetően befolyásolják a technológia megválasztását.

Az első ilyen paraméter a tervezési élettartam, aminek függvényében meghatározható a beavatkozás javító hatásának elvárt időtartama.

Második paraméter a felújítandó út hálózati funkciója, amely befolyásolhatja a speciális követelmények, úgymint a zajszint csökkentés vagy teherbírás javítás, iránti igényeket.

A harmadik paraméter a rendelkezésre álló anyagi forrás, amely a kivitelezési költségek mellett az élettartam során elvégzett fenntartási munkákhoz szükséges költségeket is magában foglalja.

5.1.1. Történeti adatok

A tervezés megkezdése előtt fontos minden rendelkezésre álló adat összegyűjtése az útszakasz felújítás előtti történetéről, amely segítségével jól megbecsülhető, hogy mi várható a területen az előzetes vizsgálatok megkezdése előtt.

Ha a kivitelezési és fenntartási információk a beavatkozást megelőzően jól dokumentáltak voltak, akkor értékes információk állhatnak a tervező rendelkezésre az eredeti pályaszerkezet kivitelezési módját, összetételét, a rétegek vastagságát, az ellenőrző vizsgálatok eredményét és a terület geológiai adottságait tekintve.

Emellett szükséges a tervezési terület közelében lévő nyersanyag források helyére, minőségére és mennyiségére vonatkozó adatok begyűjtése is.

Továbbá fontos a felújítandó útszakasz közelében lévő aszfaltkeverő telepek és depók adatainak, valamint a terület meteorológiai adottságaira vonatkozó adatok megszerzése is.

Ezen adatok megszerzéséhez, előzetesen, tájékoztató jelleggel adatbanki adatok és az útszakasz kezelője által szolgáltatott információk használhatók. Hazánkban az Országos Közúti Adatbank használható erre a célra, amelyben tárolva vannak az egyes útszakaszok pályaszerkezeti adatai, az építési-beavatkozási évek valamint az egyes szakaszokhoz tartozó állapotjellemzők.

5.1.2. Tervezési forgalom

A burkolat tervezés során a forgalmi statisztika is szükséges információ, amely tartalmazza a forgalom összetételének, nagyságának és tengelyterhelésének adatait. Ennek felhasználásával a tervezéshez szükséges forgalmi terhelési osztály meghatározható.

Hazánkban az országos úthálózat forgalmi adatait, az előzőekhez hasonlóan, az Országos Közúti Adatban tárolja, amely segítségével a forgalmi értékek a remix tervezést megelőzően abból kinyerhetők.

Abban az esetben, ha nem áll rendelkezésre elegendő adat a forgalmi terhelésre vonatkozóan, a tervezést megelőzően, forgalomszámlálást kell végezni. A vizsgálat ki kell térjen az áthaladó járművek számlálása mellett, a nehézgépjárművek tengelyterhelésének mérésére is.

A meglévő forgalmi adatokat a vonatkozó Útügyi Műszaki Előírásban meghatározott forgalomfejlődési szorzó értékével megszorozva kell figyelembe venni. Emellett érdemes hálózati modellezést is végezni, amely során vizsgálandó a tervezett beavatkozás hálózatra gyakorolt hatása.

5.2. Előzetes vizsgálatok

A meglévő állapot pontos megismerését, a jellemző új állapot felmérését minden esetben helyszíni bejárás során kell elvégezni.

5.2.1. Vizuális állapotfelvétel

A vizuális állapotfelvétel során a burkolat, a padka, valamint a vízelvezető rendszerek állapotának felmérése mellett célszerű fotókat készíteni a jellemző hibákról. A felmért hibák csoportosíthatók, így az egyes hibacsoportok mennyiségi kimutatása is lehetséges.

A helyszíni bejárás során geodéziai felméréseket is szükséges végezni. A burkolatok pontos szélességi méreteit és az egyes burkolattípusok hosszát kell rögzíteni. Emellett a tervezéshez elengedhetetlen a meglévő keresztszelvények és hossz-szelvények felvétele.

A következő táblázatban a vizuális állapotfelvétel során vizsgálandó károsodások csoportosítása látható az egyes hibacsoportok függvényében.

Károsodás módja	Károsodás Típusa	Vizsgálandó hibák
Felületi károsodás	Környezeti hatás okozta Forgalom okozta	Kipergés, zúzalék veszteség; Hőmérsékleti repedés; Nyomvájúképződés; Leválás, felizzadás, polírozódás
Szerkezeti károsodás	Maradó alakváltozás Repedések Összetett hibák	Kipergés keréknyomban; Keresztirányú gyűrődés; Hosszirányú repedések keréknyomban; Kátyúk, foltok, stb.
Funkcionális állapotváltozás	Vízelvezetés Utazáskényelem	Erózió, kimosódás, stb. Burkolatszél letörés Egyenetlenség, hullám képződés

3. táblázat: Vizuális állapotfelvétel során vizsgálandó hibák hibacsoportonként

*(Forrás: Wirtgen GmbH.: Cold recycling. Wirtgen Cold
Recycling Technology, 2012)*

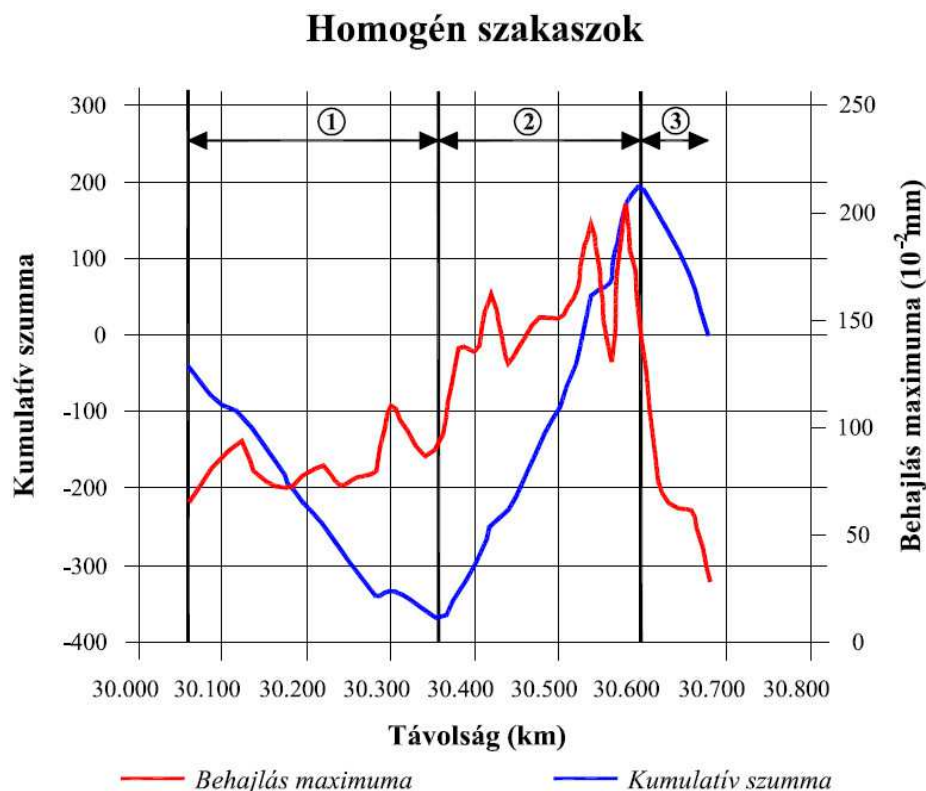
5.2.2. Homogén szakaszokra bontás

Az előzetes vizsgálatok legfontosabb célja, hogy a vizsgált útszakasz a rendelkezésre álló kivitelezési adatok, vizsgálatok és behajlásmérési adatok alapján homogén szakaszokra bontható legyen.

A homogén szakaszokra bontás során a tervezési terület olyan tervezési szakaszokra kerül felosztásra, amelyen a pályaszerkezet minden pontja hasonló tulajdonságokkal rendelkezik. Így a különböző pályaszerkezet típusok közötti váltások helyei beazonosíthatóvá válnak.

A homogén szakaszok a behajlásmérési adatokból, vagy más releváns mérési adatokból, mint például CBR mérési eredményekből, kumulatív szumma módszer segítségével határozhatók meg.

A következő diagramon egy útszakasz, behajlásmérési adatok alapján történő, homogén szakaszokra bontásának grafikonja látható.



4. diagram: Homogén szakaszokra bontás

(Forrás: Wirtgen GmbH.: *Cold recycling. Wirtgen Cold Recycling Technology*, 2012)

5.3. Részletes vizsgálatok

Minden homogén szakasz esetében szükséges laborvizsgálatokat végezni a pályaszerkezet összetételének és az altalaj típusának meghatározása érdekében.

A meglévő pályaszerkezet rétegrendjének meghatározásának legjobb módszere, a feltáró gödrök létesítése.

A gödrök segítségével a pályaszerkezeti rétegek vastagsága mellett, vizsgálható a burkolat állapota is, valamint a laboratóriumi vizsgálatokhoz szükséges minta is beszerezhető. Emellett a feltárás segítségével a helyszínen meghatározható az egyes rétegek víztartalma és anyagsűrűsége is.

Feltáró gödröt minden homogén szakasz esetében minimum két helyen kell kialakítani. Egyet olyan területen ahol a burkolaton látható hibák vannak, egyet pedig károsodásmentes felületen. A feltárást célszerű a forgalmi sávban a keréknyomban, illetve a forgalmi sávok szélén is elvégezni. A feltáró gödrök minimum 1 méter mélyek, általában 1 m szélesek és 0.75 m hosszúak. Biztonsági okokból a vizsgálatot követően a burkolatot minden esetben, azonnal helyre kell állítani.

Ezt követően a laboratóriumi vizsgálatok során megtörténik a feltáró gödörből kinyert anyagok vizsgálata, az egyes rétegek minősítése. Emellett meghatározásra kerül a minta szemeloszlása, valamint a szemcsék mérete.

A feltáró gödrök mellett, vizsgálható fúrt zavartalan minta is, amely gyorsabb mintavételi folyamattal és kisebb pályaszerkezet bontással jár, mint a fent említett módszer. Azonban ezen eljárás hátránya, hogy a mintavétel speciális eszközöket igényel és a minta zavartalansága érdekében nagyon precíz munkavégzést követel. A mintavételt követően laboratóriumban vizsgálható a fúrt minta összetétele, az egyes összetevők térfogatarányai valamint a nyomószilárdság értéke is.

A rétegrend meghatározására használható még dinamikus penetrométer is, ami egy kúpos kialakítású, edzett acél fejből és egy acél rúdból álló szerkezet. A vizsgálat lényege, hogy egy konstans magasságból az acél fejet a burkolatra ejtik, és mérik a penetrációs arányt, vagyis a fej ütésenkénti burkolatba hatolási mélységét. A mérési eredmények kiértékelésével megadható az egyes rétegek teherbíró képessége,

valamint a penetráció változását vizsgálva meghatározhatóak az egyes rétegek közötti határfelületek helyei is.

A rétegrend vizsgálatát követően célszerű elvégezni a laboratóriumi vizsgálatokhoz szükséges próbamarást is, amely során a marási mélység is megtervezhető.

A helyszíni vizsgálatok során teherbírás mérést is kell végezni a külső- és belső keréknyomban, valamint a burkolat szélén egyaránt. Hazai gyakorlat szerint a teherbírásmérés történhet az MSZ 2509/4-1989 Magyar Szabvány szerinti statikus méréssel, vagy dinamikus teherbírásméréssel, melynek követelményeit a e-UT 09.02.31 (ÚT 2-2.117) „Dinamikus teherbírásmérés” című Útügyi Műszaki Előírás rögzíti. A dinamikus teherbírásmérés ejtősúlyos berendezés felhasználásával végezhető.

Egyes útszakaszok esetében előfordulhat, hogy az útpálya két oldalának szélesítése nem azonos anyagokkal, nem azonos technológiával, vagy nem ugyanabban az időpontban történt. Ezért ilyen esetekben a mintavételt és a teherbírásmérést mindkét oldalon el kell végezni. Erről előzetes információk a közútkezelői adatszolgáltatásból állhatnak rendelkezésre. (*Fi et al, 2012*)

A helyszíni vizsgálatok során a keréknyom mélység vizsgálata is elvégezhető. A mérés végrehajtható egyszerű kézi mérőeszközökkel vagy akár speciális, lézeres technológiát alkalmazó mérőautókkal is. A keréknyom mélységéből és a felületen kialakuló hibák típusából kikövetkeztethető, hogy a pályaszerkezet felső vagy alsó rétegei okozzák-e a deformációkat. (*Cold recycling. Wirtgen Cold Recycling Technology, 2012*)

A mérések kiértékelését követően megtörténik az egyes homogén szakaszok jellemzőinek összegző lapon történő összefoglalása. Ezen dokumentum tartalmazza az összes, tervezéshez szükséges adatot, amely segítségével lehetővé válik a különböző kötőanyagú hideg újrahasznosítási technológiák közötti döntés, és meghatározhatóvá válnak a szükséges adalékanyag- és kötőanyag-adagolás arányai is.

6. A HIDEG REMIX GÉPEI

A hideg helyszíni újrahaznosítás során hatékony technológiai eszközök, gépek kerülnek alkalmazásra. A hideg újrahaznosításhoz többféle berendezés használható, melyek eltérőek lehetnek a keverési módszereikben, illetve abban hogy csak a helyszíni anyagok feldolgozására, vagy előkevert aszfaltból új réteg terítésére is alkalmasak-e.

A gépláncok egyes elemei nyomó- és húzórudak segítségével kapcsolódnak egymáshoz., melyek alapvető egységei a következők:

- bitumenemulzió, habosított bitumen vagy hidraulikus kötőanyag szállítását és adagolását biztosító tartálykocsik
- a burkolat felmarására, aprítására, összekeverésére és elterítésére szolgáló berendezés, amely egyes kisebb teljesítményű gépsoroknál egy gépegységként, míg nagyobbaknál több, egy-, vagy két-funkciós célgépként kerül kialakításra
- a burkolat végleges tömörségét biztosító tömörítő hengerek

A hideg helyszíni újrahaznosítás során az összeállított géplánc első eleme a finisher, amely a kiegészítő kőanyagot a meglévő burkolatra teríti. Ezt követi a kötőanyag adagolását biztosító egység, amely lehet szilárd halmazállapotú kötőanyagot szóró és folyadék halmazállapotú kötőanyagot adagoló gép.

A géplánc harmadik egysége a recycler gép, amely elvégzi a burkolat felbontását, az elbontott anyag hozzáadott kötőanyagokkal történő homogenizálását és az új anyag terítését. Ezt követi a gumihenger, amely elvégzi a burkolat előtömörítését. Erre legfőképpen a recycler egység nyomainak megszüntetése miatt van szükség.

Az előtömörítést követően a gréder segítségével megtörténik a profil kialakítása, majd a pályaszerkezet végső tömörítése.

Ezen gépegységek mellett a gépláncban alkalmazhatók még olyan hagyományos útépitési munkagépek is, mint a marógépek, kotrók, tartálykocsik illetve szállító kocsik.

Jelen fejezetben a helyszíni hideg recycling során alkalmazott egységek, valamint a mobil újrahasznosítás során használt újrahasznosító egység kerül részletes bemutatásra.

6.1. Kötőanyag terítő és adagoló gépek

A kötőanyagot terítő és adagoló gépek a recycling technológia legfontosabb kiegészítő gépei.

6.1.1. Szilárd halmazállapotú kötőanyagot terítő gépek

A szilárd halmazállapotú kötőanyagot terítő gépek a recycler egység előtt haladva, a burkolat felületére, előre meghatározott mennyiségben, terítik a kötőanyagot. A kiszórt mennyiség beállítását számítógépes fedélzeti egység vezérli, amely modern gépek esetében független a haladási sebességtől.

Az ilyen típusú kötőanyag terítő gépek nincsenek fizikai kapcsolatban a géplánc többi elemével, azokkal vonórudak segítségével sem csatlakoznak.

A kötőanyag terítő gépek lehetnek vontatottak, önjáróak, vagy traktorra szeretnek. A következő képen egy ilyen, önjáró SW 19 SC típusú, száraz kötőanyag terítőgép látható.



2. kép: SW 19 SC típusú száraz kötőanyag terítő gép

(Forrás: www.wirtgen.de)

Egyszerű terítógép alkalmazása esetében fontos, hogy a megfelelő mennyiség kiszórását folyamatosan ellenőrizni kell valamint a kiszórt anyag egyenletes elterítését is biztosítani kell. Modern gépek esetében már ez is biztosítható fedélzeti egység segítségével. Egy ilyen, traktorra szerelt terítógépet mutat a következő kép.



3. kép: SW 3 FC típusú terítógép

(Forrás: www.wirtgen.de)

6.1.2. Folyékony halmazállapotú kötőanyagot adagoló gépek

A folyékony halmazállapotú kötőanyagot adagoló gépek lehetnek egyszerű tartályok, amelyből mikroprocesszorral vezérelt szivattyúk segítségével a recycler gép keverőegységébe kerül a szükséges mennyiségű kötőanyag illetve víz.

Cementtejet alkalmazó technológiák esetében azonban speciális célgép alkalmazása javasolt. A gép a megfelelő cement- és vízmennyiséget előkeveri, majd zárt térben továbbjuttatja a recycler egység keverőterébe. Mivel a folyamat zárt térben megy végbe, a szuszpenzió pormentesen, így környezetbarát módon jut a keverőegységbe, ezzel lehetővé téve annak alkalmazását szeles időjárási körülmény esetében is.

A következő ábrán egy ilyen, zárt rendszerű cementtej keverő gép látható.



8. ábra: Slurry Mixer WM 1000 cementtejkeverő gép

(Forrás: www.wirtgen.de)

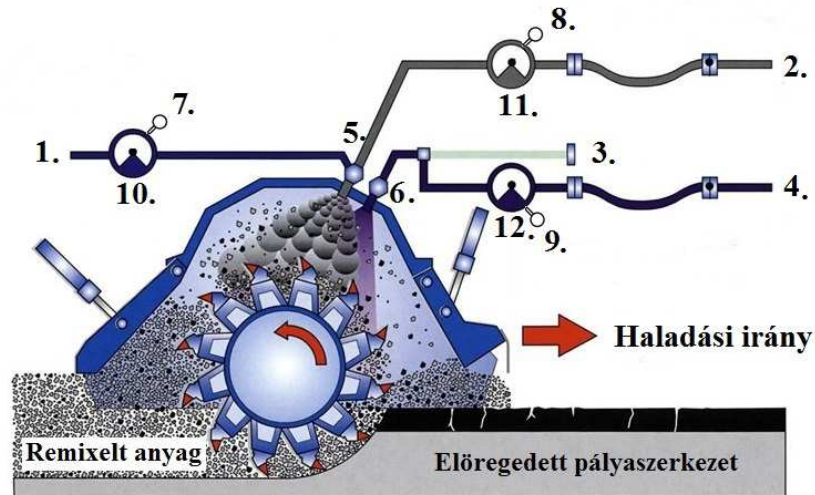
6.2. Recycler egységek

A hideg eljárás során a recycler egységek két típusa, a marókeverő és a kényszerkeverő, alkalmazható.

6.2.1. Marókeverő

Magyarországon a hideg helyszíni újrahasznosítás során leggyakrabban alkalmazott recycler egység a gumikerekeken mozgó marókeverő.

A marókeverő gépek a marógépek és talajstabilizáló gépek ötvözésével fejlődtek ki. A marókeverő egység alapja, hogy a burkolat marása és annak vízzel valamint kötőanyaggal történő homogenizálása egy térben, a maródobban történik. A következő ábrán a marókeverő vázlatrajza látható a hozzá tartozó adagoló rendszer elemeivel.



9. ábra: Marókeverő és a hozzá tartozó adagoló rendszer vázlatrajza

(Forrás: *Bebők Gábor: Bontott építési anyagok hideg helyszíni újrahasznosítása. Remix eljárások, eszközök és építési módok, 2012*)

Az ábrán feltüntetett jelölések a következők: 1: saját víztartály a habosított bitumen előállításához szükséges víz biztosítására; 2: forró bitumen vagy bitumenemulzió adagoló; 3: cementtej adagoló; 4: vízadagoló az optimális víztartalom eléréséhez szükséges víz biztosítására; 5.,6.: fúvókatisztító rendszer szabályozása; 7.,8.,9.: bitumen és vízszivattyúk szabályozása; 10.,11.,12.: bitumen és vízmennyiség ellenőrzése.

A gép előrehaladásával, a mikroprocesszorok által vezérelt szivattyú rendszeren keresztül, a keverőtérbe kerül a megfelelő nedvességtartalomhoz szükséges víz, valamint a kiválasztott folyékony vagy hab halmazállapotú kötőanyag. Mint ahogyan az már az előzőekben bemutatásra került, a porított stabilizáló szerek bedolgozására akkor van lehetőség, ha azok már a marókeverő egység előtt a burkolat felületére kiszórásra kerültek. Habosított bitumen kötőanyag alkalmazása esetében pedig a bitumen egy speciális, habosítást végző fúvókasoron keresztül jut a marókeverőtérbe.

A víz és különböző stabilizáló szerek megfelelő arányú adagolását számítógépes vezérlőrendszer biztosítja. Ezen rendszer feladata, hogy a gép haladási sebességének, és az időegység alatt felmart és átkevert mennyiségnek megfelelően, mindenkor biztosítsa a keverőtérbe beadagolt kötőanyag előírt mennyiségét. Ehhez folyamatosan

méri a gép haladási sebességét, és a felmárt anyag rétegvastagságát, majd ezen adatoktól függően adagolja a számítógépbe előzetesen beprogramozott arányoknak megfelelő összetevőket, illetve habosított bitumen kötőanyag esetében a habosításához szükséges levegő mennyiségét. (Rácz, 2011)

Mivel a marókeverő gépek nem rendelkeznek szintvezérléssel, ezért ezek alkalmazásakor a pályaszerkezet megfelelő kereszt- és hosszirányú esését gréderrel kell kialakítani, a megfelelő tömörséget pedig hengerléssel lehet előállítani.

A marókeverő egységek félpályás építésre alkalmasak, melynek előnye, hogy a forgalom az fennmaradó sávokat használhatja. Azonban ezen építés hátránya, hogy az egyes épített sávok csatlakozásánál az együttdolgozás nehezebben biztosítható, mint teljes szélességben történő építés esetén.

Európában a leggyakrabban alkalmazott marókeverő típusok a WR 2000, WR 2400, WR 2500 S, valamint a WR 2500 SK (www.wirtgen.de). Az egyes gépek elnevezésében szereplő szám a gép munkaszélességét jelzi milliméterben. A következő képen egy WR 2000 típusú recycler gép és egy, előtömörítést végző, acélköpenyes henger látható.



4. kép: WR 2000 típusú remixer

(Forrás: *Bebők Gábor: Bontott építési anyagok hideg helyszíni újrahasznosítása. Remix eljárások, eszközök és építési módok, 2012*)

6.2.2. Kényszerkeverő

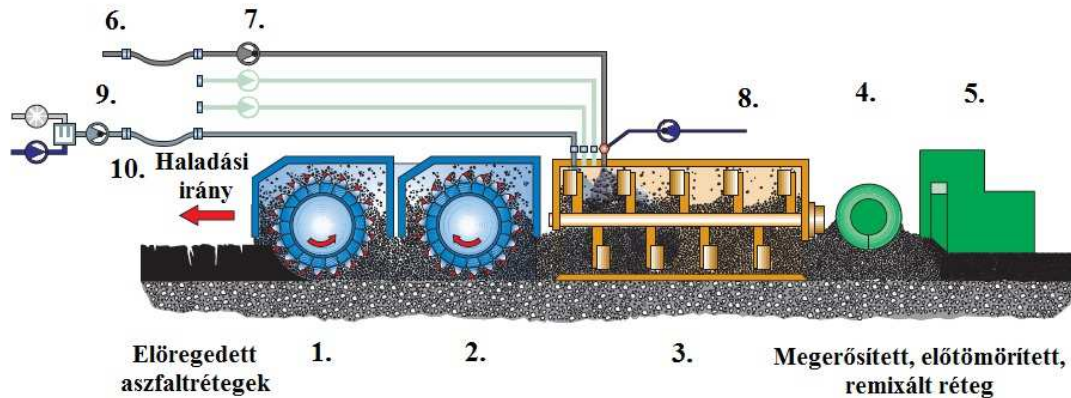
Hideg újrahasznosítás során a felújítást végző gépláncban recycling egységként kényszerkeverő is alkalmazható.

A kényszerkeverőben, a marókeverővel ellentétben a marási folyamat és az anyag keverése fizikailag elválasztottan, külön térben történik. Első fázisban megtörténik a burkolat marása, ezt követően az anyag a keverő térbe jut, ahol számítógépes vezérlés segítségével víz és különböző kötőanyagok hozzáadásával megtörténik az új keverék homogenizálása. Ezt követően a gép terítőpadjának és tömörítő egységének segítségével megtörténik az új pályaszerkezet anyagának elterítése és előtömörítése. A gép terítőpadja szintvezérelt, amely a kereszt- és hosszirányú magasságokat GPS koordináták, ultrahang, lézer vagy drót felhasználásával alakítja ki.

A kényszerkeverős remixerek alkalmazása Magyarországon még nem terjedt el. Európában a lánctalpakon haladó WR 4200 típusú remixer alkalmazása jellemző. A gép hátránya, hogy alap munkaszélessége 2800 mm, így ez ennél kisebb szélességben nem képes dolgozni. Alkalmazásának további hátránya, hogy a 24.5 m hosszú és közel 80 t tömegű gépet 11 tengelyes trélerrel lehet a munkaterületre szállítani, ami minden esetben útvonalengedély köteles szállítást jelent.

A WR 4200 típusú gép alkalmazásának előnye, hogy munkaszélessége az alap munkaszélességről 4200 mm-ig változtatható, ami egyes esetekben lehetővé tesz félpályás építést is. A gép további előnye, hogy nemcsak hosszirányban, hanem keresztirányban is keveri a burkolat anyagát, ezzel nagyobb homogenitást biztosítva a pályaszerkezetnek.

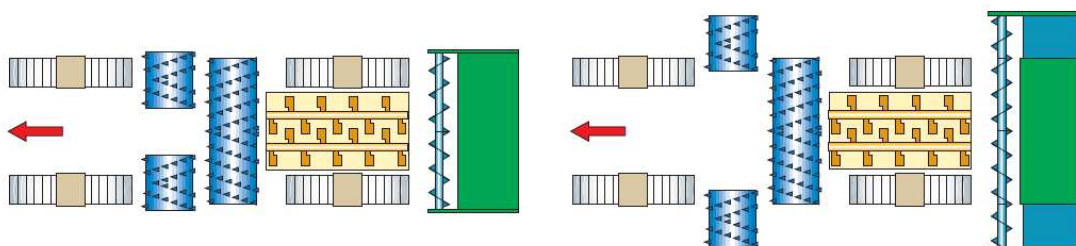
A következő ábrán a kényszerkeverő vázlatrajza látható a hozzá tartozó adagoló rendszer elemeivel.



10. ábra: Kényszerkeverő és a hozzá tartozó adagoló rendszer vázlatrajza
 (Forrás: Wirtgen GmbH.: *High-performance technology for road rehabilitation. Cold Recycler WR 4200, 2011*)

Az ábrán feltüntetett elemek a következők: 1.: változtatható szélességű maróhenger; 2.: fix szélességű maróhenger; 3.: kéttengelyű kényszerkeverő; 4.: elosztó csiga, 5.: tömörítő egység; 6.: bitumen adagoló tömlő; 7.: mikroprocesszor által vezérelt fúvókák habosított bitumen előállításához, 8.: mikroprocesszor által vezérelt vízadagoló tömlő habosított bitumen előállításához; 9.: mikroprocesszor által vezérelt cementtej adagoló tömlő; 10.: bitumenemulzió adagoló tömlő

A következő ábrán pedig a gép változtatható munkaszélességének elvi sémája látható.



11. ábra: Kényszerkeverő változtatható munkaszélességgel
 (Forrás: Wirtgen GmbH.: *High-performance technology for road rehabilitation. Cold Recycler WR 4200, 2011*)

6.3. Mobil vontatott törő

Az elmúlt évszázadban a mobilitási igény növekedésének következtében kialakult forgalom igényelte a szélesebb útfelületeket. Ennek megoldására általában a régi, nagy teherbírású rakott alapokra újabb rétegeket építettek, vagy azokat szélesítették. Így amikor ezen útszakaszok felújítására kerül sor, sok esetben előfordul, hogy a felújító géplánc recycler egysége nem képes a nagyméretű köveket keverni. Ezen probléma áthidalására a gépláncba törőgép kerül beiktatásra. A törőgépet általában traktor vontatja, amely előtt egy gréder halad, melynek villái a nagyméretű köveket a felszínre forgatják.

A vontatott törőgépek esetében a törőtengely fordulatszáma állandó, a szemszerkezet a haladási sebességgel szabályozható, tehát az adott szemszerkezet a megfelelő sebesség megválasztásával érhető el.

Vontatott törőgépek a magyar útépitési gyakorlatban csak ritkán kerülnek alkalmazásra.

A következő két képen a fent említett kivitelezési módszer látható. Mint ahogyan az a törés előtti és utáni állapotból látható, a mobil vontatott törőgépek kis energiaigény mellett hatékonyan alkalmazhatók a nagy burkolatdarabok aprítására.



5. kép: Nagyméretű burkolatdarabok felszínre fordítása

(Forrás: Bebők Gábor: Bontott építési anyagok hideg helyszíni újrahasznosítása. Remix eljárások, eszközök és építési módok, 2012)



6. kép: Burkolat törése vontatott mobil törőgéppel

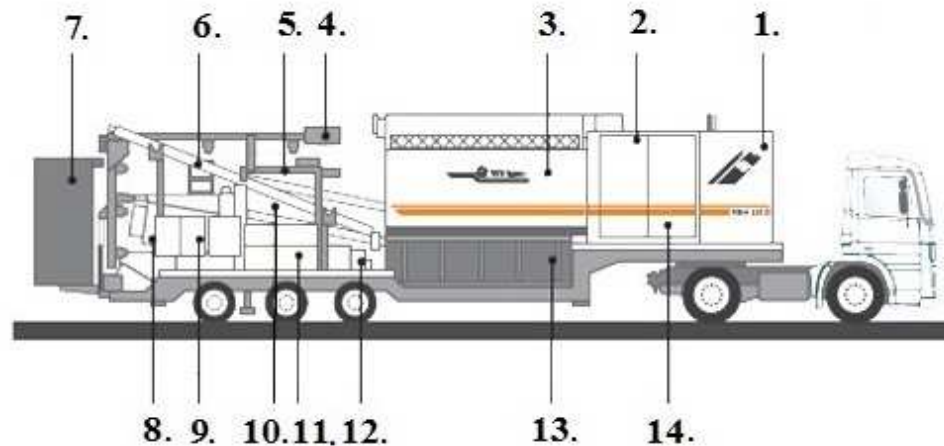
(Forrás: Bebők Gábor: Bontott építési anyagok hideg helyszíni újrahasznosítása. Remix eljárások, eszközök és építési módok, 2012)

6.4. Mobil újrahasznosítás keverő egysége

A mobil újrahasznosítás során egy alkalmazott keverőegység a KMA 220 típusú mobil hideg recycler egység. A gép cement, bitumenemulzió, habosított bitumen, vagy vegyes kötőanyagú keverékek előállításra egyaránt alkalmas.

A mobil keverőegység energiatakarékos dízelmotorral rendelkezik, aminek köszönhetően egy tank üzemanyag felhasználásával két napig képes dolgozni. Valamint a dízelmotornak köszönhetően az egység teljesen független a közösségi energiaellátástól is.

A következő ábrán a mobil keverő alapegységei láthatók.



12. ábra: Mobil keverő alapegységei

(Forrás: Wirtgen GmbH.: *A mixing plant that comes to the job site.*

Mobile cold recycling mixing plant KMA 220, 2008)

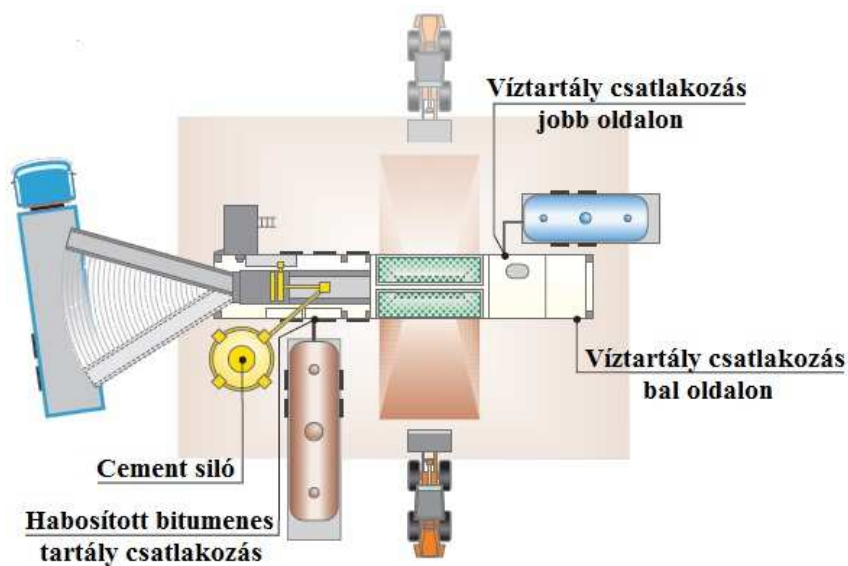
Az ábrán számmal jelölt egységek a következők: 1.: motor állomás; 2.: vizes tartály; 3.: anyagfeladó egység; 4.: szállítószalag (szállítási pozícióban); 5.: cement mennyiség ellenőrzése; 6.: cement adagoló szalag (szállítási pozícióban); 7.: kapcsolószekrény; 8.: keverődob; 9.: áramfejlesztő; 10.: betápláló szállítószalag; 11: bitumenemulziós pumpa; 12.:habosított bitumenes pumpa; 13.:lenyitható ajtó a rámpás megközelítéshez; 14.: vízadagoló rendszer

Ezen típusú gép kapacitása 200 t/h, ami azt jelenti, hogy egy 20 tonnás teherautó keveréssel való megtöltésére mindössze 6 percre van szüksége. Ez másképp kifejezve annyit tesz, hogy egy 150 m hosszú, 4 méter széles, 15 cm vastag pályaszerkezet alaprétégének előállítását egy óra alatt elvégzi.

A gép nagy kapacitása mellett további előnye kis helyigénye, hiszen egy körülbelül 40x45 m-es területen elfér a hozzá tartozó cement, víz és bitumenadagoló egységekkel együtt.

A következő ábrán a keverőegység és a hozzá tartozó tartályok elhelyezésének vázlatja látható. A keverőegység 2,5 m széles, 19,20 m hosszú. A vizes, vagy emulziós tartályautó a keverőegység mindkét oldalán, a cementsiló pedig a gép jobb

illetve bal oldalán is elhelyezhető. A keverőegység szállítószalagjának helyzete változtatható, ezzel minden esetben biztosítva az anyag teherautóra juttatását.



13. ábra: A mobil keverő és a hozzá tartozó egységek elhelyezkedése

(Forrás: Wirtgen GmbH.: *A mixing plant that comes to the job site.*

Mobile cold recycling mixing plant KMA 220, 2008)

A mobil keverőegység alkalmazásának további előnye, hogy gyors beállíthatóságának köszönhetően, egy építési ütem során akár többszöri helyválttatása is gazdaságosan megoldható. Valamint összeszerelése és szétbontása nem igényel különleges felszerelést.

A mobil keverők alkalmazása, a műszaki és gazdasági szempontok mellett környezetvédelmi szempontból is igen előnyös. Azzal, hogy a keverőegység az építési terület közvetlen közelében található, a szállító autók által kibocsátott széndioxid emisszió csökken. Emellett az újrahasznosítás maximális hatékonyságának köszönhetően, a pályaszerkezet teljes egészében újrahasznosítható, ami jelentős nyersanyag megtakarítást eredményez. (*A mixing plant that comes to the job site. Mobile cold recycling mixing plant KMA 220, 2008)*

7. HAZAI SZABÁLYOZÁS BEMUTATÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE

Jelen fejezetben a pályaszerkezet hideg helyszíni újrahasznosításával foglalkozó Útügyi Műszaki Előírás kerül bemutatásra, kihangsúlyozva annak ellentmondásait, hiányosságait, és módosítási lehetőségeit.

A helyszíni hideg újrahasznosítás során alkalmazandó jelenleg érvényben lévő Útügyi Műszaki Előírás adatai a következők:

Címe: Bontott útépitési anyagok újrahasználata I.

Alcíme: Pályaszerkezet helyszíni hideg újrahasznosítása

Kódja: e-UT 05.02.52 (ÚT 2-3.707:2008)

Kiadásának éve: 2008

Az útügyi előírás tárgya az útpályaszerkezetek felújítási technológiája az útpályaszerkezeti réteg felmarásával, szükség szerinti anyagpótlásával, homogenizálásával majd kötőanyaggal való átkeverésével, tömörítésével és lezárásával. A műszaki előírás megadja a tervezési, építési és minőségi követelményeket.

Az előírás tartalma a következő:

1. Alkalmazási feltételei
2. Fogalom meghatározások
3. Tervezés
 - 3.1. Állapotfelvétel
 - 3.2. A beavatkozás típusának kiválasztása, az alapréteg megtervezése
4. Építési előírások
 - 4.1. Általános építési előírások
 - 4.2. A kivitelezés eszközei
 - 4.3. A kivitelezés
 - 4.4. Burkolatépítés

- 5. Minőségi követelmények
 - 5.1. Általános követelmények
 - 5.2. Tömörség
 - 5.3. Teherbírás
 - 5.4. Geometriai követelmények
 - 6. A minőség ellenőrzése
 - 6.1. Az anyagok gyártásellenőrző vizsgálatai
 - 6.2. A stabilizáció gyártásellenőrző vizsgálatai
 - 7. Minősítés, a megfelelés igazolása
 - 7.1. Az alapréteg minősítése
 - 7.2. A burkolat minősítése
- Függelék
- F1. Méretezési példa

7.1. Az alkalmazás feltételei

A műszaki előírás első fejezete, megadja a hideg helyszíni újrahasznosítási eljárás alkalmazási feltételeit. Ez alapján az eljárás az e-UT 06.03.13 (ÚT 2-1.202.) szerinti A, B, C, D illetve E forgalmi terhelési osztályokban alkalmazható.

A forgalmi terhelési osztályok meghatározása a tervezési forgalom alapján történik, amely a tervezési élettartam során irányonként áthaladó egységtengelyek számát veszi figyelembe.

A tervezési forgalom alapján a következő terhelési osztályok különböztethetők meg:

Jel	Forgalmi terhelési osztály	Tervezési forgalom (F100, millió egységtengely)
A	Nagyon könnyű	0.03 - 0.1
B	Könnyű	0.1 - 0.3
C	Közepes	0.3 - 1
D	Nehéz	1 - 3
E	Nagyon nehéz	3 - 10
K	Különösen nehéz	10 - 30
R	Rendkívül nehéz	30 felett

4. táblázat: Tervezési forgalom szerinti forgalmi terhelési osztályok

(Forrás: e-UT 06.03.13 (ÚT 2-1.202.) Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése. Útügyi Műszaki Előírás)

Ez alapján, Magyarországon a hideg remix technológia maximum 10 millió egységtengely tervezési forgalom esetén alkalmazható.

Ezzel szemben, számos külföldi építési eredmény bizonyítja, hogy a technológia a magyar előírásnál nagyobb forgalmi terhelés esetében is sikeresen alkalmazható. *(Cold recycling. Rehabilitation of a heavily trafficked road, 2005)*

Példaként említhető a kínai Jingshen Expressway, a Pekinget Sengjanggal összekötő autópálya egyes szakaszainak hideg remixszel történő felújítása, mely során a Wirtgen cég által forgalmazott WR4200-as recycler egység és a KMA 200 mobil keverő együttesen került alkalmazásra. *(www.wirtgen-group.com)*

Továbbá az előírás a hideg helyszíni újrahasznosítás alkalmazása során az e-UT 05.02.51 (ÚT 2-3.706) kódú, bontott útépitési anyagok újrahasználatára és hasznosítására vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás követelményeinek betartása is kötelező. Az építés további feltétele az útszakasz állapotfelvétele, a próbamarás, a mintavétel, az alkalmassági vizsgálat és az előzőeken alapuló technológiai utasítás elkészítése, a pályaszerkezet és a földmű működő víztelenítése és a fagyvédelem.

Fontos követelmény, hogy az építés során alkalmazott kiegészítő anyagok meg kell feleljenek az érvényben lévő szabványoknak és műszaki előírásoknak. A beavatkozás

megtervezéséhez ismerni kell a forgalmat, a kiviteli terveket pedig a várható forgalomra és tervezett élettartamra kell elkészíteni.

7.2. A tervezés menete

A fogalom meghatározásokat követően az útügyi előírás áttér a tervezés menetének meghatározására.

7.2.1. Állapotfelvétel

A 3.1-es pontban meghatározásra kerülnek az állapotfelvétel során vizsgálandó adatok. Eszerint szükséges az útpálya geometriai méreteinek, forgalmának, teherbírásának, a pályaszerkezet rétegrendjének, vastagságának, anyagainak, az általaj fajtájának és a vízelvezető rendszer állapotának meghatározása, valamint az üzemeltetés során jelentkezett problémák megismerésére.

Előzetes tájékoztatásul az adatbanki adatokat is fel lehet használni, de a technológia megtervezéséhez minden esetben olyan feltárásra van szükség, amely megadja az egyes rétegek vastagságát és anyagát, továbbá kellő mennyiségű anyagot szolgáltat az alkalmassági vizsgálat elvégzéséhez.

A laboratóriumi vizsgálatához szükséges anyagmennyiséget célszerűen félszélességben, keresztirányban való próbamarással kell vételezni. Ennek során a marási mélység is megtervezhető. Tájékoztató mennyiség szakaszonként legalább 150 kg. A mintavételt követően a mar felületen tárcsás teherbírás mérést is kell végezni.

Egyes útszakaszokon előfordulhat a többszöri szélesítés miatt, hogy az útpálya két oldalának szélesítése nem azonos technológiával és különböző anyagokkal készült, így a mintavételt mindkét oldalon el kell végezni.

7.2.2. A beavatkozás típusának kiválasztása, az alapréteg megtervezése

A műszaki előírás 3.2-es pontjában a beavatkozás típusának kiválasztása és az alapréteg megtervezése kerül részletezésre.

Az előírás szerint kötőanyag beépítés történhet hidraulikus, bitumenes vagy vegyes kötőanyag felhasználásával. Az egyes kötőanyagok alkalmazása a meglévő

pályaszerkezet teherbírásához kötött. A tervezés során a teherbírési osztályt kell figyelembe venni, mely az adott útszakasz behajlás értékeiből következik, melyek az Országos Közúti Adatbankból lekérdeezhetőek. Eszerint hidraulikus kötőanyag alacsony (4-es, 5-ös teherbírési osztály), míg bitumenes kötőanyag csak megfelelő (3-as teherbírési osztály) teherbírás esetén alkalmazható.

A kötőanyag nélküli újrafelhasználás a tapasztalatok szerint nem biztosítja a szükséges minőséget így az nem is gazdaságos.

Az előírás kimondja, hogy a helyszíni hideg remix technológia nem alkalmazható abban az esetben, ha a felmarásra szánt réteg kockakövet, kiskövet, rakott követ, vagy betonréteget tartalmaz.

Ezzel szemben a technológiát több fejlett útépítésű ország, ilyen esetben is alkalmazza, hiszen annak technológiai korlátja nincs. Ma már villával ellátott gréderrel a nagyobb darabok kifordíthatók és azok a vontatott törőgépek segítségével a tervezett átmérőjűvé alakíthatók.

A kockakövek esetében az előírás inkább gazdasági, mint technológiai szempontokra épül, hiszen a kockakövel kialakított felületek építési költsége nagy és az építőanyag sok esetben újra felhasználható, akár más építési területen is.

Az előírás 3.2.2.-es fejezetében a hidraulikus kötőanyaggal történő stabilizálás feltételei kerülnek felsorolásra. Eszerint a hidraulikus kötőanyaggal való stabilizálás alkalmassági vizsgálatát az e-UT 06.03.52 (ÚT 2-3.207) Útügyi Műszaki Előírás C_{1,5/2} szilárdsági osztálya szerint kell megtervezni és a vizsgálatot a módosított szemmegoszlású keverékkel kell végrehajtani. Az előírás itt ellentmondásos, hiszen a hivatkozott műszaki előírásban hidraulikus védőréteget kell az említett szilárdsági osztály szerint tervezni, burkolatalapok esetében azonban a C_{3/4} szilárdsági osztály a követelmény.

Az említett szilárdsági osztályok nyomószilárdsági értékeit a következő táblázat tartalmazza:

Szilárdsági osztály jele	A nyomószilárdság jellemző értéke N/mm ²		
	Kocka vagy henger H/D = 1	Henger	
		H/D = 1.5	H/D = 2.0
C _{1,5/2}	2	1.7	1.5
C _{3/4}	4	3.5	3.0

5. táblázat: Az egyes szilárdsági osztályok nyomószilárdsági értékei

(Forrás: e-UT 06.03.52 (ÚT 2-3.207) Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei. Tervezési előírások. Útügyi Műszaki Előírás)

A táblázatból jól látszik, hogy a vizsgált Útügyi Műszaki Előírás szilárdsági követelményei a hivatkozott előírás szerinti értékek felének felelnek meg, tehát a hidraulikus kötőanyaggal épülő hideg remix esetében kisebb szilárdság is elegendő. Azonban a mart aszfaltú adalékanyaggal készült hidraulikus keveréket is helyszínen kevert hidraulikus kötőanyagú szemcsés alapréteggként kell kezelni.

A következő, a 3.2.3.-as pontban a bitumenes kötőanyaggal történő keveréssel szemben támasztott követelmények kerülnek bemutatásra.

Eszerint a kötőanyag lehet bitumenemulzió vagy habosított bitumen, vagy más, építőipari műszaki engedéllyel (ÉME) vagy európai műszaki engedéllyel (ETA) rendelkező kötőanyag.

A bitumenemulzió nem tartalmazhat oldószert vagy fluxálószert, valamint az emulzió bitumentartalma 60-65 % között, a pH-érték pedig 3 és 9 között kell legyen.

Bitumenemulzió alkalmazása esetében a törési folyamat a keverék kiürítését követően legkorábban 1 óra elteltével fejeződjön be, és a szemek legyenek tartósan bevonva.

Az alkalmassági vizsgálatot különböző mennyiségű bitumenemulzió adagolással előállított Marshall-féle próbatestekkel kell megtervezni az e-UT 05.02.16 (ÚT 2-3.310) alaprétegre vonatkozó előírásai szerint azzal a különbséggel, hogy a Marshall-stabilitás helyett az MSZ EN 12 697-23 szabványnak megfelelő hasítószilárdságot kell meghatározni áztatás nélkül, az emulzió megtörése után egy órával.

A szemmegoszlás beállításánál ajánlott a mechanikai stabilizáció szemmegoszlását követni. A próbatesteket az MSZ EN 12 697-30 szerint kell elkészíteni. A vizsgálati léghőmérséklet a szabványtól eltérően 20-22 °C. A hasítószilárdság tájékoztató megkívánt legkisebb értéke 0,2 N/mm².

Habosított bitumen kötőanyagú stabilizálásra az olyan anyag alkalmas, amelynek 0,063 mm alatti része 5 és 20 % között van. Ha a finomrész hiányzik, akkor legfeljebb 2 % cement vagy mész hozzáadásával lehet a kívánt stabilitást elérni. A habosított bitumenes stabilizáció alkalmassági vizsgálatát az e-UT 06.03.24 (ÚT 2-2.126) szerint kell elvégezni.

A habosított bitumennel történő stabilizálás esetében a bedolgozási idő nincs korlátozva.

A vizsgált előírás 3.2.4.-es pontja foglalkozik a vegyes kötőanyaggal történő újrahasznosítás követelményeivel.

A kötőanyagok mennyiségére tájékoztató értékeket ad meg, amely bitumenemulzió esetében 2-6 %, cement esetében pedig 3-6 %.

Mint ahogyan az már jelen diplomamunka 4.3-as pontjában is bemutatásra került, a német gyakorlatban a bitumenemulzió aránya általában 5 %. A körülbelül 2,5 %-ban jelenlévő cementnek pedig nem közvetlenül a stabilizálás a feladata, hanem annak a kémiai folyamatokban van szerepe. Magyarországon viszont a nagyarányú cementhasználat gazdasági okokra vezethető vissza, hiszen az jóval alacsonyabb költségű, mint a bitumenemulzió.

Az előírás 3.2.5.-ös pontjában a burkolat megtervezésének követelményei kerülnek bemutatásra. Eszerint a hideg helyszíni újrahasznosítás során minden esetben kiegyenlítőréteget kell tervezni a remixált alaprétgre. A burkolatot az e-UT 06.03.13 (ÚT 2-1.202) Útügyi Műszaki Előírásnak megfelelően a tervezési forgalom szerint kell megtervezni. Fokozatos kiépítés is megvalósítható az A, B és C forgalmi terhelési osztályokban. Ilyenkor az elkészült alaprétget felületi bevonattal vagy hengereltaszfalttal lehet lezárni, majd 1-2 év után kerülhet rá a végleges burkolat.

Hidraulikus kötőanyagú alaprétgre legalább kétrétegű felületi bevonat vagy építőipari műszaki engedéllyel rendelkező, a forgalom nagyságának megfelelő más bevonat kerüljön.

Az aszfaltburkolatok vastagsága feleljen meg az e-UT 06.03.13 (ÚT 2-1.202) előírás típus pályaszerkezetei közül a forgalmi terhelési osztálynak megfelelő vastagságnak azzal, hogy az alapréteg egyenértékűnek vehető a hidraulikus kötőanyagú stabilizáció 0,8-szeres vastagságával, ha a remixált alapréteg teherbírása kiegyenlíti a következő teherbírási értékeket:

Az alapréteg kora	Az alapréteg vastagsága (cm)			
	15	20	25	30
	Teherbírása (E ₂) legalább, MPa			
3 nap	115	140	165	190
7 nap	140	180	220	260

6. táblázat: Minimális teherbírási értékek az alapréteg kora szerint

(Forrás: e-UT 05.02.52 (ÚT 2-3.707) Bontott útépitési anyagok újrahasználata I. Pályaszerkezet helyszíni hideg újrahasznosítása. Útügyi Műszaki Előírás)

Az aszfaltréteg szükséges vastagsága a következő közelítő számítással tervezhető:

$$v = 1.2 * v_{\text{aszf}} * h_{\text{méretezett}} / h_{\text{tényleges}}$$

ahol

- v: a szükséges vastagság
- v_{aszf}: a méretezési utasításban a megfelelő forgalmi osztályban előírt aszfaltvastagság
- h_{méretezett}: a méretezési utasításban megadott alapréteg vastagság
- h_{tényleges}: az alapréteg vastagsága (megmaradó + remixált)

Az előírás ezen része ismét ellentmondásos, hiszen az előírás 5.1.-es pontja szerint az újrahasznosított réteg minőségének meg kell felelnie az általános minőségi követelményeknek, azaz hidraulikus alapréteg esetében az e-UT 06.03.51 (ÚT 2-3.206), habosított bitumennel készült stabilizáció esetében pedig az e-UT 06.03.24 (ÚT 2-2.126) Útügyi Műszaki Előírás szerint előírtaknak.

Tehát az újrahasznosított hidraulikus alaprétegek minősége meg kell egyezzen az új építésű, hidraulikus kötőanyagú burkolatalapok minőségi követelményeivel.

Azonban ezen előírás szerint az újrahasznosított réteg vastagsága a teljesen új hidraulikus stabilizációs réteg vastagságának csak 80%-ának felel meg. Tehát a szabvány szerint 20 %-kal nagyobb vastagságban épített újrahasznosított réteg felel meg az előírásoknak, ami a minőségi követelmények teljesülése miatt nem érthető.

Ezen ellentmondást enyhíti, hogy a fent bemutatott képlet figyelembe veszi a maradót, azaz nem remixált réteg vastagságát, ezzel csökkentve a szükséges erősítő aszfaltréteg vastagságát.

Ezen ellentmondás valószínűleg arra a régi felfogásra épült, hogy a telepi újrahasznosítás során készített burkolat jobb minőséget biztosít, mint a helyszíni újrahasznosítás. Az előző évtizedben alkalmazott gépek építési vastagsága nem minden esetben volt ellenőrizhető, és építési pontosságukra adható biztonság 5-10 % volt.

Azonban elmondható, hogy ma már a hatékony, nagy pontossággal építő, újszerű gépeknek köszönhetően a helyszíni újrahasznosítással a telepi újrahasznosításnál jobb eredmények is elérhetők. Ezt bizonyítja, az M6-os autópályán épített próbaszakaszok esete is. Ott a laborvizsgálatok kimutatták, hogy a telepi újrahasznosítás során épített rétegek átlag nyomószilárdsága 6.5 N/mm^2 , míg a helyszíni hideg eljárással épített rétegek átlag nyomószilárdsága 8 N/mm^2 volt.

Az előírás következő, 3.2.6.os pontjában, meghatározásra kerülnek a fagyvédelemre történő ellenőrzés követelményei. Eszerint a tervezett pályaszerkezetet a talajfajta és a víztelenítés ismeretében az e-UT 06.02.11 (ÚT 2-1.222) Útügyi Műszaki Előírás szerint ellenőrizni kell. Ha a pályaszerkezet fagyvédelem szempontjából nem felel meg, akkor azt át kell tervezni.

7.3. Építési előírások

A vizsgált útügyi műszaki előírás 4. fejezetében az építési előírások kerülnek bemutatásra.

7.3.1. Általános építési előírások

Az előírás Általános építési előírások című fejezetében meghatározásra kerülnek a megrendelő és vállalkozó feladatai, kötelezettségei.

Eszerint a megrendelő feladata az építés előtti állapotfelvétel, az építési munka technológiai leírása, amely magában foglalja az újrahasznosítás típusát, az útpályaszerkezet méretezését. A vállalkozó feladata az alkalmassági vizsgálat elvégzése, ez alapján a technológiai utasítás, a mintavétel és a minősítési terv elkészítése.

Itt megjegyzendő, hogy az építés előtti állapotfelvétel során a megbízó mellett az állapotfelvétel során, a tervezőnek is fontos lenne részt vennie a helyszíni bejáráson. Ezzel a tervező teljes képet kaphatna a fennálló körülményekről és így minden esetben biztosítható lenne a megbízó, a tervező és a vállalkozó közötti megfelelő kommunikáció is.

Továbbá az előírás kimondja, hogy abban az esetben, ha a megrendelő az előírásnak megfelelően tervezett munkák műveleteit nem írja elő és/vagy a keverékek összetételét előre nem adja meg, akkor a vállalkozó köteles az építési munkákra technológiai utasítást készíteni az általa alkalmazni tervezett anyagok, a létszám, az eszközök és a gépek megadásával, a munkaműveletek, a munkavédelmi intézkedések és a biztonsági szabályok leírásával. Ezeket a versenyfelhívásban a megrendelőnek tudatosítania kell a létszám, az eszközök és gépek megadásával, a munkaműveletek, a munkavédelmi intézkedések és a biztonsági szabályok leírásával.

Az anyagkeverék anyagait és annak összetételét keverék-összetételi utasításban kell a vállalkozónak előírnia. Az építéshez használandó anyagok és anyagkeverékek alkalmasságát a vállalkozónak azok beépítése előtt be kell mutatnia a megrendelőnek, a szállítóktól beszerzett megfelelőségi igazolások, vizsgálati eredmények, és ha szükséges, a vállalkozó által elvégzett vagy elvégeztetett laboratóriumi vizsgálatok eredményeivel együtt.

Továbbá a vállalkozó feladata a keverék előállítására vonatkozó keverési napló vezetése mellett a beépítésre vonatkozó adatok naponta történő feljegyzése, mint például az építési sáv szélessége vagy a naponta beépített keverék tömör térfogata.

A vállalkozónak az elvégzett munkák minőségi és megfelelőségi ellenőrzése is feladata, melyeket mintavételekkel, mérésekkel és vizsgálatokkal kell igazolni. Az anyagokra vonatkozó megfelelőségi nyilatkozatokat pedig a szállítóktól kell beszereznie.

7.3.2. A kivitelezés eszközei

Az előírás 4.2.-es fejezetében a kivitelezés eszközei kerülnek meghatározásra.

Először a technológiai sorrend, majd azt követően a helyben készülő hideg remix technológiához szükséges gépek kerülnek felsorolásra.

Az előírás szerint a technológiai folyamatot a rendelkezésre álló géplánc műszaki paraméterei szerint kell megtervezni. Előnyös olyan célgép alkalmazása, amely a marást, a keverést, a kötőanyag és víz adagolását és átkeverését egy munkamenetben végzi.

7.3.3. A kivitelezés és burkolatépítés

A következő, 4.3.-as és 4.4-es fejezetekben a kivitelezés és burkolatépítés szabályainak felsorolása található. Itt meghatározásra kerülnek a szélesítés, a hibajavítás, a marási művelet, a javítóanyag elterítés, a homogenizálás, a kötőanyag elterítés, a víz hozzáadás, a keverés, a tömörítés és az utókezelés követelményei is.

A kivitelezésre vonatkozóan az előírás megszabja, hogy az átmarási munkaterület egy időben az 500 métert nem haladhatja meg félpályás terelés mellett. Azonban a magyar gyakorlat tapasztalatai szerint az egyszerre munkába vehető útszakaszok hosszát fel kellene emelni 1 km-re, mert az 500 méterenkénti építés jelentősen megdrágítja a kivitelezést, hiszen a kezdő és befejező részeknél 10-10 métert kétszer kell átmarni, valamint az építés időtartama is a kétszeresére növekszik. Emellett a külföldi gyakorlati tapasztalatok szerint félpályás építés helyett teljes útzár alatt, jobb minőségi eredmények mellett, az építési költségek is jelentősen csökkennek.

A burkolatépítésre vonatkozóan az előírás megszabja, hogy a tervezett burkolatot, minden esetben kiegyenlítőrétegre, a vonatkozó előírások szerint kell megépíteni. Fokozatos kiépítés esetén az alapréteget az első ütemben legalább kétrétegű felületi bevonattal vagy egyrétegű aszfalttal kell ideiglenesen lezárni.

A burkolatépítésre vonatkozóan az előírás hiányosnak mondható, hiszen hidraulikus kötésű alapréteggént a repedés áttükröződés ellenei védelmet is meg kell oldani, amire az előírás jelen esetben nem tér ki. A hidraulikus alapréteg viselkedése miatt mindenképp repesztést vagy hézagolást kell végezni. Ez abban az esetben hagyható el, ha a remixelt rétegre az építést követő 1-2 évben csak vékony aszfaltréteget vagy felületi bevonatot terítenek, így az a forgalom hatására tud összerepedezni.

7.4. Minőségi követelmények

Az előírás 5. fejezetében a minőségi követelmények kerülnek bemutatásra.

Eszerint a minőségi követelményeket az e-UT 06.03.51 (ÚT 2-3.206) szerint kell előírni azzal az eltéréssel, hogy mivel fenntartási beavatkozásról van szó, a szilárdságra előírt érték (28 vagy 63 napos) csak tájékoztatásra szolgál, minősítésre nem. A hivatkozott előírásban a védőrétegekre megadott követelményeket kell biztosítani, kivéve a teherbírást. A habosított bitumennel készülő stabilizáció követelményei pedig az e-UT 06.03.24 (ÚT 2-2.126) szerint kell előírni.

Tömörséget tekintve a stabilizáció tömörségének ki kell elégítenie az e-UT 06.03.51 (ÚT 2.3.206) Útügyi Műszaki Előírás védőrétegekre megadott értékét. A tömörség az MSZ EN 13 282-2 szerinti módosított Proctor-vizsgálattal, vagy az e-UT 09.02.35 (ÚT 2-2.124) szerinti dinamikus tömörségméréssel is vizsgálható, azonban utóbbi esetben hidraulikus kötőanyagú stabilizáció esetében az csak friss állapotban végezhető.

Teherbírást tekintve az előírás megszabja, hogy a stabilizált réteg teherbírását legkorábban csak három napos korban lehet végezni az MSZ 2509-3 szerinti tárcsás méréssel. A mért értékeknek meg kell haladniuk a 6. táblázatban bemutatott értékeket. Abban az esetben, ha a három napos korban végzett vizsgálati eredmények nem felelnek meg az elvártnak, a mérést hét napos korban meg kell ismételni és a minősítést ezek figyelembevételével kell elkészíteni.

Geometriai követelményeket tekintve az előírás meghatározza az épített réteg vastagságának, keresztirányú esésének és a burkolat szélességének ellenőrzési folyamatait és gyakoriságát, valamint az eredmények megengedettől való eltérésének arányát.

A következő fejezetekben az előírás megadja az anyagok és az épített stabilizáció gyártásellenőrző vizsgálatainak vonatkozó előírásait, valamint a minősítés és megfelelés igazolás tekintetében az alapréteg és a burkolat minősítésére vonatkozó előírásokat.

Végül az előírás függelékében egy méretezési példa is található, melyben egy B forgalmi terhelési osztályba tartozó útszakasz esetében alkalmazandó rétegvastagságok számítása látható. Ezen példa azonban a teljes alapvastagságot tekintve nem egyértelmű, hiszen nem adja meg, hogy az átkevert és megmaradó réteg együttes vastagsága az előírás 3.2.5.-ös fejezetében meghatározott 0.8-szoros egyenértékűségi tényezővel felszorozott érték vagy a valódi építési vastagság. Így ezt az előírás felülvizsgálata során pontosítani kell.

Összességében elmondható, hogy a vizsgált útügyi műszaki előírás ma már nem felel meg a műszaki és gazdasági elvárásoknak, hiszen nem követte az elmúlt 6 évben történt technológiai változásokat, ezáltal az elavulttá vált.

Az előírás javításának legfontosabb feladata az építési vastagságok valamint az alkalmazhatóság korlátainak felülvizsgálata lenne, ami a technológiai fejlődés miatt egyre sürgetőbb feladattá vált.

8. HAZAI ÉS KÜLFÖLDI EREDMÉNYEK, TAPASZTALATOK

8.1. Hazai közúthálózat helyzete

Magyarországon a közúti infrastruktúra fenntartása, fejlesztése területén az utóbbi évtizedekben az anyagi lehetőségek szűkülése figyelhető meg.

A közúthálózat különböző szintű elemei, részben a források elégtelen volta miatt, eltérő mértékben kerültek fejlesztésre. A fejlesztés mellett a fenntartásra és felújításra rendelkezésre álló források sem elegendőek. Így az európai uniós csatlakozást követően, az elsődleges feladat a törzshálózat, ezen belül is legnagyobb mértékben a gyorsforgalmi utak fejlesztése, a nemzetközi tengelyek szakaszainak kiépítése, illetve a meglévő főúti burkolatok 11,5 tonna teherbírásra történő megerősítése volt az elsődleges cél.

Így a hálózat elosztó, ráhordó és regionális összekötő útjainak állapota folyamatosan romlott. A fenntartási beavatkozások elmulasztásának eredményeként, a magyar országos utak fele nem megfelelő állapotú és körülbelül egy harmada közepes minőségű. Ezen tendencia eredményeként az alsóbbrendű utak szolgáltatási színvonala nagyon leromlott.

Az elmúlt évtizedben az Európai Unió kohéziós politikájának célja az elmaradott térségek felzárkóztatása, valamint a regionális versenyképesség biztosítása volt.

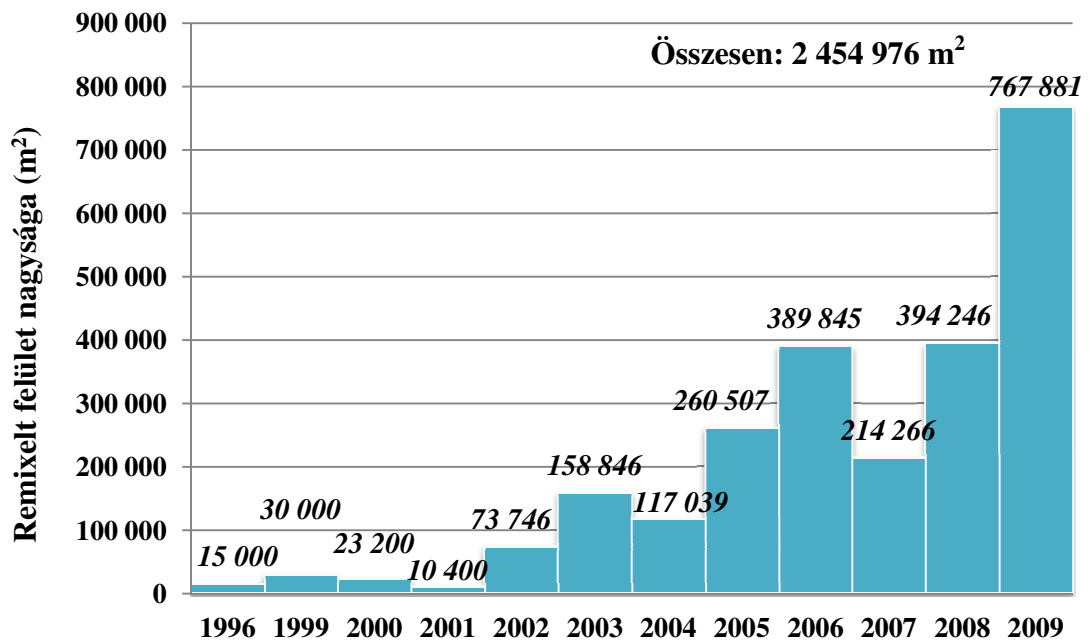
Ebben az időszakban, ahogyan erősödött a regionális szemlélet, a regionális fejlesztések szükségessége, úgy fokozódott az egyes régiók igénye a megfelelő minőségű közlekedési kapcsolatok iránt.

A 2007. december 21-én aláírt Schengeni Egyezmény a fejlesztés szükségességét még inkább erősítette, hiszen a megnyitott határok a közlekedési szokások változását eredményezték. Azonban ezen változásokat a közlekedési szolgáltatásnak is követnie kell, ezáltal a transzeurópai hálózatot alkotó gyorsforgalmi utak fejlesztése mellett a hiányzó új hálózati elemek kiépítésére, illetve a meglévő utak felújítására, teherbírásának növelésére van szükség, amelyhez a remix technológia kedvezően alkalmazható. (*Besse et al, 2009*)

8.2. Hazai alkalmazások

Magyarországon az igények növekedésének következtében az elmúlt évtizedben sorozatban készültek célgépekből álló géplánccal különböző forgalmú utakon és változatos összetételű burkolatokon, hideg helyszíni újrahasznosítással, útalap erősítések.

A következő diagram az 1996 és 2009 között végzett helyszíni újrahasznosítás során felújított felületek nagyságát mutatja be évenkénti bontásban.

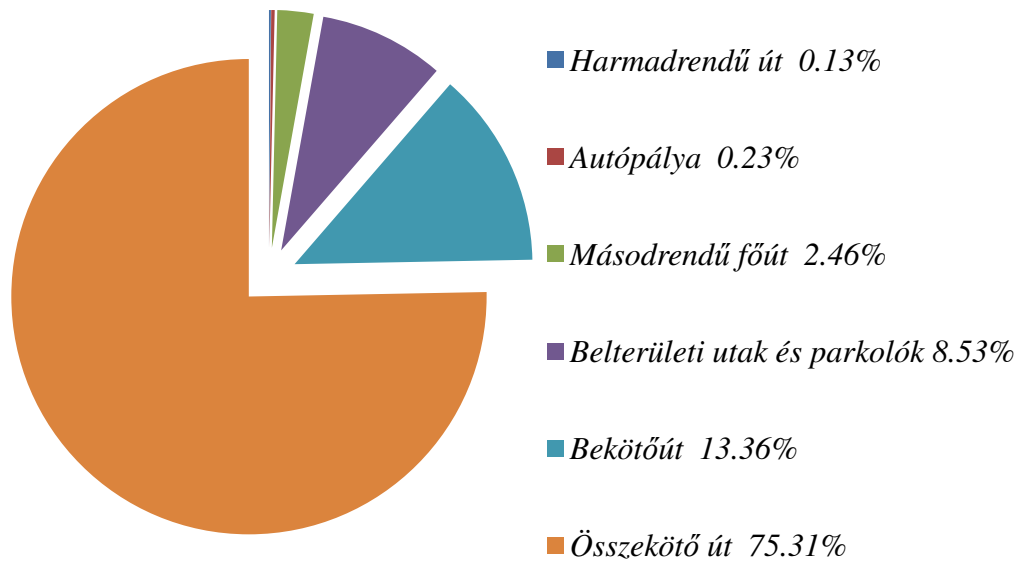


5. diagram: Újrahasznosított felületek nagysága évenkénti bontásban

(Forrás: 3R Magyar Remix Egyesület, 2009)

A diagramról leolvasható, hogy 2009 végére a magyar úthálózaton összesen 2 454 976 m²-en történt hideg helyszíni újrahasznosítás. (3R Magyar Remix Egyesület, 2009) Ez a szám igen kevésnek mondható, hiszen Magyarországon, éves szinten lenne szükség körülbelül 2,5 millió m² remix technológiával készülő útfelújításra.

A következő diagramon az 1996 és 2009 között végzett felújítási munkák úthálózati elemek közötti megoszlása látható.



6. diagram: Felújítási munkák úthálózati elemek közötti megoszlása

(Forrás: 3R Magyar Remix Egyesület, 2009)

A diagramból látszik, hogy a felújítási munkák 75 %-a negyedrendű, kisforgalmú, összekötő utakon, 13%-a pedig bekötőutakon történt. Az említett időszakban autópálya építés során a technológia egy esetben került alkalmazásra, az M0-M1 autópálya csomópont H ágán. (3R Magyar Remix Egyesület, 2009)

A rendelkezésre álló adatok és tapasztalatok alapján az elmúlt évtizedben Magyarországon végzett hideg helyszíni újrahasznosítási beavatkozások a szakirodalom szerint 4 csoportra oszthatók, melyek a következők:

1. Régi makadám burkolatok, tönkrement szélesítéssel, 1500-2500 jármű/nap forgalomnagyság esetén, cement kötőanyag alkalmazásával.
 - Általában 10-15 cm vastag 0/25-0/30 mechanikai stabilizáció terítése,
 - 20-25 cm vastag cementkötésű hideg helyszíni újrahasznosítás,
 - átlag 5-6 cm vastag lágy aszfalt vagy átlag 5 cm vastag melegaszfalt kopóréteg.

A burkolatok a forgalom hatására nem deformálódtak, teherbírásuk kielégítő, egyes esetekben az eredeti szélesítés nyomvonalában hosszanti repedések kezdeti jelei mutatkoznak. E hiba oka a szélesítés nem megfelelő minősége, ezért a teljes szélesítés kicserélése lenne indokolt.

2. Régi, tönkrement burkolatok, 2000-3000 jármű/nap forgalomnagyság esetén, vegyes kötőanyag alkalmazásával.

- A régi burkolatra 10-15 cm vastag mechanikai stabilizáció terítése,
- összességében 20-25 cm vastagságban átdarálás mellett vegyes kötés alkalmazása (cement, habosított bitumen),
- melegaszfalt kopóréteg készítése átlag 5 cm vastagságban.

A tapasztalatok szerint, forgalom alatti útépités esetében a bitumen kötéskésleltető hatása nem kedvező a forgalom zavarása miatt, azonban a tömörítési munka hatékonyabb. Ezzel az eljárással nehezebb körülmények között lehet a munkát elvégezni, az eljárás költségesebb, forgalom alatti útépitéskor nem indokolt az alkalmazása.

3. Régi, tönkrement burkolatok, mart aszfalttal történő vastagítása, 3000-5000 jármű/nap forgalomnagyság esetén, cement kötőanyag alkalmazásával.

- A pályaszerkezet vastagítását 10-15 cm vastagságban elterített mart aszfalt szolgálja,
- az aprítás, bekeverés hasonló az előbbiekhöz, a kötőanyag cement,
- a kopóréteg lágy vagy meleg, hengerelt aszfalt.

Az építési tapasztalatok igen kedvezőek, a tömörítési munka hatékony, a mart aszfalt minőségétől függően a kötőanyag nélküli útpálya a forgalmat jól viseli, hidraulikus kötőanyaggal, nyári körülmények között a vegyes kötés tapasztalataira utal.

4. 5000-8000 jármű/nap forgalom esetén erősen keréknyomvályús (5-10 cm-t is elérő) burkolatok homogenizálása.

- Eruptív kőváz hozzáadagolás terítőgéppel felhordva, a szemszerkezet kívánatos javításához tervezve,
- átdarálásos homogenizálás vegyes kötőanyaggal, illetve csak cement alkalmazásával,
- geotextília terítés után 1-2 réteg meleg hengerelt aszfalt beépítése.

A félpályás forgalomtereléssel végzett munkák után, a többéves tapasztalat szerint, a burkolat mindkét kötőanyaggal meghibásodás nélkül viseli a forgalmat. A kivitelezést nehéz körülmények között, 500 méteres félpályás terelésekkel végezték. Az eredmények igazolják, hogy ilyen körülmények között is lehet alkalmazni. (*Gulyás et al, 2006*)

8.3. Hazai eredmények

Az előzőekben bemutatott adatokat elemezve elmondható, hogy hazánkban az elmúlt évtizedben a 183 esetben végzett hideg helyszíni remix beavatkozás során 163 esetben alkalmaztak cement, 1 esetben bitumen, 8 esetben vegyes kötőanyagot, a maradék 11 esetben pedig kötőanyagpótlás nélküli építés történt. (*3R Magyar Remix Egyesület, 2009*)

Ez azt jelenti, hogy hazánkban a hideg helyszíni újrahasznosítási beavatkozások 89%-ában hidraulikus kötőanyag alkalmazása történt. Azonban a hidraulikus kötőanyag mellett bitumenes kötőanyagot alkalmazva bizonyítottan jobb eredmény érhető el.

Eddig kizárólag bitumen kötőanyag adagolással készülő hideg remix egy esetben épült, a 3806 jelű, Bodroghalmot Tiszakaráddal összekötő út esetében, 300 méter hosszon, 1800 m²-es felületen.

Kísérleti jelleggel a Colas Út Zrt. gyöngyösi emulziógyártó telepén 2013 májusában 100%-ban mart aszfalttal és bitumen kötőanyaggal 4 próbaszakaszt épített. A kísérlet célja annak a bitumenemulzió adagolási aránynak a meghatározása volt, amelynek értékei helyszíni körülmények között a legjobban megközelítik a laborban előállított

keverék paramétereit, ezzel minimalizálva az adagolandó bitumen mennyiséget, így csökkentve az anyagköltséget.

A kísérlet során egy KMA-150 jelű mobilkeverő, egy finisher valamint a tömörítéshez szükséges hengerek kerültek felhasználásra.

Mind a négy próbaszakaszon az alapréteg régi betonburkolatú út volt, melyre 100 %-ban mart aszfalt, 3-4-5-6% bitumenemulzió, és 6% víztartalmú keveréket terítettek. A terítést 4 cm vastagságban finisher végezte.

A kísérlet eredményeit a következő táblázat tartalmazza:

Mért paraméterek	Laborkeverés	Próbagyártás			
Bitumenemulzió (%)	4	3	4	5	6
Teljes bitumentartalom (%)	7.8	6.9	8.3	8.4	9.4
Ebből emulzió (%)	2.4	1.8	2.4	3.0	3.6
A mart anyag bitumentartalma (%)	5.4	5.1	5.9	5.3	5.8
Marshall (v/v%)	15.8	16.3	15.9	16.1	16.7
Marhall stabilitás 1 napos korban 22°C (kN)	7.1				
Marhall stabilitás 7 napos korban 18°C (kN)	19.6	14.2	16.3	15.0	12.3
Vízérzékenység 1 napos korban (%)	19.6				
Vízérzékenység 7 napos korban (%)		25.2	31.6	38.7	44.7
Teljes víztartalom (%)		5.9	6.2	6.2	6.3
Ebből emulzió (%)		1.2	1.6	2.0	2.4
Víztartalom a mart aszfaltban (%)		4.7	4.6	4.2	3.9
Burkolati hézagtartalom (%)		15.2	14.9	11.6	11.6
Vastagság (cm)		3.9	3.8	4.8	6.6

7. táblázat: Próbaszakaszok kísérleti eredményei

(Forrás: Zsiga György: Hideg recycling bitumenes kötőanyaggal, 2014)

A táblázatból látszik, hogy a laborkeverés eredményeit legjobban a 4%-ban adagolt bitumenemulziós keverék közelíti meg.

A kísérleti szakaszok laboratóriumi vizsgálatainak következtetései pedig a következők voltak:

- A keverék jól bedolgozható, tömöríthető és homogén
- A munkavégzés tavasztól ősziig végezhető

- Ha a mart aszfaltban a finomrészt zúzalék hozzáadásával növelésre kerül, akkor a burkolati szabadhézag csökkenthető, azonban ez a bitumenemulzió tartalom növelését is jelenti. Ennek eredménye, hogy az előállított anyag akár kopóréteggént is alkalmazható.

Továbbá megállapítható, hogy a bitumenemulzióval kialakított felületek legnagyobb előnye a rétegek rugalmassága, ami a pályaszerkezetnek nagy ellenálló képességet biztosít a deformációkkal szemben. Azonban építésének az alapanyagok költsége szab határt:

- 1 liter bitumenemulzió ára körülbelül 500 Ft-ra, míg egy kilogramm cement ára 26 Ft-ra tehető.
- A technológiák költsége alapvetően három részből tevődik össze: keverékjavító adalékanyag kb 26%, kötőanyag kb 31%, építési munkák (marás, keverés, tömörítés) kb 43%.

Mivel a kivitelezési költségek közel harmada a kötőanyag költségétől függenek, és a bitumen kötőanyag árban nagyban felülmúlja a hidraulikus kötőanyagot, így annak alkalmazása Magyarországon nem terjedt el.

8.4. Hazai tapasztalatok

A hazánkban elvégzett, mintegy 300 km hideg helyszíni újrahasznosítás során felújított burkolat egyes szakaszain teljes körű utánminősítés készült, ami tapasztalati eredményekkel szolgált a helyszíni hideg remix építését illetően.

Ez a minősítés egységes rendszerben tárta fel a meghibásodások típusait és azok előfordulási arányát. A minősítés kitért a repedezettségre, az esetleges kátyúkra, a keréknyom kialakulására, a munkahézag meghibásodásokra, a kopóréteg izzadására, lesoványodására, a padka, az árok és a vízelvezetés állapotára.

Az utánminősítés eredményeként elmondható, azokban az esetekben, ahol a régi burkolat lokális meghibásodásai nem lettek az újrahasznosítás előtt kijavítva, a felújítást követő 2-3 évben a korábbi hibák megjelentek a remixelt burkolaton is.

Ezen tapasztalatokból az a következtetés vonható le, hogy ugyanúgy, mint az aszfaltréteg ráépítésével történő megerősítés esetén, a remix eljárás előtt is javítani szükséges a durva teherbírási és profilhibákat, tehát nem elegendő a kőpótlás és

kötőanyag hozzáadás. Továbbá ha szükséges, akkor a földművet is meg kell erősíteni és a vízelvezetési rendszert is megfelelő állapotra kell hozni. (*Fenntartható utak. Fenntartható útügy nemzetgazdasági szintű optimalizálása, 2013*)

8.5. A német és magyar gyakorlat összehasonlítása

A német gyakorlat több szempontból is eltér a Magyarországon alkalmazott gyakorlattól. Mind az előkészítést, mind a kivitelezést illetően jelentős eltérések figyelhetők meg.

8.5.1. Előkészítő munkák

Németországban a munka előkészítését tekintve az egyes folyamatok sokkal gyakorlatiasabban mennek végbe. Amikor felmerül egy útszakasz felújításának ötlete, a megbízó összehív egy kooperációt, amelynek célja, hogy a megjelent szervezetek előkészítő mérnökei teljes körűen megismerjék a beavatkozás helyszínét.

Az egyes cégek a felújítandó útszakaszon előzetes vizsgálatokat végeznek, melyek eredményeit egy felmérőlapon rögzítik.

A felmérőlap egy egyszerű táblázat, melynek első oszlopában a területen felmerült hibák, első sorában pedig az egyes cégek által kínált megoldások találhatóak. A táblázat többi cellájában plusz, mínusz illetve nulla jelek láthatóak. Pluszjelet azok a cellák kapnak, ahol az egyes megoldások a hibákra javítási lehetőséget kínálnak. Mínuszjelek ott láthatóak, ahol az egyes megoldási lehetőségek nem képesek javítani a felmerült hibát, nulla jelek pedig abban az esetben fordulnak elő, ha a megoldás a hibák szempontjából semleges.

A cégek az előzetes vizsgálatokat követően előzetesen javaslatot tesznek a kivitelezés költségeire árazatlan költségvetés formájában.

Ezt követően megtörténik a felmérés kiértékelése, ami egy rendkívül egyszerű folyamat, hiszen azt a megoldást választják, amelynél a legtöbb pluszjel látható. Ezt követően a kiválasztott legjobb technológiával megtörténik a közbeszerzési eljárás kiírása, amely a technológia megnevezése mellett már az árazatlan költségvetési kiírást is tartalmazza. Ezt követően a legjobb árajánlatot adó cég végezheti a kivitelezési munkákat.

Ezzel szemben Magyarországon előzetes vizsgálatok nélkül, egy adott technológia megnevezésével kerül kiírásra a közbeszerzési eljárás. A magyar gyakorlat hiányossága, hogy a kiírások csak néhány esetben adnak lehetőséget remix eljárás alkalmazására.

A német gyakorlattal ellentétben elsőként csak ebben a fázisban készül költségbecslés. Ekkor a meghatározott árak alapján összevetésre kerülnek a beadott pályázatok. Ennek hátulütője, hogy általában az erősítő aszfaltréteggel készülő felújítási folyamatok kerülnek összehasonlításra a remix eljárással, aminek következtében a becsült költségek miatt az utóbbi technológia alul marad. Valójában pedig a két eljárás nem összehasonlítható, hiszen nem ugyanaz az eredmény érhető el a két technológiával. A remix eljárás során az alapréteg teherbíró képessége is javul, míg megerősítés esetén az alapréteg hibái megmaradnak, amelyek a terhelés hatására áttükröződnek az új rétegre is.

8.5.2. Kivitelezés menete

Az előkészítő munkálatok mellett, a kivitelezésben is jelentős eltérések tapasztalhatók a magyar és német gyakorlat között.

Legfőbb különbség, hogy Németországban a hideg remix technológiát nagy forgalmú útszakaszok felújítására is használják. A gyakorlat szerint a tervezési forgalom függvényében kerül megválasztásra a konkrét technológia. Eszerint, ha a tervezési időtartam alatt 300 000 egységtengelynél nagyobb forgalom halad át az útszakaszon, lánctalpas kényszerkeverő, míg ennél kisebb forgalom esetén gumikerekes marókeverő kerül alkalmazásra.

A kivitelezés szervezésében is különbség figyelhető meg a két ország gyakorlatában. Magyarországon a hideg helyszíni újrahaznosítás félpályás lezárással történik, míg a német gyakorlat teljes útzárát alkalmaz. A teljes útzár előnye, hogy csökken a munkahelyi balesetek kockázata, az építés rövidebb idő alatt lezajlik, és végeredményben jobb minőség érhető el.

További jelentős eltérés a két ország gyakorlatában, hogy a felújítás során Németországban a padkát is cserélik. A leromlott állapotú padka anyagát 0/32-es köanyaggal feltöltik, ezzel kialakítva a megfelelő vízelvezetést. A tetejére pedig kisebb szemszerkezetű nemesített padkaanyagot terítenek.

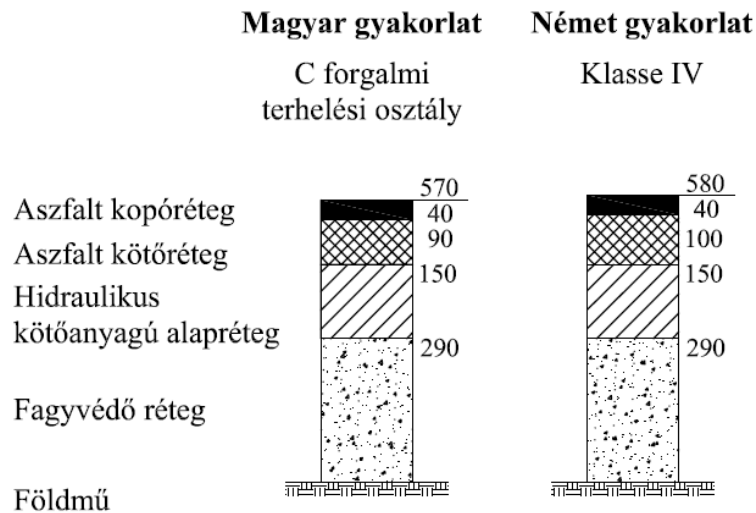
8.5.3. Alkalmazott kötőanyag

A német és magyar gyakorlat között az alkalmazott kötőanyagok arányaiban is jelentős eltérés figyelhető meg. A német gyakorlat szerint a cementre csak a kátrány és szurok semlegesítéséhez van szükség, így azt csak 2-2,5 %-ban, bitumenemulziót viszont 4-6 %-ban adagolnak a felmárt anyaghoz.

Továbbá míg Magyarországon a felújítások 89 %-ában cement kötőanyaggal, addig Németországban körülbelül 90%-ban bitumenemulziós kötőanyaggal történik az újrahasznosítás.

8.5.4. Alkalmazott rétegrend

A két ország gyakorlata az alkalmazott aszfalt mennyiségekben is eltérő. A következő ábrán a Magyarországon és Németországban alkalmazott hidraulikus pályaszerkezetek metszetei láthatóak. A magyar pályaszerkezet a vonatkozó (*e-UT 06.03.13 (ÚT 2-1.202)*, *e-UT 06.02.11 (ÚT 2-1.222)*, *e-UT 06.03.21 (ÚT 2-3.302)*) Útügyi Műszaki Előírások szerinti hidraulikus pályaszerkezetre C forgalmi terhelési osztályban megadott típuspályaszerkezet. A német pályaszerkezet pedig a német szabvány szerint megadott típuspályaszerkezet, hidraulikus kötőanyagú alapréteg esetén, 4. tervezési osztályban, azaz 300 000 és 800 000 közötti tervezési forgalom mellett. (*Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen. RStO 01, 2001*)



14. ábra: A magyar és német gyakorlat által alkalmazott típuspályaszerkezetek
 (Forrás: e-UT 06.03.13 (ÚT 2-1.202); e-UT 06.02.11 (ÚT 2-1.222); e-UT 06.03.21 (ÚT 2-3.302) Útügyi Műszaki Előírások; Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen. RStO 01)

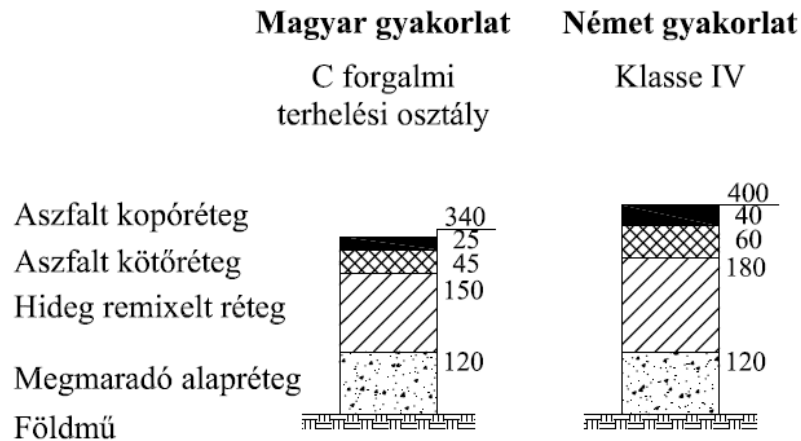
Az ábrából látható, hogy a német gyakorlat ugyanazon forgalmi tervezési kategóriában 1 cm-rel vastagabb aszfaltréteg tervezést ajánl új pályaszerkezet építés esetén.

A következő képen pedig egy, német gyakorlat szerinti, hideg remixszel épült pályaszerkezetből származó fűrt minta látható.



7. kép: Hideg remixszel épült pályaszerkezetből származó fűrt minta
 (Forrás: Thomas Krause: Kaltrecycling: Erneuerung im Straßenoberbau, 2010)

A következő ábrán az említett magyar Útügyi Műszaki Előírás függelékében található méretezési példa alapján összeállított, hideg helyszíni eljárás során újrahasznosított pályaszerkezet és a német szabvány által ajánlott pályaszerkezet látható. A német gyakorlatban a hideg remixszel épülő pályaszerkezetek méretezésére, a hagyományos pályaszerkezet méretezéstől eltérő, tervezési osztály áll rendelkezésre.



15. ábra: Hideg remixszel felújított pályaszerkezetek

(Forrás: e-UT 06.03.13 (ÚT 2-1.202); e-UT 06.02.11 (ÚT 2-1.222); e-UT 06.03.21 (ÚT 2-3.302) Útügyi Műszaki Előírások; Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen. RStO 01)

Az ábrán látszik, hogy az azonos tervezési kategóriában alkalmazott hideg remixszel épített pályaszerkezetek aszfaltrétegeinek vastagsága között 3 cm eltérés van.

Ez a különbség alacsonyabb tervezési osztályokban még nagyobb mértékű, hiszen ezekben az esetekben a magyar gyakorlat szerint sokszor csak felületi bevonat kerül az újrahasznosított hidraulikus alaprégtegre.

8.6. Technológiai újdonságok

Németországban az elmúlt években a hideg helyszíni újrahasznosítás hatékonyságának növelése érdekében számos innovatív eljárás került kifejlesztésre. Ezek közül a legkiemelkedőbbek a NovoCrete és a NovoFlex hideg újrahasznosítási technológiák.

8.6.1. NovoCrete

A NovoCrete egy porállagú, ásványi anyagokból álló keverék, melynek pontos receptúráját a gyártó kereskedelmi okok miatt nem hozta nyilvánosságra.

A keverék a hagyományos portlandcementhez 2%-ban kerül adagolásra, amely az optimális víztartalom mellett fokozza a cement hidratációs folyamat során létrejövő kristályszerkezet kialakulását. Ezáltal nagyobb teherbíróképességű, semleges pH értékű, vízzáró réteg alakul ki, amely nem igényel utókezelést sem.

Az így kialakult anyag előnye a normál hidraulikus kötőanyagokkal szemben, hogy nagy rugalmassággal bíró réteget képez.

További előnye, hogy széles körben alkalmazható, úgymint autópályák, ipartelepekhez vezető bekötőutak, repülőterek kifutópályái, alagutak, közműcsatornák, fa-és vastelepek, hulladéklerakók és általános alapozási feladatok esetében.

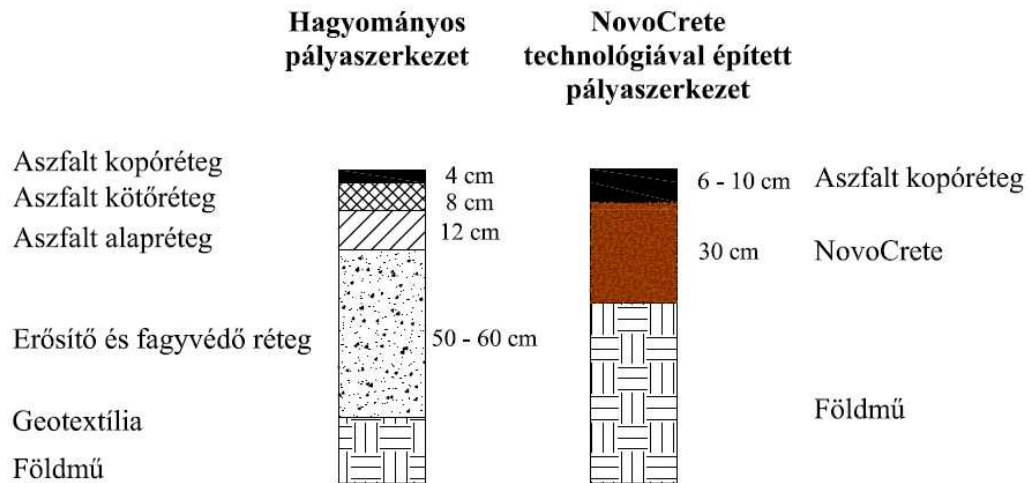
Az adalékanyag tesztelése során végzett statikus teherbírési vizsgálatok kimutatták, hogy a hagyományos módon épített pályaszerkezetek maximális teherbírása 150 MN/m², a NovoCrete technológiával épített pályaszerkezetek teherbírása pedig, az építést követő második napon már 150 MN/m²-nél nagyobbra adódott.

A technológia további előnye, hogy a vízzáró felületnek köszönhetően a csapadékvíz nem tud a földműbe jutni, így azt nem tudja eláztatni. Emellett fokozottan ellenáll a savas kémhatású anyagoknak, valamint a téli fenntartás során alkalmazott sónak is.

Továbbá alkalmas szinte minden talajtípus stabilizálására, a kövér agyagtól, a homokon át, a magas szervesanyag tartalmú talajokig.

Nagy előnye alacsony javítási költsége is, hiszen alkalmazásával a repedések és kátyúk kialakulásának gyakorisága csökken.

Emellett alkalmazása idő- és költségtakarékos is, hiszen nincs szükség fagyvédő réteg építésére sem. A következő ábrán egy hagyományos módon épített, és egy, a NovoCrete technológiával épített, pályaszerkezet vázlatrajza látható, az egyes rétegek megnevezésével.



16. ábra: Hagyományos és NovoCrete technológiával épített pályaszerkezetek
 (Forrás: e-UT 06.03.13 (ÚT 2-1.202); e-UT 06.02.11 (ÚT 2-1.222); e-UT 06.03.21 (ÚT 2-3.302) *Útügyi Műszaki Előírás*; ibs GmbH.: *Überzeugende Argumente für den Einsatz der innovativen NovoCrete Technologie im Bereich der Bodenstabilisierung*)

A technológia további előnye, hogy a kivitelezéséhez, a hideg helyszíni újrahasznosítás során alkalmazott gépláncon kívül, nincs szükség speciális gépparkra, ezáltal építése egyszerű, speciális szaktudást nem igényel.

Az építési folyamat első lépéseként a régi aszfaltréteg felmarásra kerül. Ezt követően a gréder kifordítja a nagyobb burkolatdarabokat, majd vontatott törő segítségével beállításra kerül a megfelelő szemszerkezet. A következő munkafázisban gréder és gumikerekes henger segítségével megtörténik a profilozás. Majd a kötőanyagászóró gépek a cementet, illetve a NovoCrete adalékanyagot a felületre juttatják. Ezt követően a megfelelő mennyiségű víz adagolása mellett a gumikerekes recycler gép beépíti a burkolatot, amelynek hossz- és oldalirányú esései gréder segítségével kerülnek kialakításra. Majd megtörténik a hengerlés, a felület vízzel való kezelése és az aszfaltrétegek terítése. Azt aszfalt szilárdulását követően pedig a felület rögtön átadható forgalomnak. (*Überzeugende Argumente für den Einsatz der innovativen NovoCrete Technologie im Bereich der Bodenstabilisierung, 2012*)

8.6.2. NovoFlex

Egy másik, németek által kifejlesztett innovatív technológia, a NovoFlex hideg helyszíni újrahasznosítási eljárás.

Az eljárás lényege, hogy a NovoCrete-hez hasonló, vízzáró anyag alkalmazásával, a földművet minden irányból védik a szivárgó vizekkel szemben. Ezt úgy valósítják meg, hogy a vízzáró anyag felhasználásával a padka és a burkolatszél alatt 30-60 cm széles gerendát alakítanak ki, ezzel meggátolva az oldalról érkező vizek földmübe jutását. Ehhez speciális célgépre van szükség, amely képes gerenda kiképzésre a burkolat két szélén. A következő képen ez a speciális célgép látható, amely megtalálható a német Kutter GmbH. kínálatában.



8. kép: A NovoFlex technológia építésére alkalmas célgép

(Forrás: Kutter GmbH.: Wirtschaftliche Erhaltungsbaumaßen, 2014)

A gerenda beépítését követően a meglévő burkolatot felmarják, a kötőanyaggal és a speciális adalékanyaggal, optimális víztartalom mellett átkeverik majd újból elterítik. Ezzel létrehozva egy keresztirányú vízzáró réteget is. Majd erre a rétegre vékony felületi bevonatot terítenek.

A következő ábrán egy NovoFlex technológiával felújított pályaszerkezet keresztmetszeti vázlatrajza látható.



17. ábra: Leromlott állapotú pályaszerkezet felújítása NovoFlex technológiával

(Forrás: Kutter GmbH.: *Wirtschaftliche Erhaltungsbauprüfungen*, 2014)

Az így előállított burkolat, megfelelő karbantartás mellett, 12-15 év múlva igényel újabb felújítási beavatkozást. (*Wirtschaftliche Erhaltungsbauprüfungen*, 2014)

Ezen innovatív technológiák egyre nagyobb szerepet töltenek be a világ útépitési gyakorlatában, azonban ezen eljárások hazai alkalmazása még várat magára. Holott magyarországi elterjedésével a hazai úthálózat alsóbb rendű elemei is maradéktalanul tölthetnék be funkciójukat.

9. ÉRTÉKELÉS ÉS JAVASLAT

A hideg remix eljárás, valamint a hozzá kapcsolódó hazai szabályozás és külföldi eredmények megismerését követően megállapítható, hogy a technológia magyarországi alkalmazása a közel 15 éves gyakorlat ellenére, a szabályozás elavultsága miatt még mindig nem megfelelő.

A vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás hiányosságainak és ellentmondásainak áttekintésére, illetve a hazai gyakorlat részletes bemutatására már a korábbi fejezetekben sor került. Jelen fejezetben, ezen tények ismeretében, a magyar gyakorlat értékelése látható, valamint annak hiányosságaival kapcsolatban javaslattételre is sor kerül.

A hazai gyakorlat első és egyik legnagyobb problémája, hogy a helyszíni hideg remix eljárások alkalmazásának sokszor már a közbeszerzési eljárások gátat szabnak. Mint ahogyan az már a 8.5.1-es fejezetben bemutatásra került, a magyar gyakorlat szerint a pályaszerkezet felújítási munkák során előzetes vizsgálatok nélkül kerülnek kiírásra a közbeszerzési eljárások. Ezekben legtöbbször az erősítőrétegek építése mellett nem szerepel alternatívaként a helyszíni hideg remix eljárás.

Azokban az esetekben, amikor ez a lehetőség mégis adott, a remix technológia költségei sokszor nem felelnek meg a beruházásra szánt keretösszegeknek. Ennek egyik oka, hogy a 2-3 km hosszú szakaszok felújításakor a géppark bérlése és annak felvonulása nem lehet költséghatékony megoldás.

További probléma a közbeszerzési eljárásoknál, hogy a hideg remixes felújítás, ami az új alaprétegnek köszönhetően jelentős teherbírás növekedést eredményez és a korábbi hibák okait is megszünteti, az egyszerű erősítőréteges megoldással kerül összehasonlításra, ami eredményeiben alulmúlja az említett eljárást, ezért tulajdonképpen nincs is értelme összevetni a két eljárás költségeit.

A közbeszerzési eljárásokkal kapcsolatos problémákra az előzetes vizsgálatok adhatnak jó megoldást. Így, a német gyakorlathoz hasonlóan, az eredmények függvényében előre meghatározható lenne a felmerült problémára legalkalmasabb megoldási módszer, és az eljárás során már az adott technológiák szerint lehetne versenyeztetni a vállalkozókat.

A hazai gyakorlattal kapcsolatos másik fontos problémakör a szabályozás. Hazánkban a vonatkozó Útügyi Műszaki Előírások elavultsága miatt a helyszíni hideg remix technológiában rejlő lehetőségek nincsenek maximálisan kihasználva.

Az ezzel kapcsolatos legnagyobb probléma az előírás által rögzített használhatósági korlátok. Hiszen eszerint a technológia csak A, B, C, D és E forgalmi terhelési osztályokban alkalmazható. Tehát a szabályozás szerint csak kis- és közepes forgalmú utak felújítása során használható az eljárás, ezt azonban a külföldi gyakorlat eredményei megcáfolják. Hiszen Európa fejlett útépitésű országaiban alkalmazzák a technológiát autóutak és autópályák esetében is.

Egy újabb problémát jelentenek a remixelt pályaszerkezetre megadott rétegvastagságok is. A szabályozás itt ellentmondásos, hiszen a remixált alapréteg minőségi követelményei szerint meg kell feleljen az újépítésű rétegek minőségének, azonban a számítások során annak vastagságának csak 80%-ban vehető figyelembe.

Ezen problémák feloldása érdekében mielőbb végre kellene hajtani a műszaki előírások korszerűsítését. Így az alkalmazhatóságot ki kellene terjeszteni magasabb forgalmi terhelési osztályokra és a német szabványhoz hasonlóan új pályaszerkezet tervezési kategóriát kellene létrehozni a hideg remixel épült felújítások esetére, ezzel biztosítva az anyagok maximális kihasználását.

Fontos problémakör továbbá az alkalmazott kötőanyag kérdése is.

Magyarországon az útfelújítások során a leggyakrabban alkalmazott kötőanyag a cement. Ezen anyag legnagyobb hátránya, hogy jelentősen növeli a pályaszerkezet merevségét, és hidraulikus kötőanyag lévén alkalmazása során nem kerülhető el a zsugorodási repedések kialakulása sem. Emellett a burkolat utókezelése miatt az építést követően az nem adható át rögtön a forgalomnak.

A problémára megoldást adhat a bitumenemulzió vagy habosított bitumen kötőanyag nagyobb arányú alkalmazása, hiszen az rugalmasságot biztosít, valamint védelmet nyújt a pályaszerkezetnek a víz és nyomás okozta terhelésekkel szemben is. Ezen kötőanyag alkalmazásának Magyarországon jelenleg a költségek szabnak határt, azonban a szabályozás felülvizsgálatával ez is változhat.

10. ZÁRSZÓ

A XXI. században a fenntartható fejlődés értelmében egyre nagyobb szükség mutatkozik a környezetbarát, energiatakarékos és költséghatékony technológiák iránt. Az útépités területén a természeti erőforrásokkal való takarékoskodás egyik leghatékonyabb módja a helyszíni hideg remix technológia alkalmazása az útfelújítások során.

A korszerű munkagépeknek és a több évtizedes külföldi tapasztalatoknak köszönhetően ma már a hideg remix eljárás egy teljes értékű alternatívája lehet a hagyományos módon épített pályaszerkezet erősítéseknek.

A technológia sajátosságainak ismerete, az eljárás hatékonyságát legjobban támogató szabályozás és modern, környezettudatos gondolkodás mellett a helyszíni hideg remix technológia lehet a megoldás Magyarország közúthálózatának minőségi problémáira. Ezért elengedhetetlen hazánk útépitési gyakorlatában is szélesebb körben megismertetni és alkalmazni a technológiát. Továbbá fontos a hazai szabályozás külföldi tapasztalatok alapján való korszerűsítése is, ezzel biztosítva a hideg remix technológia megfelelő műszaki hátterét.

Az elmúlt 15 év tapasztalatai alapján összegezve elmondható, hogy a helyszíni hideg remix eljárás Magyarországon egy gazdaságilag, műszakilag és környezeti szempontból is megtérülő módja az útfelújításoknak, útkorszerűsítéseknek. Ezért a közeljövőben a hazai útépitési gyakorlat egyik legfontosabb feladata a helyszíni hideg remix technológia fejlesztése Magyarországon.

11. IRODALOMJEGYZÉK

1. 3R Magyar Remix Egyesület: Hideg remix technológiával végzett útalap felújítások Magyarországon a kezdetektől-napjainkig. Összesítő táblázat, 2009
2. Bebők G.: Bontott építési anyagok hideg helyszíni újrahasznosítása. Remix eljárások, eszközök és építési módok című előadásvázlat, Budapest, 2012
3. Besse L. - Hamarné Szabó M. - Szőke Gy.: Újrahasznosított technológiák helye és szerepe a hazai közúthálózaton, Közlekedésépítési Szemle 59. évfolyam 3. szám., Budapest, 2009
4. Dr. Ambrus K. - Dr. Pallos I.: Közlekedési létesítmények pályaszerkezetei című egyetemi jegyzet. Budapest, 2004
5. Dr. Fi I. - Dr. Bocz P. - Galuska J. - Dr. Kisgyörgy L. - Dr. Makula L. - Dr. Schuchmann G. - Vasvári G.: Úthálózatok méretezése és tervezése. TERC Kft., Budapest, 2012
6. Dr. Gulyás A. - Dr. Boromisza T. - Dr. Töröcsik F.: A hideg helyszíni újrahasznosítás tapasztalatai Magyarországon. Közúti és mélyépítési szemle. 56. évfolyam 5. szám, Budapest, 2006
7. Dr. Nemesdy E.: Útpályaszerkezetek. Tankönyvkiadó, Budapest, 1989
8. Dr. Pallos I.: Aszfaltok újrahasznosításának meleg eljárásos technológiái. Egyetemi előadásvázlat, Budapest, 2011
9. Dr. Szakos P., Dr. Pallos I, Dr. Pethő L., Almássy K., Nagy Á., Tomascsek T.: Útépités és fenntartás című egyetemi jegyzet, Budapest, 2011
10. Dr. Szakos P.: Közutak fenntartása. Útüzemeltetés és fenntartás. Egyetemi előadásvázlat, Budapest, 2010
11. Fenntartható utak. Fenntartható útügy nemzetgazdasági szintű optimalizálása. Munkabizottsági jelentés. Budapest, 2013

12. ibs GmbH.: Überzeugende Argumente für den Einsatz der innovativen NovoCrete Technologie im Bereich der Bodenstabilisierung című előadás, Stuttgart, 2012
13. Infrastruktúra létesítmények kivitelezése című egyetemi jegyzet, Budapest, 2004
14. Inreco Hungary Kft.: Helyszíni meleg aszfalt újrahasznosítás. - Az Inreco Hungary Kft. hivatalos kiadványa, Budapest, 2011
15. Inreco Hungary Kft.: Hideg remix útrehabilitáció. - Az Inreco Hungary Kft. hivatalos kiadványa, Budapest, 2011
16. Krause, T.: Kaltrecycling: Erneuerung im Straßenoberbau című előadás, Kassel, 2010
17. Kubányi Z.: Meleg újrahasznosítási eljárások című előadásvázlat, Budapest, 2014
18. Kutter GmbH.: Wirtschaftliche Erhaltungsbauweisen című előadás, Coesfeld, 2014
19. Rácz K.: Betontechnológiai gépek II. Egyetemi tananyag. Budapest, 2011
20. Regösné Knoska J.: Az aszfaltburkolatok újrafeldolgozása hidegen, habbitumen alkalmazásával.
21. Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen. RStO 01 - Németországi útépitési szabvány, Köln, 2001
22. Veith G.: Kaltrecycling mit Schaumbitumen. Strassen und Tief bau, 55. k. 7–8. sz, 2001.
23. Wirtgen GmbH.: A mixing plant that comes to the job site. Mobile cold recycling mixing plant KMA 220. - A Wirtgen GmbH. hivatalos kiadványa, Windhagen, 2008
24. Wirtgen GmbH.: Cold recycling. Rehabilitation of a heavily trafficked road. – A Wirtgen GmbH. hivatalos kiadványa, Windhagen, 2005

25. Wirtgen GmbH.: Cold recycling. Wirtgen Cold Recycling Technology. - A Wirtgen GmbH. hivatalos kiadványa, Windhagen, 2012
26. Wirtgen GmbH.: Foamed Bitumen - The innovative binding agent for road construction. - A Wirtgen GmbH. hivatalos kiadványa, Windhagen, 2009
27. Wirtgen GmbH.: High-performance technology for road rehabilitation. Cold Recycler WR 4200. - A Wirtgen GmbH. hivatalos kiadványa, Windhagen, 2011
28. Wirtgen GmbH.: Preliminary testing for determining the mix quality - Laboratory-scale foamed bitumen plant WLB 10S - A Wirtgen GmbH. hivatalos kiadványa, Windhagen, 2009
29. www.kti.hu - A Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. hivatalos honlapja
30. www.wirtgen.de - A Wirtgen GmbH. hivatalos honlapja
31. www.wirtgen-group.com
32. Zsiga Gy.: Hideg recycling bitumenes kötőanyaggal című előadásvezet, HAPA XV. Aszfaltkonferencia, Balatonalmádi, 2014

A szövegben említett és használt útügyi műszaki előírások és magyar nemzeti szabványok:

- e-UT 05.02.15 (ÚT 2-3.301-8): Útépitési aszfaltkeverékek. Visszanyert aszfalt.
- e-UT 05.02.16 (ÚT 2-3.310): Kationaktív bitumenemulzió kötőanyagú alaprétegek, útburkolatok és kátyúzókeverékek
- e-UT 05.02.31 (ÚT 2-3.710): Útbeton betonhulladék újrahasznosításával
- e-UT 05.02.51 (ÚT 2-3.706): Bontott útépitési anyagok újrahasználata és hasznosítása. Általános feltétele
- e-UT 05.02.52 (ÚT 2-3.707): Bontott útépitési anyagok újrahasználata I. Pályaszerkezet helyszíni hideg újrahasznosítása
- e-UT 05.02.53 (ÚT 2-3.708): Bontott útépitési anyagok újrahasználata II. Telepen történő hideg újrahasznosítás
- e-UT 05.02.55 (ÚT 2-3.709): Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek helyszíni újrafelhasználása melegremix eljárással
- e-UT 06.02.11 (ÚT 2-1.222): Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai
- e-UT 06.03.13 (ÚT 2-1.202): Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése
- e-UT 06.03.21 (ÚT 2-3.302): Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek. Építési feltételek és minőségi követelmények
- e-UT 06.03.24 (ÚT 2-2.126): Habosított bitumennel keverőtelepen készülő útpályaszerkezeti alapréteg
- e-UT 06.03.51 (ÚT 2-3.206): Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei. Építési előírások

- e-UT 06.03.52 (ÚT 2-3.207): Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei. Tervezési előírások
- e-UT 09.02.31 (ÚT 2-2.117): Dinamikus teherbírásmérés
- e-UT 09.02.35 (ÚT 2-2.124) Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű ejtősúlyos berendezéssel
- MSZ 2509-3: Útpályaszerkezetek teherbíró képességének vizsgálata. 3. rész: Tárcsás vizsgálat
- MSZ EN 12 697-30: Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverékek vizsgálati módszerei. 30. rész: Próbatestek készítése döngölővel
- MSZ EN 12697-23: Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverékek vizsgálati módszerei. 23. rész: Aszfalt próbatestek hasító-húzó szilárdságának meghatározása
- MSZ EN 13 282-2: Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú keverékek. 2. rész: A laboratóriumi viszonyítási térfogatsűrűség és a vízadagolás vizsgálati módszerei. Proctor-tömörítés.

Cikk

Szemcserendszerek diszkrételemes modellezése a PFC szoftverrel

Szerző(k) **Primusz Péter**

Kivonat

Az útpályaszerkezetek modellezésére, mára már számtalan módszert dolgoztak ki a kutató mérnökök. A jelenleg legmodernebbnek tekintett eljárások a végeselem-módszer (Finite Element Method, FEM) segítségével írják le az útpályaszerkezetek mechanikai viselkedését. Ezek a modellek viszonylag kevés bemenő paraméterrel dolgoznak és komoly előrelépést jelentettek az útpályaszerkezetek méretezésének pontosításában. Sajnos azonban, bizonyos paraméterek hatásait, mint amilyen a tömörség és a szemeloszlás csak viszonylag körülményesen (más paraméterekbe sűrítve) lehet figyelembe venni a számítások alatt (hiszen a módszer alapelve pontosan az, hogy a szerkezetet vagy anyagot folytonosnak tekinti). Ezért érdemes figyelmünket egy viszonylag új és még jelenleg is intenzívet kutatott numerikus

eljárás, a diszkrét elemes modellezés (Discret Element Method, DEM) felé fordítani. A diszkrét elemes modellezés segítségével bármilyen diszkrét felépítésű anyag vagy szerkezet mechanikai viselkedését képesek vagyunk előre jelezni, így kifejezetten alkalmas útpályaszerkezetek modellezésére. Cikkünkben a diszkrét elemes modellezés elvét - annak végtelen merev elemeket alkalmazó speciális változatát - az érdeklődő mérnökök számára részletesen összefoglaljuk. Ismertetünkben kitérünk a hajlékony útpályaszerkezetek DEM alapú modellezésére a PFC szoftver felhasználásával. Ezért bemutatjuk a PFC szoftver felépítését és működési elvét is, bízva abban, hogy egyre több kutató mérnök fogja a rugalmas útburkolatok viselkedését ezzel a módszerrel tanulmányozni.

1. Bevezetés

Kezdetben a pályaszerkezeteket szinte a forgalom nagyságától és a talaj teherbírásától függetlenül, közel azonos anyagból és azonos vastagságban építették meg. Később a forgalom rohamos növekedésének hatására szükségessé vált, hogy az utak pályaszerkezetének vastagsága mind a forgalom nagyságával, mind a földmű minőségével arányos legyen. Ebben az időszakban dolgozták ki a gyakorlati megfigyeléseken, nagyminta kísérleteken és elméleti elgondolásokon alapuló empirikus és szemempirikus méretezési módszereket.

Az igények és az igénybevételek növekedése miatt csakhamar előtérbe kerültek a mechanikai alapokon nyugvó eljárások is. Ezt támasztja alá az Európai Unió által finanszírozott AMADEUS kutatás 1998-1999-ben folyt zárójelentése, mely kimutatta, hogy bár Európában - és világszerte másutt is - többféle megközelítéssel élnek az útburkolatok méretezésére, alapvető közös jellemzőjük mégis az, hogy a pályaszerkezetben a tengelysúlyok áthaladásának hatására keletkező erők, feszültségek és alakváltozások számításán alapulnak. Ezek a mechanikai alapú méretezési módszerek a pályaszerkezetet rugalmasságtani alapon számítható szerkezetként fogják fel. A réteges szerkezetek méretezésére kidolgozott és alkalmazott mechanikai eljárások:

1. az egyenérték vastagságon (Odemark),
2. a rétegenkénti analitikus számításokon,
3. a véges elemek módszerén (VEM),
4. és a diszkrét elemek módszerén (DEM) alapulnak.

Az egyenérték-vastagság elvén alapuló módszerek estében a réteges szerkezeteket egy végtelen féltérré alakítják át, melyre már érvényesek és alkalmazhatók lesznek a Boussinesq-féle állapotegyenletek. A rétegenkénti analitikus modellek általában Burmister elgondolásain alapulnak, melynek segítségével a pályaszerkezet bármely pontjában számíthatóvá válnak „közelítően” az ébredő erők, feszültségek és alakváltozások.

Jelenleg a mérnöki gyakorlatban leggyakrabban használt numerikus eljárás, a

végeselem-módszer (Finite Element Method, FEM). A végeselem-módszer egy numerikus eljárás parciális differenciálegyenletek közelítő megoldására. A véges elemek módszerének lényege a közelítő eljárásoknál a geometriai és a matematikai függvényter finitizálásával együtt járó sajátos bázisfüggvény-megválasztási technika [Bojtár és Gáspár; 2003]. A keresett függvény leírása a tér kisebb, már matematikailag jól kezelhető részekre bontásával elemi függvényekből összeállítható. Az elemi függvények értelmezési tartományai nem fednek át és összegük a globális függvény értelmezési tartományát adja. A modellezéshez leginkább használatos végeselem a három kontrollpont alkotta térbeli háromszög. A függvényt e háromszögön belül kell bizonyos peremfeltételek mellett megkomponálni [Czímber; 2002].

A numerikus eljárások között ma még inkább csak kísérleti jelleggel használt módszer a szerkezetet különálló elemekből felépítő, úgynevezett diszkrét elemes módszer (DEM). Ez a vizsgálat alapjaiban különbözik az imént ismertetett FEM technikától. Az anyagot itt nem kontinuumnak tételezzük fel, hanem apró szemcsék együtteseként modellezzük. A makroszintű anyagi jellemzőket az egyes szemcsék közti kapcsolatok mechanikai jellemzői, illetve a halmaz geometriája szabják meg. A külső mechanikai hatások eredményeképpen az egyes szemcsék eltolódhatnak, illetve elfordulhatnak. Az elmozdulások Newton II. törvénye alapján számíthatók. Ennél a modellezési technikánál a megoldás értelmezése is igen összetett feladat, hiszen az eredményt nem a klasszikus elméletekben megszokott folytonos függvények formájában kapjuk meg, hanem az egyes szemcsék elmozdulásait és közöttük átadódó erőket ismerjük meg csupán. A fő eltérés a FEM és a DEM között az, hogy míg a végeselem-módszer, makrójellemzők alkalmazásával kontinuumnak (esetünkben homogénnek) tekinti a tartomány viselkedését, addig a diszkrételem-módszer alulról építkezik, a vizsgált tartományt különálló szemcsék együtteseként kezeli [Nasztanovics és Füstös; 2000].

Most következő cikkünkben a hajlékony útpályaszerkezetek DEM alapú modellezésének lehetőségeit kívánjuk bemutatni. Az elméleti háttér ismertetésekor, tanulmányunk nagymértékben támaszkodik Bagi [2008] munkájára, mely mindez idáig az egyetlen magyar nyelven megjelent összefoglaló írás a témáról.

2. A diszkrét elemes modell alapjai

A diszkrét elemes modell (DEM) különálló elemekből és az elemek érintkezésével létrejövő kapcsolatokból áll. Bagi [2008] szerint egy numerikus eljárást - némileg pontosítva Cundall és Hart 1992-es definícióját - akkor tekinthetünk diszkrét elemes modellnek, ha egymástól egyértelműen elkülönülő elemekből épül fel; az elemek önálló elmozdulási szabadságfokokkal rendelkeznek oly módon, hogy a modell képes követni az elemek véges nagyságú eltolódásait és elfordulásait (esetleg deformációit is); az elemek között új kapcsolatok jöhetnek létre és meglévő kapcsolatok szűnhetnek meg. Végtelen merev elemekkel dolgozó diszkrét elemes modell futása hat fő szakaszra bontható [Jakob és Konietzky; 2012]:

1. A geometriai modell megalkotása: a kezdeti és a határfeltételek rögzítése, részecskék anyagtulajdonságainak beállítása és a szemcsehalmaz generálása (ismert az elemek kezdeti helyzete).
2. A részecskék és a határfelületek között kialakuló kapcsolatok meghatározása.
3. A kapcsolatoknál fellépő erők (F) és nyomatékok (M) számítása.
4. A részecskék gyorsulás (\ddot{u} , $\dot{\omega}$), sebesség (\dot{u} , ω) és végül az elmozdulás növekmények (u) és elfordulások (φ) meghatározása.
5. Az összes részecske új helyzetének (pozíciójának) számítása.
6. A 2-es és 5-ös pont közötti fázisokat adott időközönként (időlépésenként) addig ismétljük, míg el nem érjük a leállási feltételt.

A számítás lényege, hogy a rendszer adott tehernövekményből az elmozdulásnövekményeket kis lépések sorozataként határozza meg. A diszkrét elemes modell a terhelési folyamatot tehát kis elmozdulás-növekmények sorozataként állítja elő.

Fontos megemlítenünk, hogy Jakob és Konietzky [2012] megfogalmazása nem általában a diszkrételemes modellekre, hanem azok egy speciális fajtájára, a végtelen merev elemeket alkalmazó modellekre vonatkozik. Deformálható elemek esetén másképp működnek a modellek, ezekkel azonban cikkünkben nem foglalkozunk.

A bemutatott eljárás úttörője Peter A. Cundall aki az Imperial College doktoranduszaként a 70-es évek legelején mutatta be első numerikus modelljét [Bagi; 2008]. A továbbiakban az imént bemutatott eljárást részletiben mutatjuk be.

2.1. A geometriai modell felvétele

A diszkrét elemes modellezés első lépése a rendszer geometriai modelljének elkészítése. A rendszert alkotó részecskéket a legtöbb esetben merev testként kezeljük, deformációt nem szenvednek. Ilyenkor az elemek közötti kapcsolatok viselkedésébe „sűrítjük” az anyagi tulajdonságokat. A másik lehetőség az, hogy az elemek deformálhatóak, meg kell adni a feszültség-alakváltozás összefüggést. A leggyakoribb modellezési eljárás az, hogy az elemek egyszerű belső végeelemes hálóval rendelkeznek, így a rájuk ható külső erőkből számíthatók az elemek deformációi. A részecskék alakja elvileg bármilyen lehet, de a számítások szempontjából a gömb a leghatékonyabb és legegyszerűbb választás. Természetesen léteznek olyan eljárások ahol a részecskéket poligon, ellipszis vagy éppen körökből összetett elemtípussal (clump) reprezentálják.

A geometriai modell felállításának egyik legfontosabb és legnehezebb része az egymással érintkező elemekből álló halmazok generálása. Számítógép segítségével szabályos halmazokat könnyű ugyan gyorsan generálni, de a szabályos geometriájú modellek megbízhatósága több szempontból is megkérdőjelezhető. Valós problémák elemzésénél ugyanis kulcs fontosságú, hogy a modellt alkotó szemcsék eloszlása jól

egyezzen a vizsgált jelenségnél tapasztaltnal. A véletlenszerű elrendezések generálásának hatékony lehetőségeit ezért számos matematikus és mérnök kutatja jelenleg is [Bagi; 2008].

A PFC szoftverekben első lépésként lehetőség van az ún. SSI eljárás alkalmazására egymással nem érintkező elemek véletlenszerű generálására, majd a felhasználó - választása szerint - valamely dinamikus halmaztömörítési eljárással csökkentheti a kívánt értékre a porozitást.

2.2. Érintkezések felismerése (ütközésetektálás)

Az ütközésetektálás azokat az időpontokat és helyzeteket azonosítja, amikor két részecske ütközik egymással. Az ütközésetektálást három fő részre lehet felosztani: ütközésetektálás, ütközés-meghatározás és válasz az ütközésre [Nagy; 2011]. Az ütközésetektálás sebessége kulcsfontosságú a DEM rendszerek számára, mivel a részecskék számának növekedésével a számítási idő is négyzetesen növekszik. Ha a modellter n mozgó és m statikus részecskét tartalmaz, akkor egy naiv megközelítés [Nagy; 2011]:

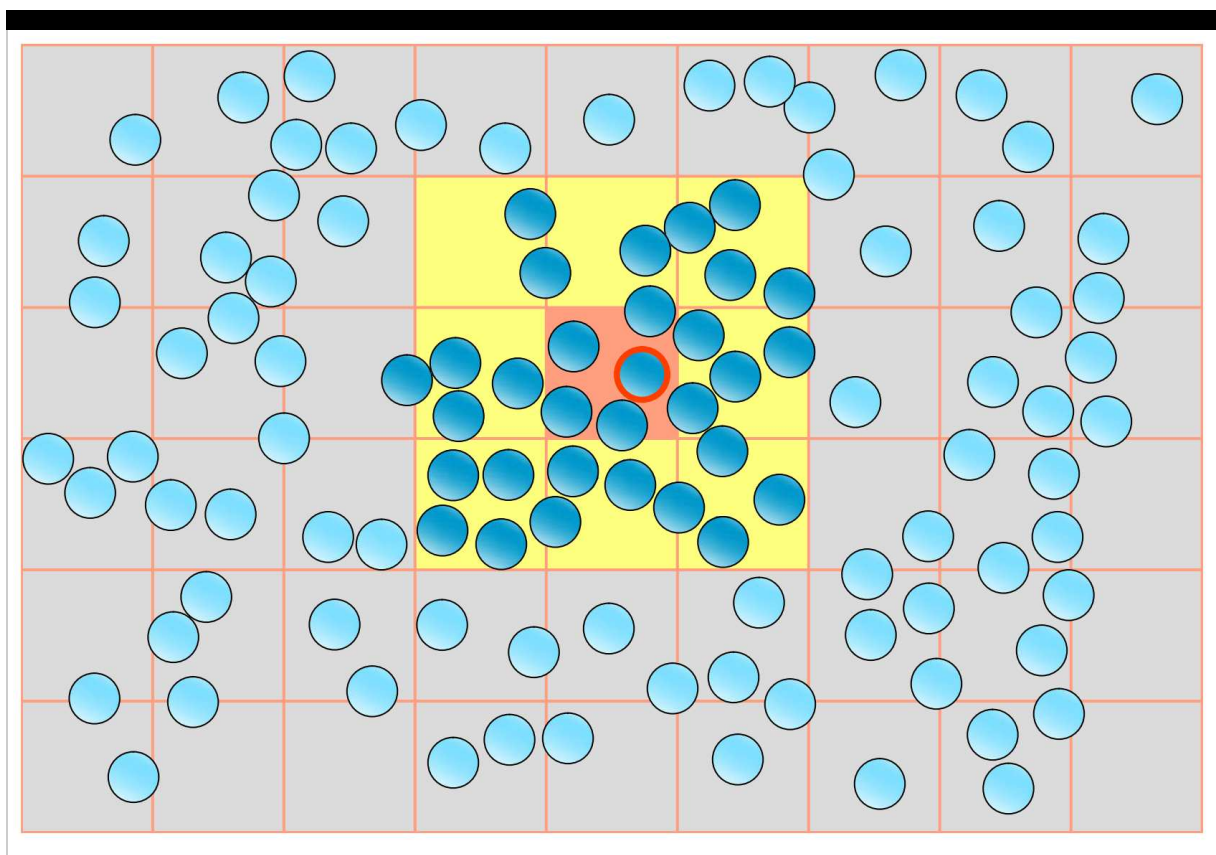
$$nm + \left(\frac{n}{2}\right) \quad (1)$$

ütközésvizsgálatot hajtana végre minden egyes lépés után. A kifejezés első tagja a statikus és dinamikus részecskék tesztjeinek a számát, míg a második tag dinamikus részecskék egymással történő tesztjeinek a számát adja meg. Az m és n növekedésével az elvégzendő tesztek száma nagy mértékben megnő! Ezért mindenképpen szükséges optimalizálni a kapcsolatok felismerését a DEM rendszerek számára. Ennek az első lépése az, hogy a nem lehetséges kapcsolatokat kizárjuk a vizsgálatból, hogy minél kevesebb részecske-párost kelljen vizsgálni. Ezután már csak a megmaradt kapcsolatokkal kell részletesebben foglalkoznunk. Ha találunk valódi kapcsolatokat a részecskék között, akkor alkalmaznunk kell a kapcsolati törvényt (lásd később) és a segítségével számolni a kapcsolati erőket és nyomatékokat. A lehetséges kapcsolatok meghatározására különféle algoritmusokat dolgoztak ki.

2.2.1. A modellter felosztása

Az egyik leggyakrabban használt struktúra a szabályos térháló, implementálása és bejárása igen egyszerű. Amennyiben a modellterünk síkbeli, helyezünk rá egy szabályos, (a_x, a_y) méretű, koordinátatengelyekkel párhuzamos oldalú téglalaprácsot. Térbeli esetben egy (a_x, a_y, a_z) kiterjedésű téglatetshálót használunk, ami a teljes modellteret befoglaló doboz felosztásával kapunk. Az előfeldolgozás alatt minden cellára meghatározzuk az adott cellába eső részecskéket (1. ábra). Ehhez azt kell megvizsgálni, hogy az adott részecskének van-e közös része a cellával. Minden cellához informatikai oldalról egy láncolt lista tartozik. A láncolt listákban azoknak a részecskének az

azonosítóját tároljuk el melyeknek van közös része a cellával. Ütközésetektáláskor meg kell határozni, hogy a vizsgált részecske melyik cellába esik, ezután a tényleges ütközésetektálást már csak a cellában lévő részecskékre kell elvégezni. Természetesen arra is van lehetőség, hogy az adott cella szomszédjainak hatásait is figyelembe vegyük, ez főleg molekuladinamikai számítások esetén fontos (Cell-list). Az eljárás hátránya, hogy nem veszi figyelembe a részecskék egymáshoz viszonyított helyzetét, azaz ugyanolyan aprólékosan oszt fel olyan térrészeket is, ahol nincs is részecske és másik végtelként, megjelenhetnek „túlzsúfolt” cellák is, amelyekhez rengeteg részecske tartozik. Ezért elmondható, hogy bár lekérdezések szempontjából gyors és egyszerű ez az adatszerkezet, a gyakorlatban tárolás szempontjából már nem praktikus. Az optimális cellaméretet a DEM szoftverek heurisztikus módszerek segítségével becslik meg a kezdeti geometria felvétele után.

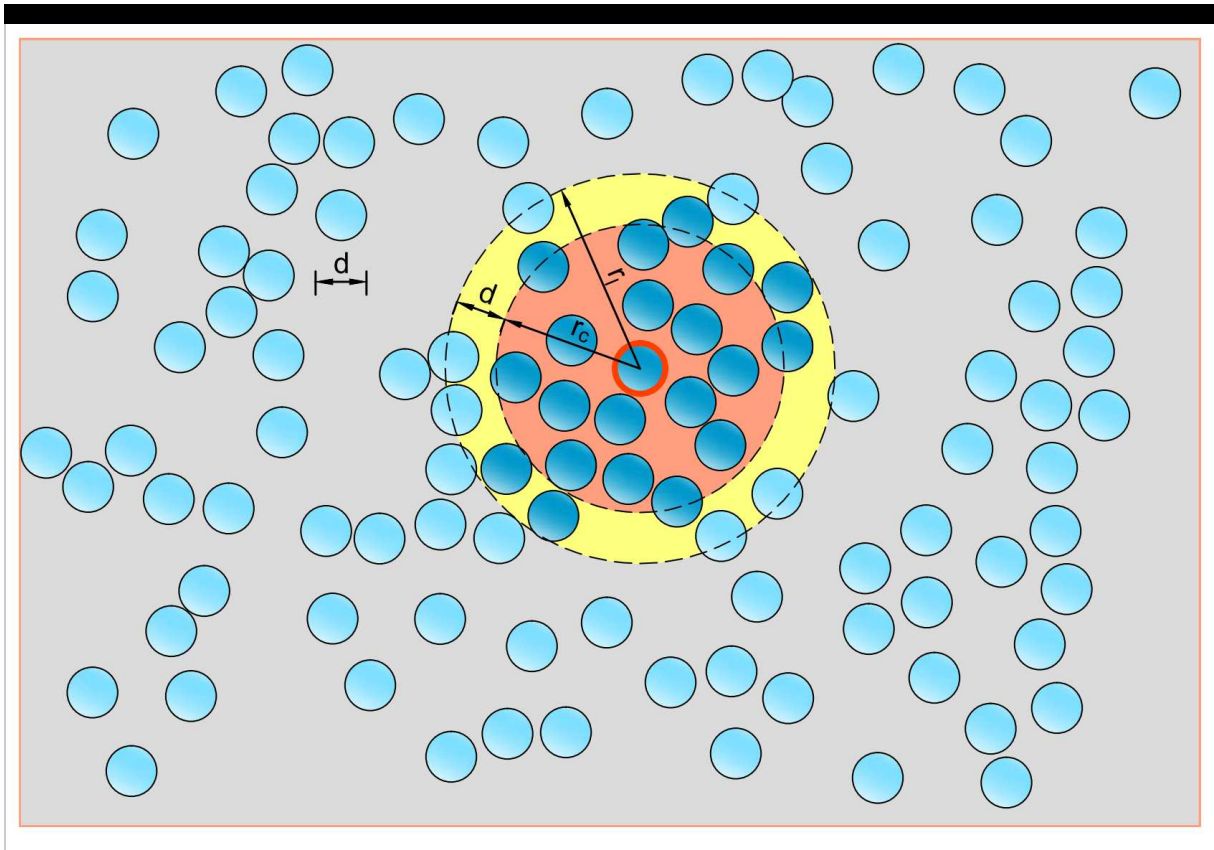


1. ábra

Szabályos térháló alapú felosztás (Cell-list)

Egy másik lehetőség a részecskék nyilvántartására a Verlet-lista vagy táblázat. Vizsgáljunk meg egy N részecskéből álló rendszert. Képzeltben húzzunk minden részecske köré egy r_c és egy $r_l = r_c + d$ sugarú kört, ahol d a részecske átmérőjét jelöli (2. ábra). Az r_l és d alapján megbecsülhetjük azon részecskék N_{max} maximális számát, amelyekkel egy adott részecske egy adott időpillanatban kölcsönhatásban állhat [Varga; 2002]:

$$N_{max} \sim \frac{r_l^2}{d^2} \quad (2)$$



2. ábra

A részecskék nyilvántartása a Verlet-lista segítségével

Létre kell hoznunk egy listát amiben az i indexű szemcse r_l környezetébe eső részecskék indexeit eltároljuk. Futásidőt azzal nyerünk, hogy a szomszédsági viszonyokat tároló listát nem kell minden iterációs lépés után frissíteni, mert az egymást követő időlépésekben nem biztos, hogy a szemcse kiment az r_l sugarú körből vagy oda új szemcse érkezett. A frissítések sűrűsége függ a részecskék között előforduló legnagyobb v_{max} sebességtől és a Δt iterációs lépés hosszától. Frissítést elegendő minden n -edik iterációs lépésben elvégezni [Kun; 2011]:

$$n = \frac{d}{2\Delta t \cdot v_{max}} \quad (3)$$

ahol n számértéke akár 10 - 20 is lehet, ami szignifikánsan redukálja a program futásidejét. Még ilyen egyszerűsítések mellett is a DEM programok a számítási idő 90 %-át a részecskék közötti kapcsolatok detektálására fordítják [O'Sullivan; 2011].

2.2.2. Befoglalókeretek alkalmazása

A modell tér felosztása lehetővé teszi, hogy egy adott szemcse környezetét gyorsan

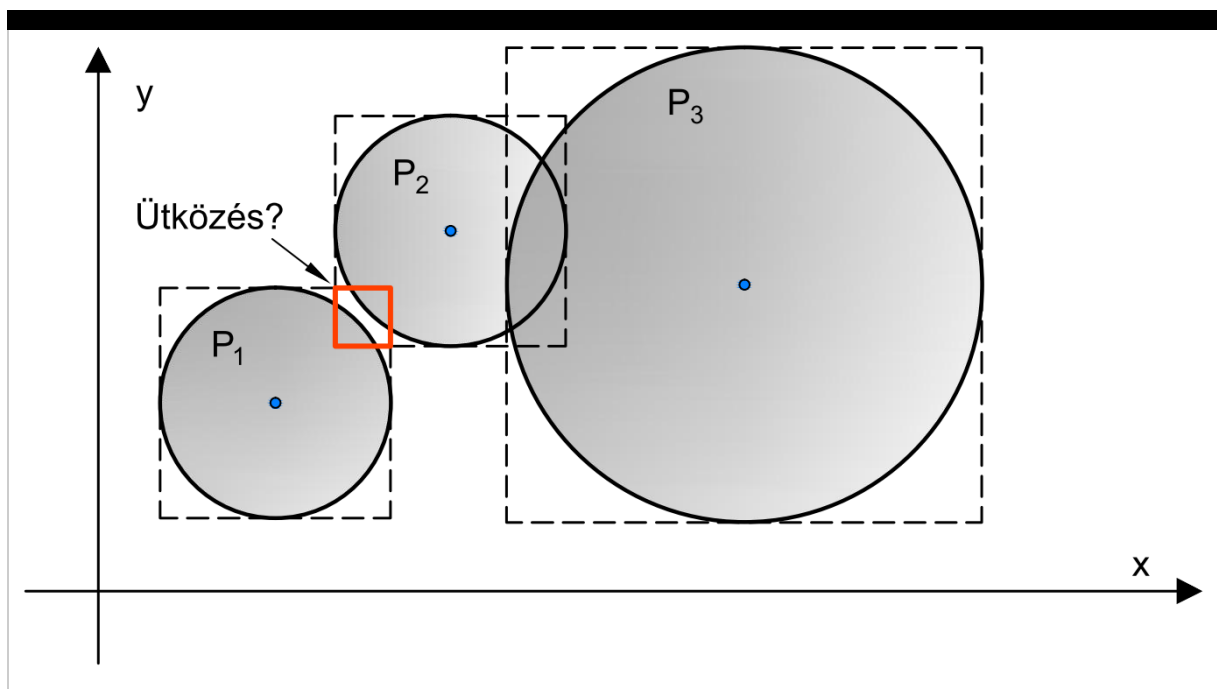
lekérdezzük. Ez azonban még nem jelenti azt, hogy minden szomszédjával kapcsolatba is lép az adott szemcse. Az igen költséges ütközésszámítást tovább gyorsíthatjuk, ha bevezetjük a befoglaló keretek fogalmát. A befoglaló keret egy egyszerű geometriájú objektum, tipikusan gömb (kör) vagy téglatest (téglalap), amely egy-egy bonyolultabb objektumot teljes egészében tartalmaz. Az ütközésetektálás alatt először a befoglaló kereteket próbáljuk elmetezni egymással. Ha nincs metszéspont, akkor nyilván a befoglalt objektummal (szemcsével) sem lehet metszéspont, így a bonyolultabb számítást megtakaríthatjuk [Szirmay-Kalos, Antal és Csonka; 2003]. Amennyiben a befoglaló alakzatok egymásba hatolnak, akkor folytatni kell a vizsgálatot. Az egyik objektumot összevetjük a másik befoglaló alakzatával, és ha itt is ütközés mutatkozik, akkor magával az objektummal (3. ábra). A koncepciót kör alakú részecskék és koordinátatengelyekkel párhuzamos élű befoglaló dobozok (Axis-Aligned Bounding Box) esetén mutatjuk be (1. algoritmus).

Algoritmus 1 A befoglaló-keretek teszt kör alakú szemcsék esetére

```

if (Circle1.X + Circle1.Radius + Circle2.Radius > Circle2.X
    && Circle1.X < Circle2.X + Circle1.Radius + Circle2.Radius
    && Circle1.Y + Circle1.Radius + Circle2.Radius > Circle2.Y
    && Circle1.Y < Circle2.Y + Circle1.Radius + Circle2.Radius)
{
    //A befoglaló dobozok átfedik egymást
}

```



3. ábra

A befoglaló keretek (AABB) koncepciója

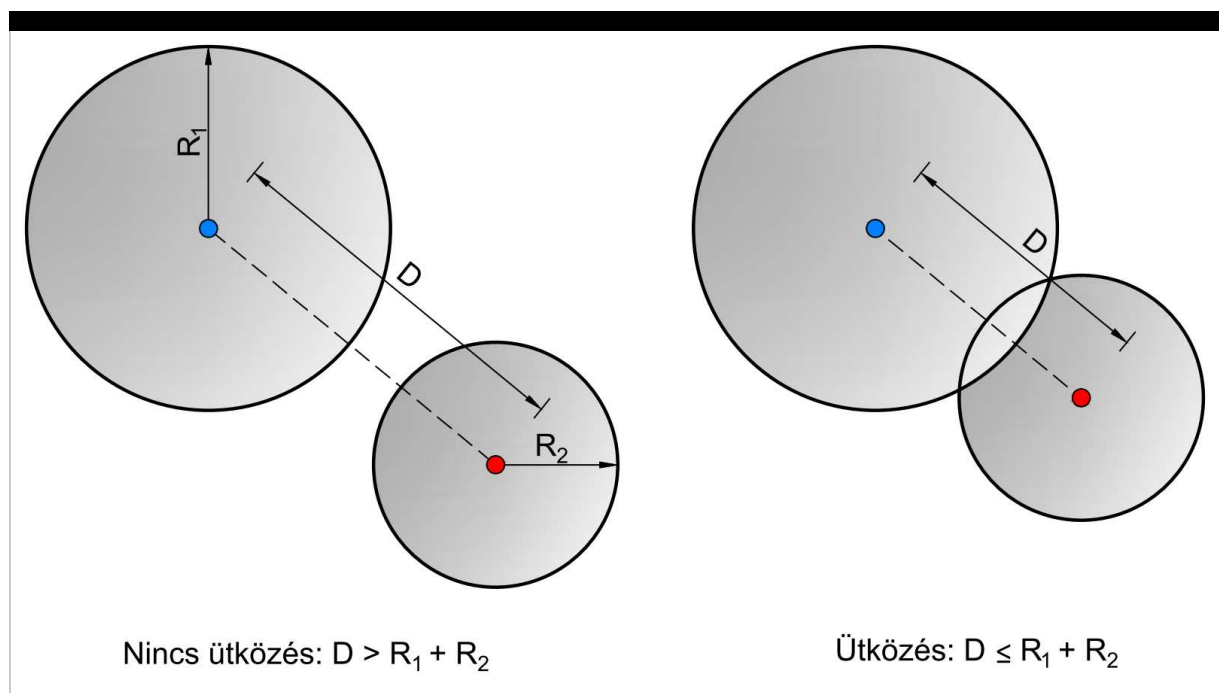
Az AABB előállítás egyszerű, a csúcspontok maximális és minimális x , y , z koordinátái alkotják a téglatest két szemközti csúcsának koordinátáit. Két AABB akkor hatol egymásba, ha valamennyi alábbi egyenlőtlenség fennáll: $x_{min}^1 \leq x_{max}^2$, $x_{max}^1 \geq x_{min}^2$, $y_{min}^1 \leq y_{max}^2$, $y_{max}^1 \geq y_{min}^2$, $z_{min}^1 \leq z_{max}^2$, $z_{max}^1 \geq z_{min}^2$.

2.2.3. Tényleges ütközésszámítás

A részecskék befoglaló dobozainak közös metszete szükséges, de nem elégséges feltétele az ütközésnek. A pontos ütközésszámítást kör alakú szemcsék esetén mutatjuk be (2. algoritmus). A számítás a Pitagorasz-tételre alapul. Ütközésről akkor beszélünk, ha a két szemcse sugarának összege kisebb vagy egyenlő, mint a két szemcse között értelmezett távolság (4. ábra). Poligonok ütközésszámításáról részletesen olvashatunk Cozic [2006] internetes munkájában.

Algoritmus 2 Ütközésszámítás két kör alakú szemcse esetén

```
distance = Math.Sqrt(((Circle1.X - Circle2.X) * (Circle1.X - Circle2.X)) +
((Circle1.Y - Circle2.Y) * (Circle1.Y - Circle2.Y)));
if (distance <= Circle1.Radius + Circle2.Radius)
{
    //A részecskék ütköztek
}
```



4. ábra

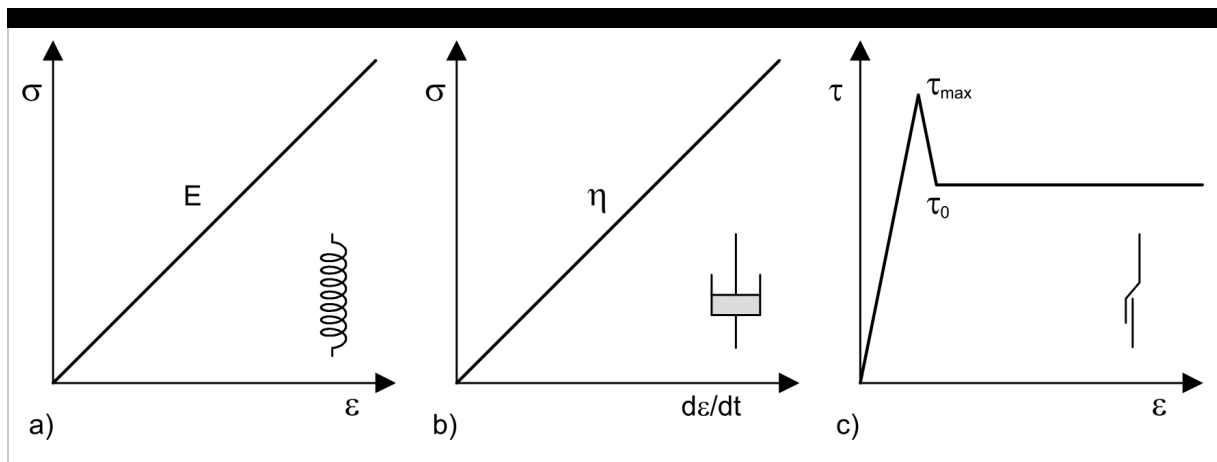
Kör alakú szemcsék pontos ütközésszámítása

2.3. A kapcsolatok leírása

Merev elemek esetén a kapcsolatok anyagjellemzőinek megfelelő megválasztásával kell biztosítani, hogy a halmaz egésze valóságghűen viselkedjen. A legegyszerűbb modellekben a kapcsolatok pontszerűen kicsinyek, tehát koncentrált erőt (és esetleg koncentrált nyomatókót) adhatnak át egymásnak az érintkező elemek. A kapcsolat mechanikai anyagmodellje egyrészt azt írja le, hogy ezek az erők ill. nyomatókók hogyan függenek a két elem relatív elmozdulásától, másrészt teherbírási korlátokat fogalmazhat meg, illetve azt, hogy képlékeny állapotba kerülése után a további terhelés esetén hogyan viselkedik a kapcsolat [Bagi; 2008]. A kapcsolati törvényt akkor kell alkalmazni, amikor két szemcse egymással érintkezik (ütközik). A kapcsolati törvényt (viselkedést) a reológia segítségével fogalmazhatjuk meg. A reológia három alapvető modell segítségével írja le az anyagok tulajdonságait:

- elasztikus (Hooke-test)
- viszkózus (Newton-test)
- plasztikus (Saint-Venant-test)

Elasztikus az a test vagy kapcsolat, amelynek relatív alakváltozása arányos a testre ható mechanikai feszültség értékével („Amilyen a nyúlás, olyan az erő”). Jellemző sajátossága a rugalmassági modulusz vagy Young-modulus. Ez anyagi tulajdonság, amely a feszültség és a relatív alakváltozás értékét kapcsolja össze (5.a ábra). A Hooke-test esetében reológiai hatás nincsen, a testre ható terhelés hatására keletkező alakváltozás az időtől független [Dulácska, Fekete és Varga; 1982]. Jelképe a helyettesítő vázlatokon: a rugó.



5. ábra
Reológiai alapmodellek

Viszkózus az a test vagy kapcsolat, amelyen állandó τ nyírófeszültség (csúsztatófeszültség) állandó $\frac{d\epsilon}{dt}$ sebességű folyási jelenséget hoz létre. Newton törvénye értelmében: $\tau = \eta \frac{d\epsilon}{dt}$, ahol η a dinamikai viszkozitási együttható (5.b ábra). A Newton-testnél a pillanatnyi, igen rövid ideig tartó terhelés hatására nincsen

alakváltozás. Tartós terhelés esetén lép csak fel alakváltozás, mely a terhelési időintervallum és a terhelés nagyságától függ [Dulácska, Fekete és Varga; 1982]. Jelképe a helyettesítő vázlatokon: a dugattyúhoz hasonló ábra.

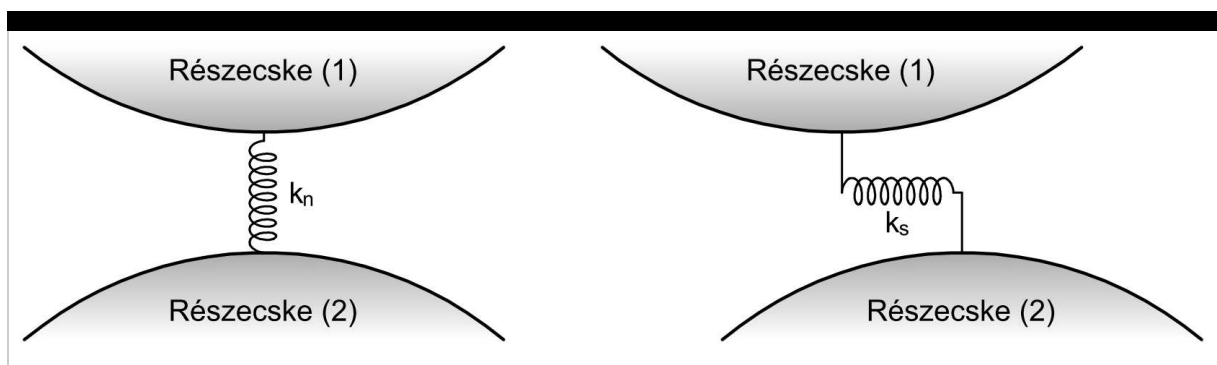
Ha a plasztikus testre vagy kapcsolatra a τ_0 határfeszültségnél kisebb hat, alakváltozás nem jön létre (5.c ábra). A határfeszültséget elérve az alakváltozás minden határon túl növekszik. Fontos megjegyezni, hogy a jelenség nem írható le az idővel összefüggésben, ezért a sebesség fogalma itt nem értelmezhető. Az alakváltozás létrejötte csupán egy feltételtől függ: a feszültség az ok, és az alakváltozás az okozat. A hétköznapi életben ilyen jelenség a súrlódás. Szintén plasztikus jelenség a törés, a Mohr-féle törési elmélet szerint. Jelképe a helyettesítő vázlatokon: két egymásban súrlódásosan mozgó test.

2.3.1. Lineárisan rugalmas kapcsolat

A legegyszerűbb mechanikai modell, amit lényegében minden DEM programban megtalálunk egy lehetséges opcióként, a lineárisan rugalmas kapcsolat [Cundall és Strack; 1979]. A részecskék normálmerevségét K_n , míg nyírómerevségét K_s rugóállandók írják le. Itt a normálerő csak nyomás lehet (konvenció szerint a húzóerők pozitívak), és nagysága az érintkezést alkotó két anyagi pont relatív eltolódási komponensével (u_n) arányos (6. ábra):

$$F_n = K_n \cdot u_n \quad (4)$$

ahol $F_n \leq 0$.



6. ábra
A lineárisan rugalmas kapcsolat

Ha a normálerő pozitívvá válna (azaz a két elem eltávolodik egymástól), a kapcsolat megszűnik [Bagi; 2008]. A kapcsolati nyíróerő az érintőirányú relatív eltolódással (u_s) arányos:

$$F_s = K_s \cdot u_s \quad (5)$$

Abban az esetben, ha rúgóállandókat nem a kapcsolathoz hanem a részecskékhez rendeljük, mint anyagjellemző, akkor az egyenértékű normál- és nyírómerevségeket a következő összefüggéssel becsülhetjük [Ardic; 2006]:

$$K_n = \frac{k_{n1} \cdot k_{n2}}{k_{n1} + k_{n2}} \quad (6)$$

és

$$K_s = \frac{k_{s1} \cdot k_{s2}}{k_{s1} + k_{s2}} \quad (7)$$

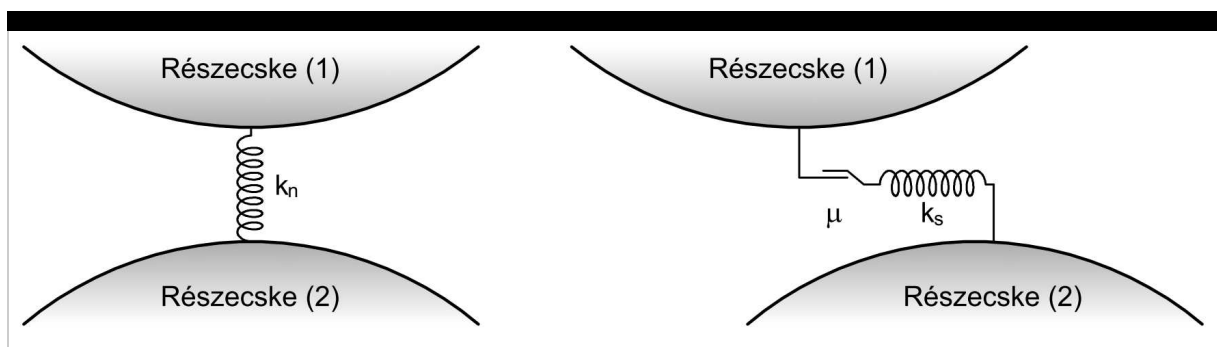
ahol k_{ni} és k_{si} az i -edik részecskéhez tartozó saját normál- és nyírómerevség paraméter. A kapcsolatok merevségét a $\lambda = \frac{K_s}{K_n}$ arány jellemzi.

2.3.2. A lineárisan rugalmas Coulomb-súrlódásos kapcsolat

A szilárd testek között fellépő súrlódást száraz súrlódásnak vagy Coulomb-súrlódásnak nevezzük. A Coulomb-féle súrlódás az érintkezési felületen fellépő jelenségeknek csupán egy lehetséges (nagyon egyszerű) modellje, számos más modell is létezik. Hatását egy Hooke-test és egy Saint-Venant-test sorba kötésével vehetjük figyelembe. A súrlódásról fontos megjegyezni, hogy az mindössze reakcióerő, ami azt jelenti, hogy csak akkor lép fel, ha egy aktív erő a testet el akarja mozdítani vagy már elmozdította, és ilyenkor mindig a pillanatnyi elmozdulással ellentétes irányban hat. Ha egy nyugalomban lévő testre nem hat a támaszkodó felületével párhuzamos irányú erő, akkor ott nem is ébred súrlódás. A nyíróerő nagyságának a Coulomb-feltétel szab határt (7. ábra):

$$F_s^{max} = F_n \cdot \tan(\varphi) = F_n \cdot \mu \quad (8)$$

ahol φ a rendszerrel jellemző súrlódási szög, μ pedig a dimenzió nélküli súrlódási tényező (beszélhetünk statikus és dinamikus súrlódási tényezőről).



7. ábra

A lineárisan rugalmas Coulomb-súrlódásos kapcsolat

A súrlódási tényező az érintkező felületek anyagminőségétől függő empirikus

mennyiség. Ha a nyíróerő eléri ezt az értéket, a további relatívetolódás-növekmény már állandó erő mellett (zérus nyírási merevséggel) történik, mindaddig, amíg a relatív eltolódás iránya meg nem változik [Bagi; 2008]. A szimuláció alatt minden időlépésre számoljuk az érintkező részecskék között fellépő normál (u_n) és érintőirányú (u_s) relatív elmozdulásokat, majd ezek segítségével a normál- és nyíróerőket. A nyíróerők új értékét F_s^{new} az előző időlépés alatt számolt nyíróerők F_s^{old} és az újonnan számolt ΔF_s érték összegéből képezzük [Jakob és Konietzky; 2012]:

$$F_s^{new} = F_s^{old} + \Delta F_s \quad (9)$$

ahol

$$\Delta F_s = -K_s \cdot \Delta u_s \quad (10)$$

A teljes kapcsolati erő, ami a részecskéket éri:

$$F_c = F_n + F_s \quad (11)$$

A bemutatott kapcsolati törvény jól alkalmazható triaxiális vizsgálatok szimulációjára és számos kutatási eredmény igazolta (közelítő volta ellenére) helyességét [Scholtes; 2009].

2.3.3. A Hertz-Mindlin féle kapcsolat

A részecskék merevségét leíró (k_n és k_s) rugóállandókat a Hertz-Mindlin-féle közelítés segítségével becsülhetjük meg a szemcsék nyírási modulusa (G_1, G_2), Poisson-tényezője (ν_1, ν_2), sugaraik (R_1, R_2) és normál irányú relatív elmozdulásuk (u_n) segítségével [Arévalo-Mendoza et al., 2014]:

$$k_n = \left(\frac{2\bar{G}\sqrt{2\bar{R}}}{3(1-\bar{\nu})} \right) \sqrt{u_n} \quad (12)$$

ahol

$$\bar{R} = \frac{2R_1R_2}{R_1 + R_2}, \quad (13)$$

$$\bar{G} = \frac{G_1 + G_2}{2}, \quad (14)$$

$$\bar{\nu} = \frac{\nu_1 + \nu_2}{2} \quad (15)$$

A kapcsolat nyíromerevségét (amely a nyomóerő nagyságától függ) Mindlin és Deresiewicz [1953] és Deresiewicz [1958] munkája alapján becsülhetjük [Van Baars; 1996]:

$$k_s = \left(\frac{2 \left(3\bar{G}^2 (1 - \bar{\nu}) \bar{R} \right)^{\frac{1}{3}}}{2 - \bar{\nu}} \right) \cdot |F_n|^{\frac{1}{3}} \quad (16)$$

Fel kell hívnunk arra a figyelmet, hogy az idézett cikkekben a levezetések csak igen speciális esetekre vonatkoznak (azonos méretű, tökéletesen rugalmas-képlékeny gömbök kapcsolata), így hiába bonyolultak, mégis csak igen durva közelítésnek tekinthetők [Bagi; 2008].

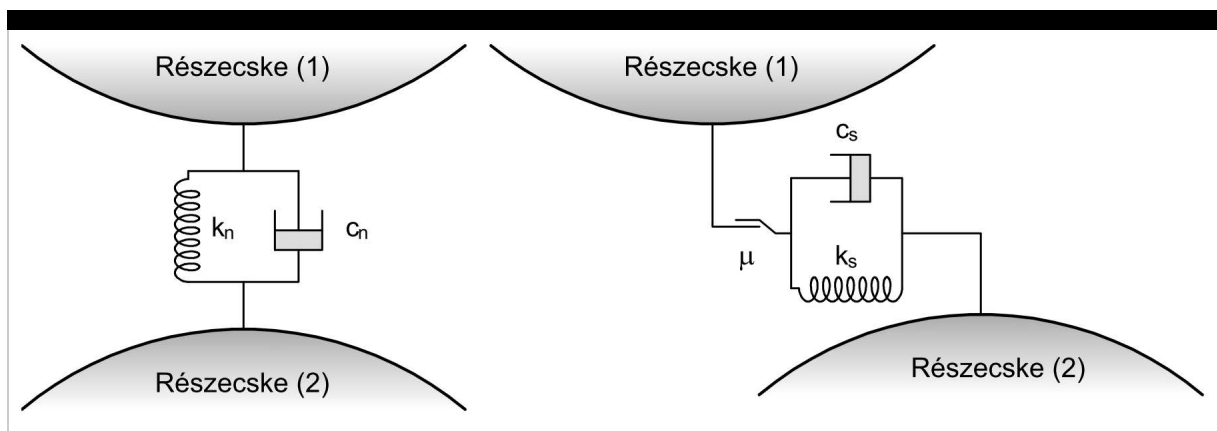
2.3.4. A kapcsolati modell viszkózus csillapítása

Amikor két érintkező felület elmozdul egymáson a deformációhoz szükséges munka egy része nem a rugalmas alakváltozást fedezi, hanem hővé alakul. A valóságos folyamatok helyes leírása miatt csökkentenünk kell a rendszer mozgási energiáját, azaz foglalkoznunk kell az energiadisszipáció kérdésével (visszafordíthatatlanul hőenergiává alakuló mozgási energia).

A kapcsolati modellt ki kell egészíteni a viszkózus csillapítással, melyet az jellemez, hogy a csillapító erő arányos a tömeg sebességével (8. ábra). Ezt a csillapítást azért nevezik viszkózusnak, mert a folyadék csillapítását modellezi. A c arányossági tényezőt (vagyis η dinamikai viszkozitási együtthatót) csillapítási tényezőnek nevezik, az összefüggés általános esetre:

$$D_c = -cv = -c\dot{x} = -c \frac{dx}{dt} \quad (17)$$

ahol D_c a csillapítási erő (damping force).



8. ábra

A kapcsolati modell viszkózus csillapítása

A kapcsolati viszkózus csillapítás lényege az, hogy a kapcsolati erő mindegyik komponenséhez hozzáadódik egy-egy olyan erő (ill. nyomaték), amelyeknek nagysága a kapcsolati relatív elmozdulás-sebesség megfelelő komponenseinek nagyságával arányos, iránya pedig olyan, hogy épp lassítsa a relatív sebességet (Bagi, 2008). A normálerőhöz hozzáadódó komponens nagysága például:

$$F_n = k_n u_n - c_n \dot{u}_n \quad (18)$$

A nyíró erő számításánál is hozzá kell adnunk a viszkózus csillapítási tényező hatását ($c_s \cdot \Delta \dot{u}_s$):

$$\Delta F_s = -k_s \cdot \Delta u_s - c_s \cdot \Delta \dot{u}_s \quad (19)$$

ahol c_n és c_s a normál és nyírási csillapítás tényezők. Ha a csillapítás eléggé kicsi, a rendszer rezegni fog, de idővel megszűnik a rezgése. Ez az eset a gyakorlat szempontjából a legfontosabb. Ha a csillapítást addig növeljük, míg a rendszer éppen megszűnik rezegni, akkor elértük a kritikus csillapítást. A kritikus csillapításhoz tartozó csillapítási tényező értéke egytömegű lengőrendszer esetén:

$$c^{crit} = 2\sqrt{k \cdot m} \quad (20)$$

ahol k arányossági együttható a rugómerevség, egysége erő/elmozdulás (N/m).

A rendszer csillapításának mértékéül a csillapítási viszonyt (β) vezették be (ezt csillapítási faktornak is hívják). Ez a csillapítási viszony a tényleges csillapítási tényező és a kritikus csillapítási tényező hányadosa. Képlete az egytömegű lengőrendszer esetén:

$$\beta = \frac{c}{2\sqrt{k \cdot m}} \quad (21)$$

Az összefüggések segítségével számíthatjuk a c_n és c_s értékét:

$$c_n = \beta_n c_n^{crit} = 2\beta_n \sqrt{k_n \cdot \bar{m}} \quad (22)$$

$$c_s = \beta_s c_s^{crit} = 2\beta_s \sqrt{k_s \cdot \bar{m}} \quad (23)$$

ahol \bar{m} a rendszer hatékony tömege:

$$\bar{m} = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \quad (24)$$

A β csillapítási viszonyt az e ütközési szám (coefficient of restitution) alapján becsülhetjük [Schafer et al.; 1996]:

$$\beta = \frac{\ln(e)}{\sqrt{\ln^2(e) + \pi^2}} \quad (25)$$

ahol

$$e = \frac{v_a}{v_b} \quad (26)$$

és v_a az ütközés utáni, v_b pedig az ütközés előtti relatív sebessége a részecskéknek.

2.4. A mozgásegyenlet

A klasszikus mechanikában a merev test a véges nagyságú szilárd test idealizált modellje, amelynél az alakváltozást elhanyagolják. Más szóval a merev test bármely két pontjának távolsága időben állandó, függetlenül az esetleg rá ható erőhatásoktól. A merev test idealizációja szigorúan csak a klasszikus mechanika szerint használható. A diszkrét elemek helyzetének és mozgásának leírására háromdimenziós, derékszögű Descartes-koordinátarendszert fogunk alkalmazni, amelyet az (x, y, z) tengelyek alkotnak. A merev testnek hat szabadságfoka van: derékszögű koordináta-rendszerben az x, y és z tengely irányába történő elmozdulás (transzláció) és az x, y és z tengely körüli elfordulás (rotáció).

Minden részecskének kijelölünk egy referenciapontot, amely elvileg az elem bármely pontja lehet, de a számításokat egyszerűsíti, ha egybeesik az elem tömegközéppontjával. Merev test modell esetén a részecskék deformálhatóságát a pontszerűen kialakuló kapcsolatokba sűrítjük.

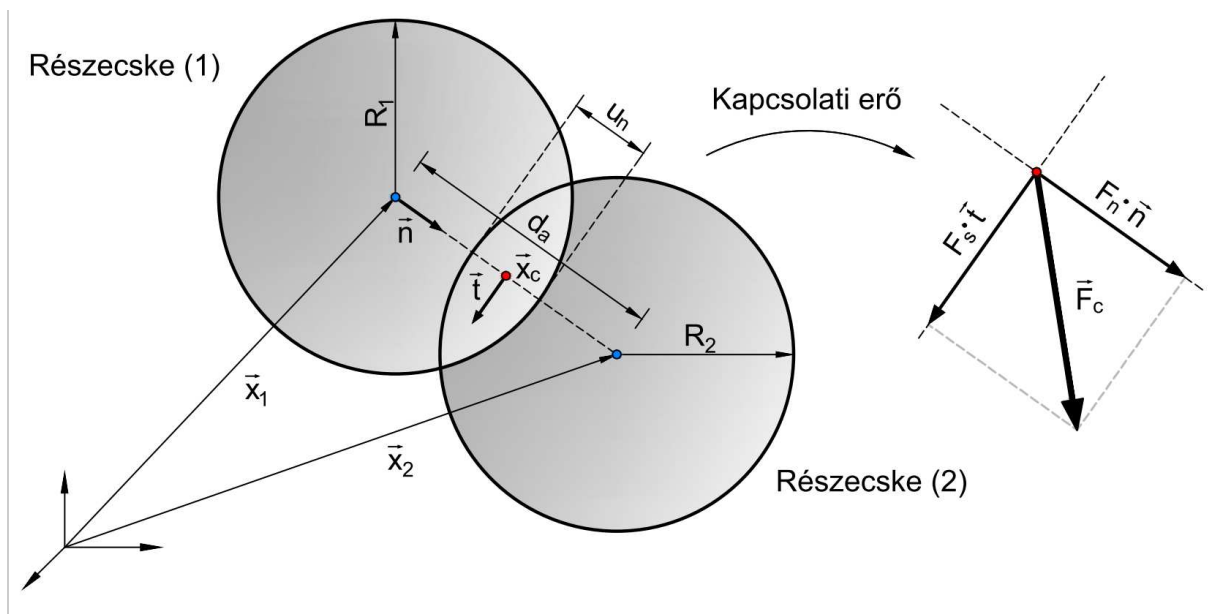
Az \vec{x}_1 és \vec{x}_2 vektorok a részecskék referenciapontjára mutatnak, az \vec{n} és \vec{t} pedig a normál és érintő irányú egységvektorokat jelölik (9. ábra). A következő összefüggések adódnak:

$$d_a = \left| \vec{x}_2 - \vec{x}_1 \right| \quad (27)$$

$$n = \frac{\vec{x}_2 - \vec{x}_1}{d_a} \quad (28)$$

$$u_n = R_1 + R_2 - d_a \quad (29)$$





9. ábra
Két részecske érintkezése

A két szemcse között kialakuló kapcsolati pont \vec{x}_c vektorát a következő képen számíthatjuk:

$$\vec{x}_c = \vec{x}_1 + (R_1 - 1/2 \cdot u_n) \cdot \vec{n} \quad (30)$$

A részecskék között kialakuló kapcsolati erő F_c normál és nyíró irányú összetevőjét a K_n és K_s merevségi értékek határozzák meg. A normál komponens a részecskék között kialakuló kapcsolat alatt közvetlenül számítható. A nyírási komponens ilyenkor még nulla, az egyes időlépések alatt fog növekedni vagy csökkenni az értéke:

$$\Delta F_s = -K_s \cdot \Delta u_s \quad (31)$$

és

$$F_n = K_n \cdot u_n \quad (32)$$

A nyírási elmozdulások összege egy időlépés alatt Δu_s amit a fejezet végén az (47) összefüggéssel számoljuk. A két szemcse között kialakuló kapcsolati erőt a következő képlet adja meg:

$$\vec{F}_c = F_n \cdot \vec{n} + F_s \cdot \vec{t} \quad (33)$$

Az egy részecskére ható teljes erő \vec{F} ($\hat{=} F$), a szomszédos részecskéről átadódó kapcsolati erőkből és a nehézségi erőből tevődik össze $F_g = m \cdot \vec{g}$:

$$F = \sum_c \vec{F}_c + \vec{F}_g \quad (34)$$

A teljes erő az i -edik irányban ($i \in \{1, 2, 3\}$) F_i , egy részecskére kifejtett hatását Newton II. törvénye határozza meg. Az F_i értékét a szemcse tömegének (m) és az öt ért gyorsulások \ddot{u}_i és g_i összegének szorzataként határozzuk meg:

$$F_i = m \cdot (\ddot{u}_i + g_i) \quad (35)$$

A fenti képlet átrendezésével kapjuk:

$$\ddot{u}_i = \frac{F_i}{m} - g_i \quad (36)$$

Az idő (t) szerinti első integráltja a gyorsulásnak a sebességet, második integráltja pedig az elmozdulást adja meg:

$$\dot{u}_i = \int \ddot{u}_i dt \quad (37)$$

és

$$u_i = \int \dot{u}_i dt \quad (38)$$

A forgó mozgás leírására vezessük be az \vec{r}_c vektor, mely a szemcse referenciapontjából a ütközési (kapcsolati) pontba mutat. Az \vec{M} forgató nyomatékot a következő összefüggés adja:

$$\vec{M} = \sum_c \left(\vec{r}_c \times \vec{F}_c \right) \quad (39)$$

ahol $\vec{r}_c = \vec{x}_c - \vec{x}$ és $\vec{x} = \vec{x}_1$ az 1-es szemcse esetén.

Az M_i forgató nyomaték az i -edik irányban a tehetetlenségi nyomaték (Θ) és a szöggyorsulás ($\beta = \dot{\omega} = \ddot{\varphi}$) szorzataként számítható:

$$M_i = \Theta \cdot \beta_i = \Theta \cdot \dot{\omega}_i \quad (40)$$

A tehetetlenségi nyomaték, a tömeggel analóg mennyiség forgómozgásnál. Vagyis a tehetetlenségi nyomaték a forgást végző merev test forgási tehetetlensége. Gömb alakú részecskék tehetetlenségi nyomatéka:

$$\Theta = \frac{2}{5} \cdot mR^2 \quad (41)$$

Körlapra merőleges tengelyre (korong):

$$\Theta = \frac{1}{2} \cdot mR^2 \quad (42)$$

Az (40) összefüggés átrendezésével és idő szerinti integrálásával kapjuk a

szögsebességet (ω):

$$\omega_i = \int \frac{5M_i}{2mR^2} dt \quad (43)$$

A test érintőirányú (tangenciális) sebességét v_t (kerületi sebességét) a következőképpen számíthatjuk általános esetben:

$$v_t = \frac{ds}{dt} = r \cdot \frac{d\varphi}{dt} = r \cdot \omega \quad (44)$$

ahol az r a kör sugarát jelöli és $s = r \cdot \varphi$ a körmozgást végző test útfüggvénye. A két összetalálkozott szemcse sebessége az ütközés után:

$$\vec{v}'_1 = \vec{v}_1 + \vec{\omega}_1 \times (\vec{x}_c - \vec{x}_1) \quad (45)$$

$$\vec{v}'_2 = \vec{v}_2 + \vec{\omega}_2 \times (\vec{x}_c - \vec{x}_2) \quad (46)$$

ahol $\vec{v}_1 \hat{=} \dot{u}_{i1}$ és $\vec{v}_2 \hat{=} \dot{u}_{i2}$ a részecskék haladó sebessége, $\vec{\omega}_1$ és $\vec{\omega}_2$ pedig szögsebessége. A részecskék ütközés utáni sebességkülönbsége (\vec{v}'_{rel}):

$$\vec{v}'_{rel} = \vec{v}'_2 - \vec{v}'_1 = \left(\vec{v}_2 + \vec{\omega}_2 \times (\vec{x}_c - \vec{x}_2) \right) - \left(\vec{v}_1 + \vec{\omega}_1 \times (\vec{x}_c - \vec{x}_1) \right)$$

Az ütközés utáni normálirányú sebességkülönbség pedig (v_n):

$$v_n = \left| \vec{v}'_{rel} \cdot \vec{n} \right| \quad (48)$$

Az érintő irányú elmozdulásnövekményt (Δu_s) minden egyes időlépés alatt a nyírósebesség (v_s) és a Δt időlépés szorzataként számítjuk:

$$\Delta u_s = v_s \cdot \Delta t \quad (49)$$

A nyírósebességet pedig a $v_{rel} = \left| \vec{v}'_{rel} \right|$ és a normálirányú sebességkülönbség különbségéből kapjuk:

$$v_s = v_{rel} - v_n \quad (50)$$

A mozgásegyenlet matematikai formáját tekintve egy közönséges differenciálegyenlet. A numerikus megoldási eljárások az úgynevezett véges differencia módszerre épülnek. Ezek alap gondolata az, hogy az időt, mint független változót egyenközű Δt lépésekkel diszkrétizáljuk és a megoldásfüggvényt a csonkolt Taylor sorával közelítjük [Kun; 2011]. Ezzel szemben a DEM szoftverekben a numerikus megoldás stabilitásának biztosítása érdekében nem célszerű egyenközű Δt eljárást alkalmazni (lásd 3.4 pont). A PFC-ben is változó időlépésekkel történik az időintegrálás. A DEM modellekben alkalmazott eljárásokról részletesen olvashatunk Bagi [2008] és Kun [2011] munkáiban. A bemutatott eljárás dinamikai modelljére a PFC program ismertetésénél térünk ki részletesebben.

3. Diszkrét elemes modellezés PFC^{2D/3D}-szoftverrel

Az elméleti alapok ismertetése után, most röviden kitérnénk az egyik legnépszerűbb diszkrételemes modellezést támogató szoftvercsomag bemutatására. Az Itasca Consulting Group Inc. által kifejlesztett PFC (Particle Flow Code) programok a gömbszerű szemcsék mozgásait és kölcsönhatásait modellezik két vagy három dimenzióban Cundall és Strack 1979-ben publikált diszkrét elemes módszere [Cundall, Strack; 1979] alapján. A PFC programok fő jellemzőit Mészöly [1999], Tóth [2004], Fischer és Horvát [2010] munkái alapján foglaltuk össze a teljes igénye nélkül. Akik további részletekre kíváncsiak, azoknak javasoljuk a felsorolt munkák részletes tanulmányozását. A PFC program a szemcsehalmazok modellezésénél a következő feltételezésekkel él [Mészöly; 1999]:

- A részecskék merev testek.
- Minden szemcse kör (2D) vagy gömb (3D) alakú, de a szemcsék egymáshoz rögzítésével tetszőleges alakú merev testek hozhatók létre.
- A kapcsolatok egy pontban jönnek létre.
- A kapcsolati erők csak az érintkezési pontokon adódnak át.
- Puha kapcsolatot feltételez, a részecskék átfedhetik egymást.
- Két szemcse között ébredő kapcsolati erő ezen átfedés mértékével arányos, amit az úgynevezett „büntető merevsége” jellemez. Ily módon a szemcsék alakja ugyan nem változik, de mégis megjelenik a kapcsolati deformációknak megfelelő viselkedés.
- A kapcsolati deformáció a szemcse méretéhez képest mindig kicsi.
- Kötés modell esetén húzásnak, nyomásnak, nyírásnak és hajlításnak is ellenálló kötések létesülhetnek a kapcsolati pontokon a szemcsék között.

A PFC^{2D} alkalmazás 2D-os modellezésre alkalmas: a mozgástörvényekben csak két-két (síkban fekvő) elmozdulás és erő, illetve egy-egy (síkra merőleges) elfordulás és nyomaték komponens szerepel. A kör alakú szemcséket a program vagy adott sugarú gömbökként, vagy - a síkra merőleges irányba kiterjedő - adott szélességű hengerekként kezeli, és ennek megfelelően számítja tehetetlenségi jellemzőiket [Tóth; 2004].

A PFC programok két elemet ismernek: a szemcsét (partice) és a falat (wall). Mind a szemcsék, mind a falak végtelen merev elemek, a köztük (szemcse-fal) és egymás közt (szemcse-szemcse) fellépő érintkezések, kapcsolatok tulajdonságai határozzák meg az anyag viselkedését. Kapcsolat fal-fal között nem jöhet létre. A szemcsék hivatottak szimbolizálni a szemcsés anyagban (vagy egyéb diszkrét elemekkel modellezhető anyagokban) a „szemeket”, a falak pedig határoló funkciót látnak el alapesetben, de a perem- és kezdeti feltételek megadásánál is fontos szerepet játszanak [Fischer, Horvát; 2010].

A fal mozgása megadható és segítségével korlátlan erőt lehet kifejteni, mivel a program nem ír fel rá Newton-törvényt. Ahogy a falaknak úgy a szemcséknek is lehet előírt sebessége, mely a számítás alatt nem változik. Két szemcsét a felhasználó által

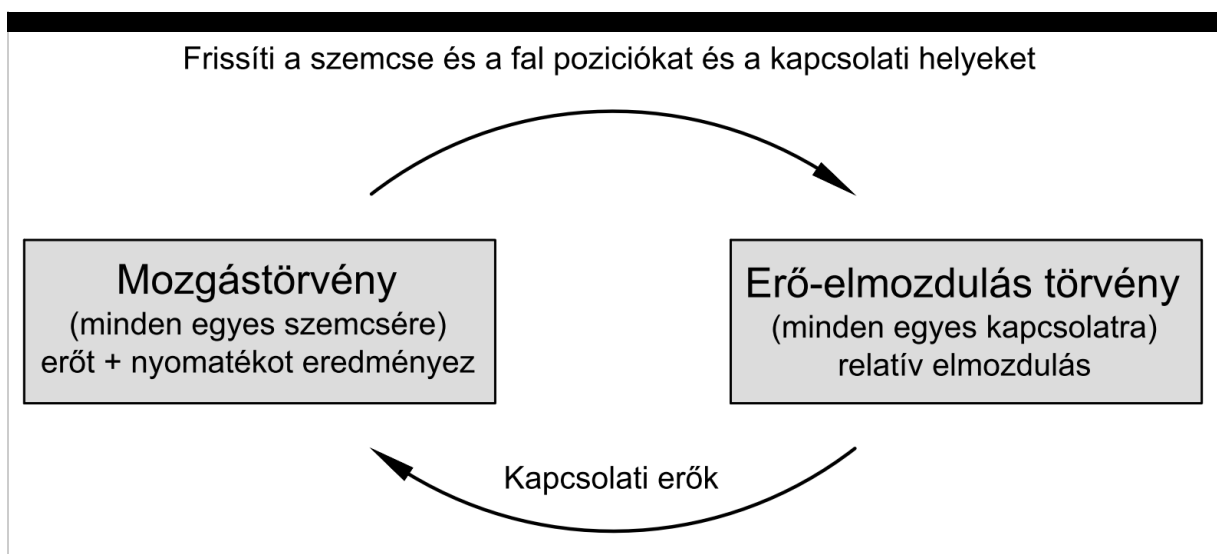
megadott kapcsolati erő köthet össze. Minden elemhez megadható a normál- és nyírási merevség.

3.1. A mozgásegyenletek

A rendszer dinamikai viselkedése egy időléptető algoritmuson alapul, ahol az egyes időlépéseken belül a sebességek és gyorsulások állandóak. A feltételezés szerint az időlépés olyan rövidre választott, hogy a hatás csak a szomszédos részecskékre jut el, így minden pillanatban a következő állapot kiszámításához csak a szomszédos részecskékkal való kölcsönhatást kell figyelembe venni [Mészöly; 1999].

A szemcserendszer deformációja a szemcsék elcsúszásából és elfordulásából származik, nem pedig az egyes szemcsék deformációjából. Az energiaelnyelés pedig csúszási súrlódás által történik. Elképzelhető az is, hogy a csúszási modell nem működik az adott modellben, így szükség van az energia elnyeléséhez helyi csillapítások alkalmazására. A PFC programban alkalmazott csillapítás konstans, csak gyorsuló mozgást csillapít és frekvenciától függetlenül csillapítja a sajátrezgéseket [Mészöly; 1999].

A számítás Newton II. törvényének és a kapcsolati erő-elmozdulás törvénynek az alkalmazása között alternál (10. ábra): Newton II. törvénye alapján kiszámíthatók a különálló szemcsék elmozdulásai az épp aktuális kapcsolati és térfogati erők hatására, míg a kapcsolati erő-elmozdulás törvény segítségével módosíthatók a relatív elmozdulások miatt megváltozott kapcsolati erők [Tóth; 2004].



10. ábra

Számítási ciklus a PFC programban

A PFC alkalmazás a sebességeket (\dot{x}_i és ω_i) átlagolt $t \pm \Delta t/2$ időközönként, az x_i , \ddot{x}_i , $\dot{\omega}_i$, F_i és M_i értékeket pedig $t + \Delta t$ intervallumra számítja. A (37), (38) és (43)

egyenletek numerikus megoldása a centrális differenciák módszerével az alábbi formában írható fel:

$$\ddot{u}_i^{(t)} = \frac{1}{\Delta t} \left(\dot{u}_i^{(t+\Delta t/2)} - \dot{u}_i^{(t-\Delta t/2)} \right) \quad (51)$$

$$\dot{\omega}_i^{(t)} = \frac{1}{\Delta t} \left(\omega_i^{(t+\Delta t/2)} - \omega_i^{(t-\Delta t/2)} \right) \quad (52)$$

A mozgástörvény egy ciklusa [Mészöly; 1999]:

1. Adott a szemcsék tömegközéppontjainak sebessége $\dot{u}_i^{(t-\Delta t/2)}$ és szögsebessége $\omega_i^{(t-\Delta t/2)}$ a $t - \Delta t/2$ pillanatban, a szemcsék tömegközéppontjának helyzete $x_i^{(t)}$ és a rá ható eredő erő $F_i^{(t)}$ és nyomaték $M_i^{(t)}$ a t időpillanatban.

2. Az (49), (50), (36) és (40) egyenletek segítségével a szemcsék tömegközéppontjának sebessége és szögsebessége számítható a $t + \Delta t/2$ időpillanatra:

$$\dot{u}_i^{(t+\Delta t/2)} = \dot{u}_i^{(t-\Delta t/2)} + \left(\frac{F_i^{(t)}}{m} + g_i \right) \Delta t \quad (53)$$

$$\omega_i^{(t+\Delta t/2)} = \omega_i^{(t-\Delta t/2)} + \left(\frac{5M_i^{(t)}}{2mR^2} \right) \Delta t \quad (54)$$

3. Ismeretükben a szemcse $t + \Delta t$ -beli helyzete meghatározható:

$$x_i^{(t+\Delta t)} = x_i^{(t)} + \dot{u}_i^{(t+\Delta t/2)} \Delta t \quad (55)$$

4. A számítás újratekődik az (27), (28), (29), összefüggésektől, az erőket és elmozdulásokat az új pozíció segítségével becsüljük a következő időlépésre.

A számítás további részleteit az érdeklődő olvasó megtalálja a PFC program kézikönyvében [Itasca; 2008].

3.2. Kapcsolati modellek

A PFC-ben különféle kapcsolati modelleket és kötéseket lehet alkalmazni a szemcsék között, amik döntően befolyásolják a halmaz egészének viselkedését [Tóth; 2004].

3.2.1. A kapcsolati modell (Contact Model)

Ahogy azt már említettük, mind a szemcsék, mind a falelemek végtelen merevek, ezért a köztük fellépő érintkezések tulajdonságai határozzák meg a modell viselkedését [Fischer, Horvát; 2010]. A PFC program két kapcsolati modellt alkalmazhat: lineáris rugómodell vagy egyszerűsített Hertz-Mindlin modellt. Két olyan szemcse között,

melyekre nem azonos modellt alkalmazunk, nem jöhet létre kapcsolat, mert viselkedésük bizonytalan lenne. A Hertz-modell összeférhetetlen minden kötési modellel, mivel ott nincsenek értelmezve a vonzóerők [Mészöly; 1999].

3.2.2. A súrlódásos modell (Slip Model)

Elcsúszás akkor következik be egy kapcsolatnál, ha nincs érintkezési kötés és a kapcsolati erő nyíró komponensének nagysága a maximálisan megengedhető nyíróerőt 0,1%-nál jobban megközelíti:

$$F_s > 0,99 \cdot F_s^{max} \quad (56)$$

Az érintkezési kötés és a csúszási modell közül mindig csak az egyik lehet aktív. A kapcsolati modellel viszont működhet párhuzamosan. Egy kapcsolatban az egymással érintkező két szemcse súrlódási tényezője közül a kisebbet veszi figyelembe.

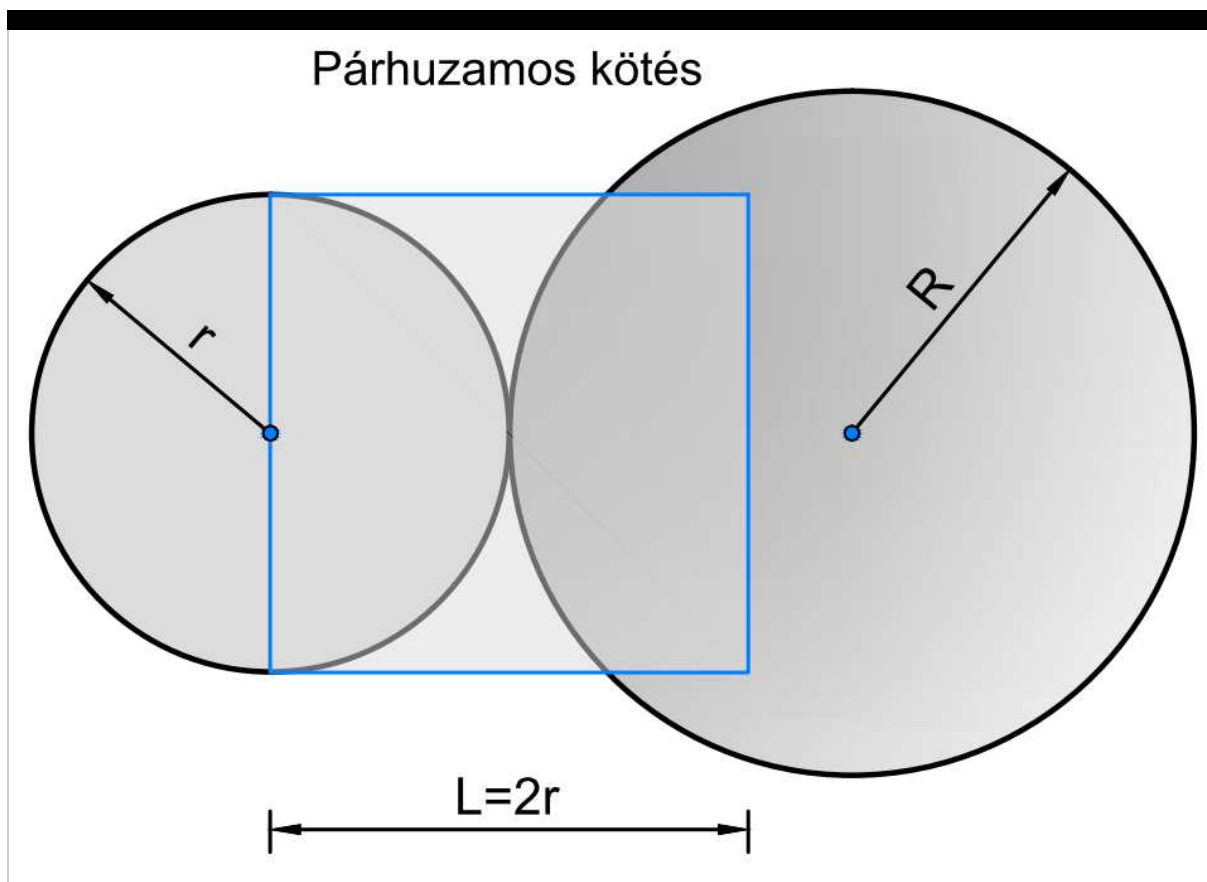
3.2.3. A kötési modell (Bond Model)

Annak érdekében, hogy ne csupán belső kötés nélküli szemcsés anyagokat lehessen modellezni a PFC programban, olyan lehetőség is rendelkezésre áll a felhasználónak, hogy a szimulációban normálirányú igénybevételt, de akár nyomaték bíró kapcsolatokat is létre tud hozni [Fischer, Horvát; 2010].

Részecskék összekapcsolására két kapcsolati kötési modellt használ a program. Az egyik az érintkezési-, a másik a párhuzamos kötési modell. Az előbbi csak erőátadásra képes és végtelen kis területen hat (egy pontban), utóbbi véges méretű területen erők és nyomatékok átadására is alkalmas. Mindkét esetben a kapcsolat felszakad, ha a hozzájuk tartozó erőt túllépjük, vagy a kötési erők értékét nullára állítjuk [Mészöly; 1999].

Az érintkezési kötési modell (Contact-Bond Model) egy rugópárként fogható fel. A csúszási modell ilyenkor nem működik! Két paraméterrel, az érintkezéses kapcsolat normál és nyíró komponensével lehet megadni. A nyíróerőt a nyíró kötési erő, a húzóerőket pedig a normál kötési erő korlátozza. Megszűnik a kötés, ha a húzóerő eléri vagy túllépi a kapcsolat normál erejét, vagy ha a nyíróerő túllépi a kapcsolat nyíró kötési erejét. Ez a kapcsolati erőket nem változtatja meg. A kapcsolat végtelen kis területen, egy pontban jön létre, így nyomaték átadására nem alkalmas.

A párhuzamosan kötött kapcsolatok (Parallel-Bond Modell) opciójával vagyunk képesek modellezni az aszfalt vagy cementes kötésű betonszerkezetek (11. ábra). Ezek nem csak erő, de nyomaték felvételére is képes kapcsolatot biztosítanak a szemcsék között. Úgy kell ezt a típusú kapcsolatot elképzelni, mintha rugalmas ragasztóval ragasztották volna össze a szemcséket. Párhuzamosan kötött kapcsolatoknál is ugyanazok az elvek érvényesek az érintkezések kezelésénél, mint az érintkezéses kapcsolatoknál [Fischer, Horvát; 2010].



11. ábra
A párhuzamos kötési modell

3.3. Csillapítások

A különféle csillapítások célja az, hogy a rendszer mozgási energiáját csökkentsék, részben az egyensúlyhoz való gyors konvergálás érdekében, részben pedig a valóságban is lejátszódó energiadisszipáció modellezése céljából [Bagi; 2008]. Alapvetően kétféle csillapítási eljárást alkalmaznak a BALL-típusú modellek (és így a PFC is), az egyik a lokális a másik pedig a kapcsolati viszkozus csillapítás. Az utóbbi lényegét részletesen bemutattuk a 2.3.4. pontban, ezért most csak a lokális csillapításra térünk ki.

A lokális csillapítás lényege, hogy minden elem mozgásegyenletében az elemekre ható eredőt módosítjuk úgy, hogy hozzáadunk egy csillapítóerőt, amely épp az elem sebességével ellentétes irányú, nagysága pedig a megfelelő erőkomponens adott α -szorososa [Bagi; 2008]. Az i -edik elemre értelmezett lokális csillapítások általános egyenlete:

$$F_i + F_{d_i} = m \cdot \ddot{u}_i \quad (57)$$

$$M_i + M_{d_i} = \Theta \cdot \ddot{\varphi}_i \quad (58)$$

ahol F_{d_i} és M_{d_i} lokális csillapítási erők és nyomatékok, számításuk a következő

képpen történhet 2D-ben [Ardic; 2006]:

$$F_{x,d_i} = -\alpha \cdot \text{sign}(\dot{u}_{x,i}) \cdot |F_{x,i}| \quad (59)$$

$$F_{y,d_i} = -\alpha \cdot \text{sign}(\dot{u}_{y,i}) \cdot |F_{y,i}| \quad (60)$$

$$M_{x,d_i} = -\alpha \cdot \text{sign}(\omega_{x,i}) \cdot |M_{x,i}| \quad (61)$$

$$M_{y,d_i} = -\alpha \cdot \text{sign}(\omega_{y,i}) \cdot |M_{y,i}| \quad (62)$$

ahol α tényező dimenzió nélküli csillapítási tényező. Az α tényezőt a felhasználó választja meg, alapértelmezett értéke a PFC programokban 0,70. Ez a fajta csillapítás azoknak az elemeknek csökkenti leginkább a gyorsulását, amelyek legkevésbé vannak egyensúlyi állapotban [Bagi; 2008].

3.4. Az időintegrálás

Mivel a PFC szoftver explicit időintegrálásos modellel dolgozik, a Δt alatt keletkező elmozdulás-növekményeket a számítás törvényszerűen túlbecsüli – mivel nincsen merevségi mátrix - a pontos megoldáshoz képest (annál jobban, minél nagyobb a Δt intervallumhossz). A kialakuló túlzott elmozdulás-növekmények miatt pedig túl nagy belső erők keletkeznek az elmozdulások irányába, és ezek az erők a következő számítási lépésben mintegy „visszalökik” a rendszert. Ez a jelenség egyfajta oszcilláló mozgást alakít ki, a pontos megoldást jelentő folyamat körül [Bagi; 2008]. A felvázolt kedvezőtlen numerikus jelenséget csökkenthetjük, ha korlátozzuk a felvehető időlépés hosszát (critical time step). A PFC programban egy egyszerű módszerrel becsülik meg a megengedhető időlépés nagyságát, minden számítási ciklusra. A számítás az egy szabadságfokú (ideális lengő) rendszeren (Single Degree-of-Freedom, SDOF) alapul. Az egytömegű ideális lengőrendszer összefüggése a következő:

$$F = m\ddot{x} = -kx \quad (63)$$

A tömegre ható erők összege az alábbi közönséges differenciálegyenletre vezet:

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (64)$$

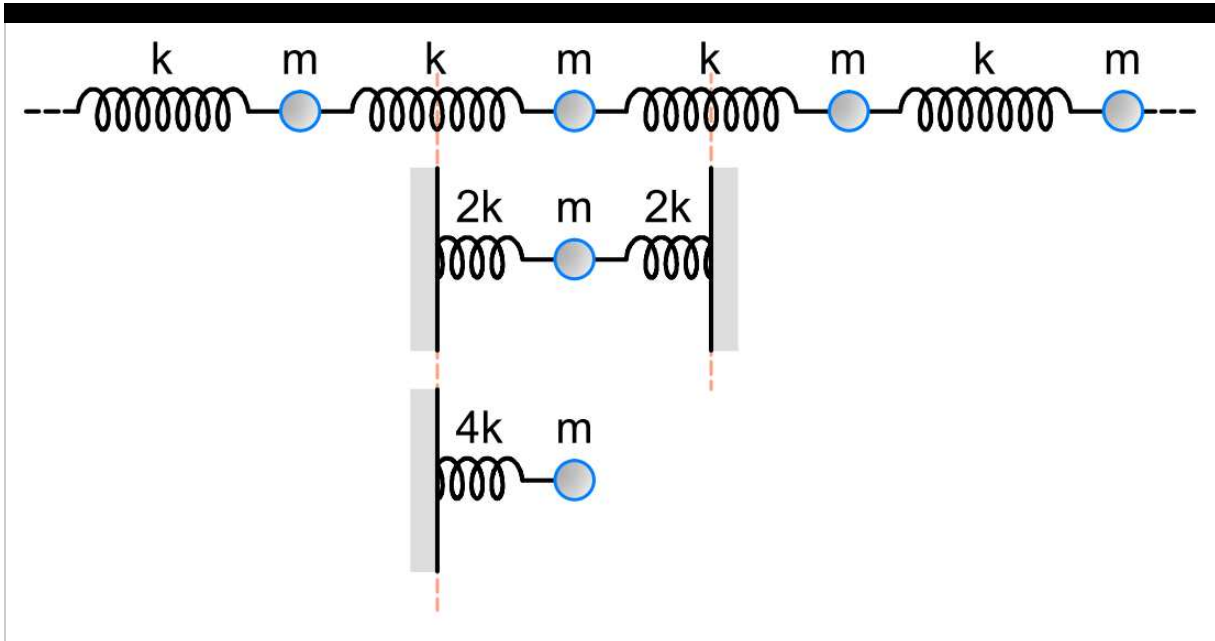
A mozgásegyenlet alapján levezethető kritikus időlépés a következő alakú lesz:

$$\Delta t_{crit} = \frac{T}{\pi} \quad (65)$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (66)$$

ahol m , k és T a rendszer tömege, rúgómerevsége és periódus ideje. A 12. ábrán tömegközéppontok és rugók végtelen sorozatát láthatjuk. Az egyenértékű rendszer kritikus időlépése a fentiek alapján [Behzad; 2012]:

$$\Delta t_{crit} = 2\sqrt{\frac{m}{4k}} = \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (67)$$



12. ábra
Sorba kötött rugórendszer

A bemutatott rendszerhez képest a DEM szimulációk a PFC^{2D} és a PFC^{3D} programokban sokkal bonyolultabb szemcsé és rugó rendszerekből tevődnek össze, továbbá minden szemcsének és rugónak más és más tömege és merevsége van. Így a Δt_{crit} értéket minden egyes szemcsére külön-külön kell meghatározni szabadságfokonként. Az egész rendszer kritikus időlépése (az időlépés megengedhető maximális hossza) pedig mindezek minimuma lesz:

$$\Delta t_{crit} \leq \min_{(p)} \left\{ \min \left(\sqrt{\frac{m^p}{k_{trans}^p}}, \sqrt{\frac{\Theta^p}{k_{rot}^p}} \right) \right\} \quad (68)$$

Ebben a kifejezésben k_{trans}^p és k_{rot}^p a p szemcsé legnagyobb eltolódási ill. elfordulási merevsége (ezek a p elem kapcsolatainak merevségeiből számíthatók), Θ_p pedig a legnagyobb elfordulási merevség irányához tartozó forgási tehetetlenség [Bagi; 2008].

Mint már említettük az eljárás iterációs jellegű, így a dinamikus folyamatok fokozatosan csengnek le, és - ha az egyáltalán kialakulhat - közelítenek az egyensúlyi állapotot. Abszolút

értelemben azonban nem beszélhetünk nyugalmi helyzetről egy összetett modell esetén, mert abban mindig marad némi vibrálás. Ezért célszerű egy olyan határértéket definiálni, amit elérve már egyensúlyi állapotként fogadjuk el az adott helyzetet [Tóth; 2004].

A szemcsék alkotta halmaz mozgási állapotot az úgynevezett „átlagos kiegyensúlyozatlan erő” jellemzi, aminek értékét a program maga frissíti lépésről lépésre. Mozgások ugyanis csak a kiegyensúlyozatlan erők hatására jöhetnek létre. Bármely modellnél felvehető egy megfelelő küszöbérték, amit elérvén az „átlagos kiegyensúlyozatlan erő” értéke már nem történnek számottevő mozgások a halmazban, így leáll a futtatás, a vizsgálat szempontjából egyensúlyi helyzet állt be.

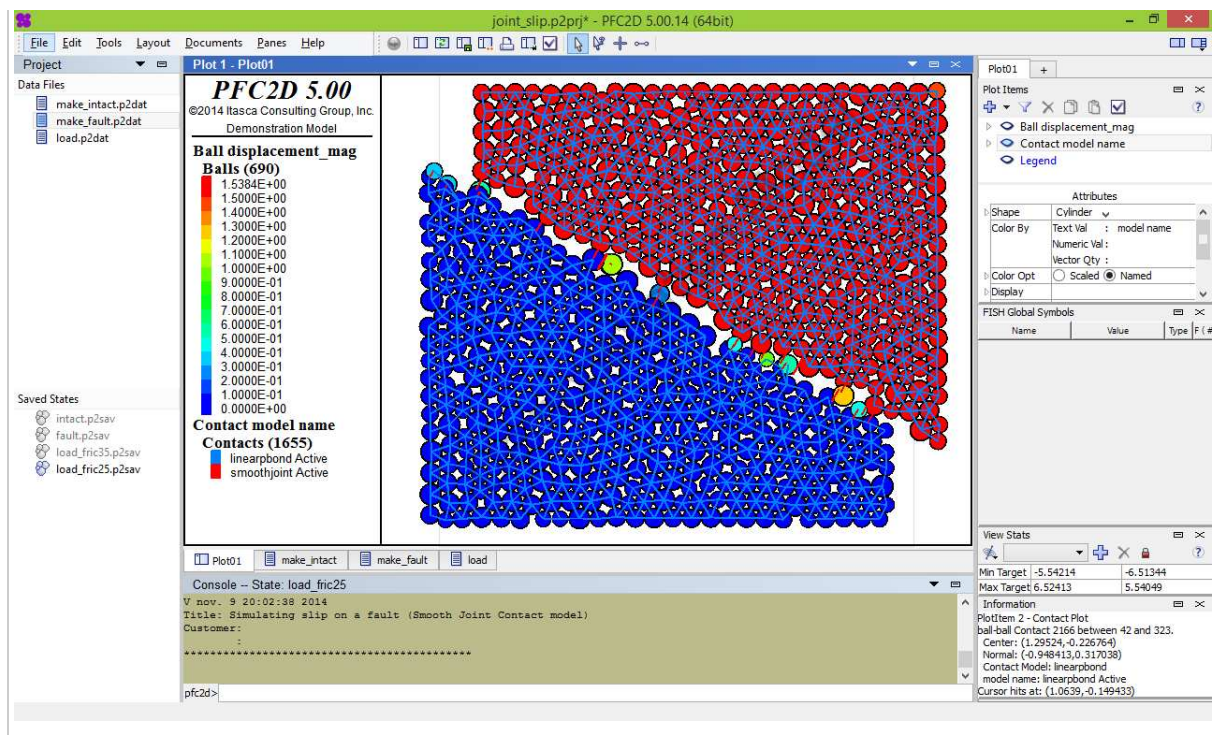
3.5. Mértékegységek

A PFC programban nincsenek előre megkötött mértékegységek, így azokat önkényesen kell definiálnunk. Szabadon megválasztható az idő (pl. sec), a tömeg (pl. g vagy kg), és a hossz (pl. m vagy cm) mértékegysége, és ezekből már egyértelműen következik, hogy mi lesz az erő, a merevségek, a gravitációs gyorsulás stb. mértékegysége. A mértékegységek tisztázása, egyértelmű megadása azért fontos, mert így nyílt lehetőségek a modell paraméter identifikációjára, melynek köszönhetően a modellezni kívánt szerkezet tényleges adatait vihetjük be a rendszerbe, és így a futtatások eredménye is valóságos értékek lesznek (Tóth, 2004).

3.6. Munkakörnyezet

A PFC program használata nem egyszerű, mivel nem grafikus felületen keresztül, hanem parancssorból lehet irányítani. Ennek az az oka, hogy a felhasználóknak teljes mértékben szabad kezét ad a szoftver a szimulációs modell felépítésében. Az időlépéses algoritmuson, valamint a beépített kapcsolati modelleken túl valamennyi folyamatot, az összes szemcse helyét, kapcsolatát, jellemzőit, a gravitációt, stb. a felhasználónak kell definiálnia. Ehhez nagy segítséget jelent a programba beépített úgynevezett „FISH” programozási nyelv, mellyel különféle, a PFC-ben futtatható algoritmusokat lehet megadni [Tóth; 2004]. Egy egyszerű programot mutat be az 13. ábra.





13. ábra

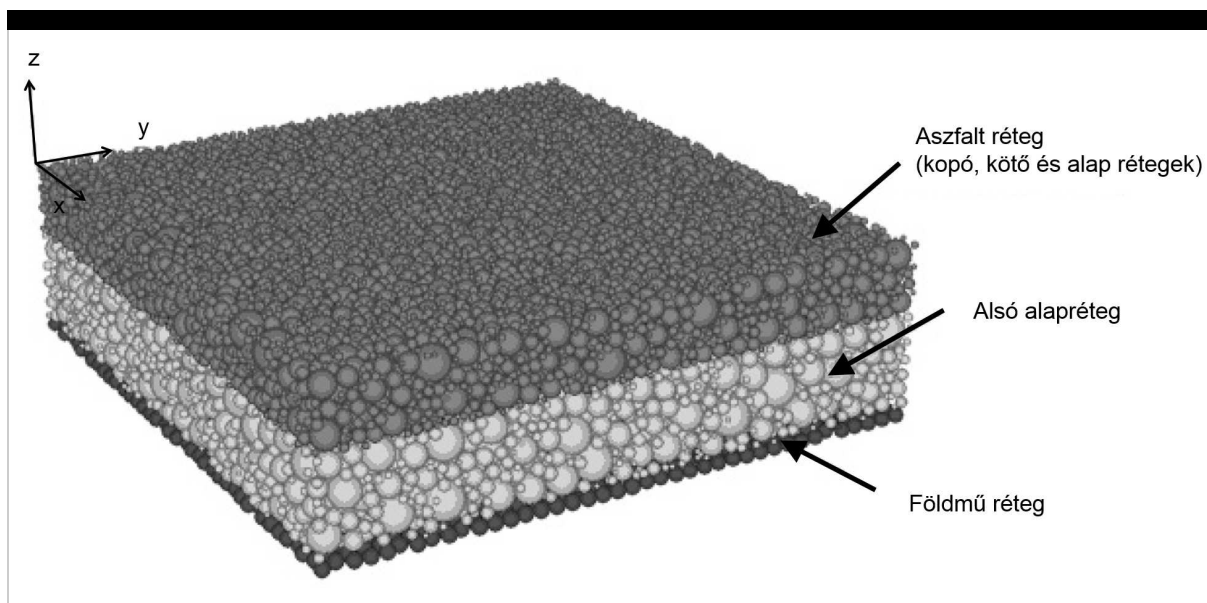
Munka a PFC^{2D} programban

4. Hajlékony útpályaszerkezetek modellezése

A hajlékony útpályaszerkezetek modellezésére mára már számos eljárást kidolgoztak. A legtöbb módszer az útpályaszerkezetet egy rugalmas végtelen féltéren nyugvó többrétegű rendszerként veszi számításba. Az egyik legrégebbi és legelfogadottabb szoftver - ami ezt az elgondolást követi - a SHELL Kutatóközpont által kifejlesztett BISAR (Bitumen Stress Analysis in Roads). A programmal feszültséget, megnyúlást és elmozdulást lehet számolni egy függőleges erővel terhelt rugalmas többrétegű rendszerben. A rétegeket a rétegvastagság, a rugalmassági modulus, a Poisson-féle tényező valamint a rétegek határán értelmezett tapadás jellemzi. Az egész rendszert legalul egy végtelen rugalmas féltér támasztja alá. A kérdés az, hogy az analitikus számítások és a DEM modell eredményei hogyan viszonyulnak egymáshoz?

Dondi és mtsai [2007] tanulmányukban pontosan erre próbáltak meg válaszolni. Elkészítették egy hajlékony (aszfalt) útpályaszerkezet DEM modelljét a PFC^{3D} program segítségével. A most következő megállapítások és eredmények az idézet közleményből származnak. A PFC^{3D} programban a modellezett pályaszerkezet rész szélességét és hosszát egyaránt 2 m-re vették fel, a szerkezet teljes vastagsága pedig 58 cm-re adódott. A pályaszerkezet rétegendje felülről lefele haladva (14. ábra):

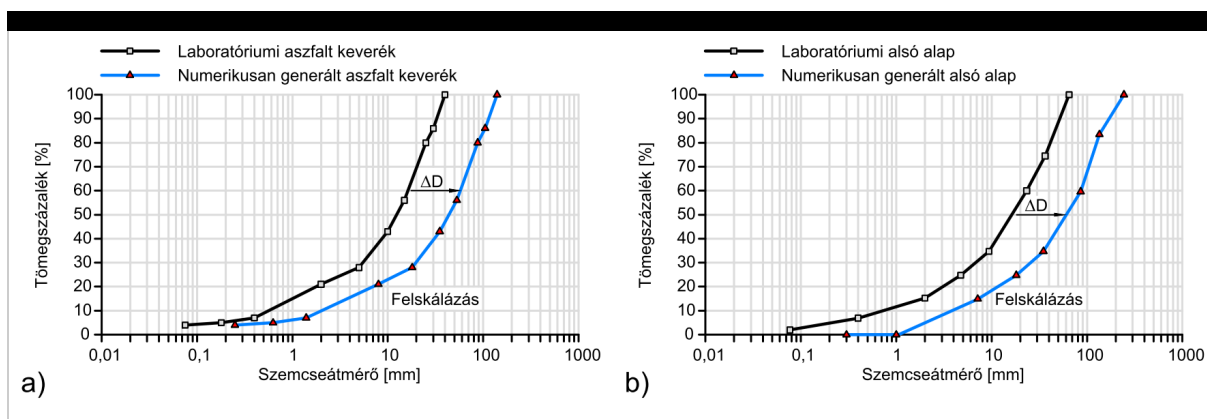
- aszfalt réteg (23 cm),
- szemcsés alapréteg (30 cm),
- és földmű (5 cm).



14. ábra

A hajlékony útpályaszerkezet modellje a PFC programban [Dondi és mtsai; 2007]

A numerikus modell paramétereit a laboratóriumi vizsgálatokból vezették le. A rétegeket alkotó szemcsehalmazokat a szemeloszlási vizsgálat alapján generálták. A generált szemcsehalmazok szemeloszlási görbéjét a laboreredmények felskálázása útján nyerték (15. ábra). A szemcsehalmazok felskálázására azért volt szükség, hogy a rétegek szemcseszámja még kezelhető legyen a számítógépek számára, ezzel csökkentve a számítási időt. Az aszfaltréteget és az alapréteget így is 16800 és 11100 darab szemcse építette fel. A földműt mint legalsó réteget, azonos átmérőjű (2,5 cm) szemcsékből állították össze.



15. ábra

Az aszfaltkeverék és a szemcsés réteg szemeloszlási görbéje [Dondi és mtsai; 2007]

Az aszfaltréteg „rugalmas-viszkózus-képlékeny” anyag. Időfüggő merevsége (az i irányban), a négyparaméteres Burgers-féle modellel írható le (16. ábra):

$$k_i = \left[\frac{1}{K_0^i} + \frac{t}{C_\infty^i} + \frac{1}{K_1^i} \left(1 - e^{-t/\tau^i} \right) \right]^{-1} \quad (69)$$

ahol,

t - terhelési idő,

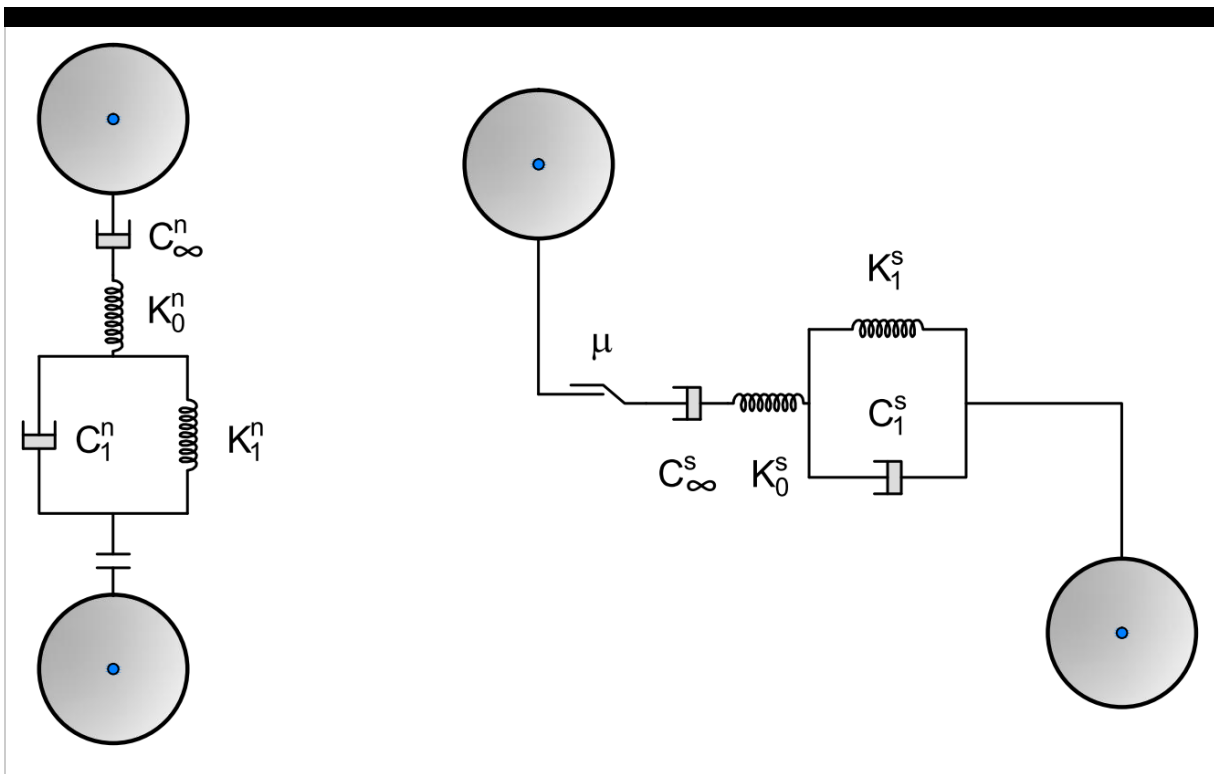
τ^i - relaxációs idő, $\tau^i = C_1^i / K_1^i$,

K_0^i - a Hooke-test rugalmassági modulusa,

C_∞^i - a Newton-test viszkozitása,

K_1^i - a Voigt-Kelvin test rugalmassági modulusa,

C_1^i - a Voigt-Kelvin test viszkozitása,



16. ábra
Burgers-féle modell.

A Burgers-féle modellről magyar nyelven Gömze és Kovács [2005] munkájában olvashatunk. Aszfaltkeverékek diszkrét elemes modellezéséről pedig Linbing [2010] könyvében találunk részletesebb ismertetőt. A kapcsolati modell paramétereit az 1. táblázat foglalja össze.

Normál merevség	k_n	$6,4 \cdot 10^8$ MN/m	Nyíró merevség	k_s	$6,4 \cdot 10^7$ MN/m

K_0^n	$1,0 \cdot 10^9$ MN/m	K_0^s	$1,0 \cdot 10^8$ MN/m
K_1^n	$1,0 \cdot 10^8$ MN/m	K_1^s	$1,0 \cdot 10^7$ MN/m
C_∞^n	$5,0 \cdot 10^7$ MNs/m	C_∞^s	$5,0 \cdot 10^6$ MNs/m
C_1^n	$5,0 \cdot 10^6$ MNs/m	C_1^s	$5,0 \cdot 10^5$ MNs/m

1. táblázat

Az aszfaltréteg modellparaméterei, $T=20^\circ$ [Dondi és mtsai; 2007]

A modell paramétereit önkényesen úgy vették fel, hogy a laboratóriumi vizsgálattal nyert eredmények (görbék alakja és nagysága) egyezzenek a szimulációból származókkal [Collop és mtsai; 2004].

A szemcsés rétegek (alsó alap és földmű) viselkedését rugalmas kapcsolati modellel írták le a laboratóriumi vizsgálatok alapján (2. táblázat). A szemcsék között fellépő súrlódási tényezőt ($\mu = 0,8$) a súrlódási szög ($\varphi = 35^\circ$) alapján becsülték meg. Azért, hogy a számítási időt lecsökkentsék, a földmű anyagának sűrűségét a valódinál nagyobb értékkel vették figyelembe. Ez megegyezik azzal, mintha a földmű szintjét egy állandó függőleges nyomásértékkel terhelnék.

Réteg	k_n , [MN/m]	k_s , [MN/m]
Alsó alap	$3,6 \cdot 10^{10}$	$3,1 \cdot 10^9$
Földmű	$1,6 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^9$

2. táblázat

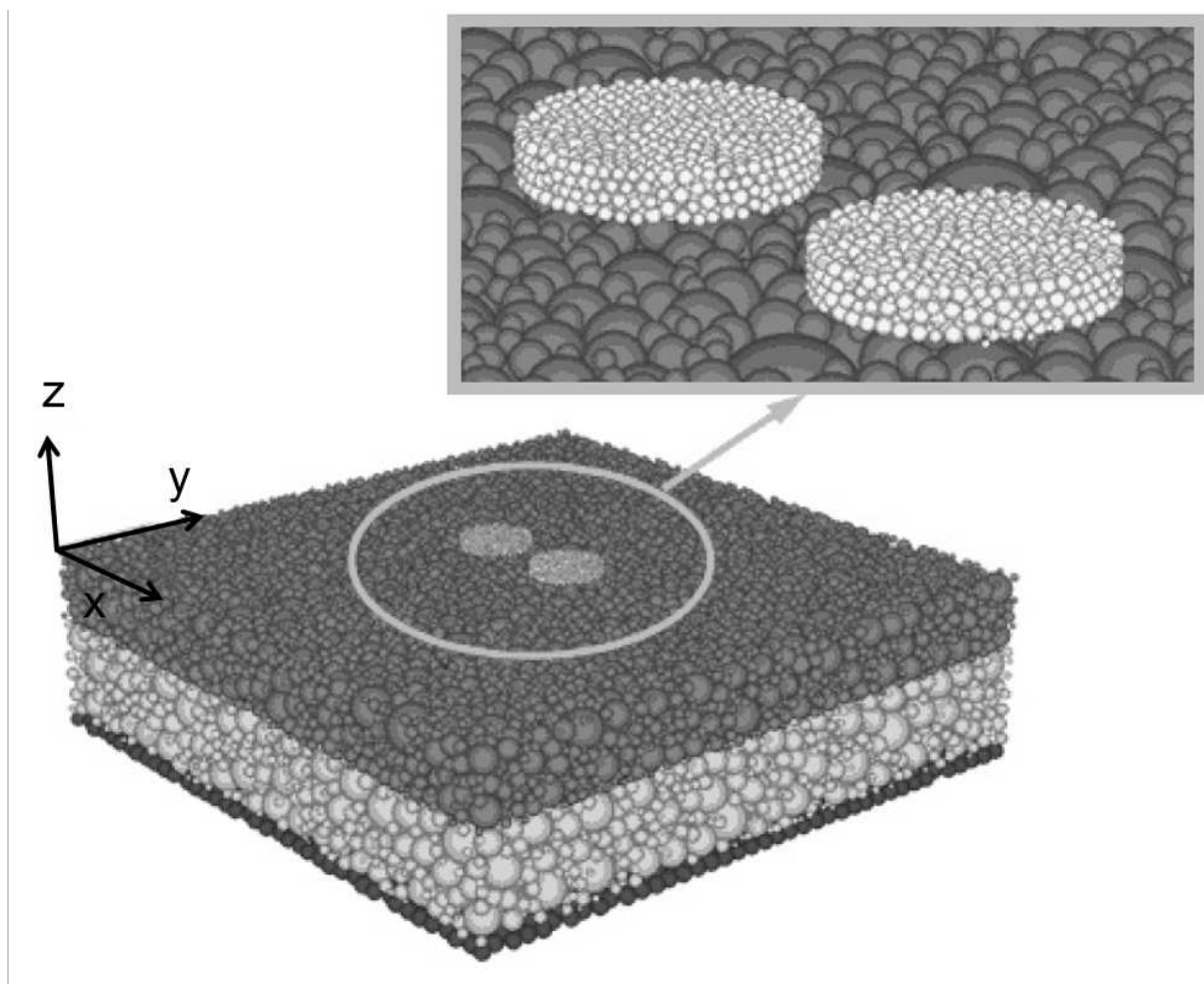
A szemcsés rétegek modellparaméterei [Dondi és mtsai; 2007]

A pályaszerkezetet két kör alakú - szemcsékből felépített - tárcsán keresztül terhelték. A tárcsák közötti távolság 10 cm volt (ikerabroncs). Mindegyik tárcsát 30 kN erő (N) terhelte, sugaruk pedig 0,109 m-re adódott az alábbi képlet alapján (17. ábra):

$$R = [N / (\pi p)]^{0,5} \quad (70)$$

ahol a p keréknyomás 8 bar volt.





17. ábra

A szemcsékből álló terhelési felületek [Dondi és mtsai; 2007]

A tanulmányban bemutatott DEM modell segítségével lehetőség nyílik arra, hogy a pályaszerkezet viselkedését dinamikus terhelés hatására vizsgáljuk. A idő figyelembevételével a pályaszerkezetek leromlási folyamata is jobban megérthető a terhelés nagyságának, sebességének és ismétlődési számának függvényében (pl. keréknyomképződés).

A diszkrét elemes modell felületén átadott terhelés hatására - a szemcsék között - kialakul a kapcsolati erők hálózata. Az időben vizsgálva a folyamatot megfigyelhetjük, hogy a legnagyobb erők a burkolat felületén - az ikerabroncs alatt - jelentkeznek, majd sugárirányban terjedve oszlanak el az egyes rétegekben a mélységgel arányosan. A rendszerben kialakuló elmozdulásokat és feszültségeket a z - x szimmetria síkon a két terhelési felület középvonalában vizsgálták részletesen (18. ábra, 19. ábra). Az aa sík az ikerabroncs és az aszfaltréteg, a bb sík az aszfaltréteg és a szemcsés alapréteg, a cc réteg pedig az alapréteg és a földmű között van értelmezve. A DEM modellel kapott eredményeket a már említett BISAR program segítségével ellenőrizték. A felépített szerkezet BISAR-ban alkalmazott modellparamétereit az 3. táblázat mutatja be. A legutolsó réteg - a végtelen féltér - nagyon magas Young-modulussal és Poisson-féle tényezővel szerepe, hogy a BISAR modell jól egyezzen a DEM modell peremfeltételeivel. A DEM modell esetében az elmozdulásokat és feszültségeket a réteghatároknál nem

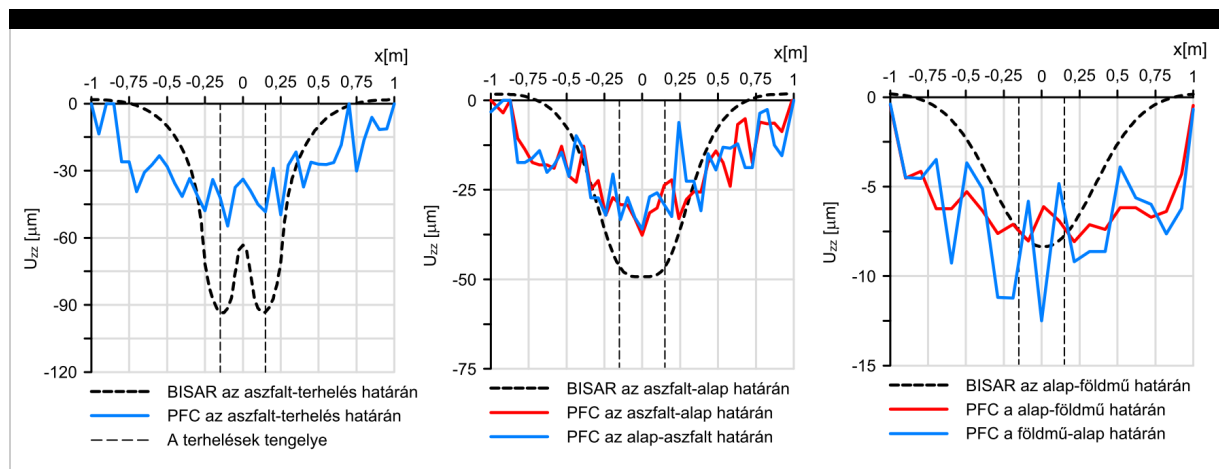
lehet pontosan meghatározni, ezért a határ feletti és alatti rétegek eredményeit együttesen kell értelmezni.

Réteg	Vastagság, [m]	Young-modulus, [MPa]	Poisson-féle tényező, [-]
Aszfalt	0,23	2200	0,35
Alsó alap	0,30	800	0,45
Földmű	0,05	150	0,47
Végtelen féltér	-	10^{12}	0,50

3. táblázat

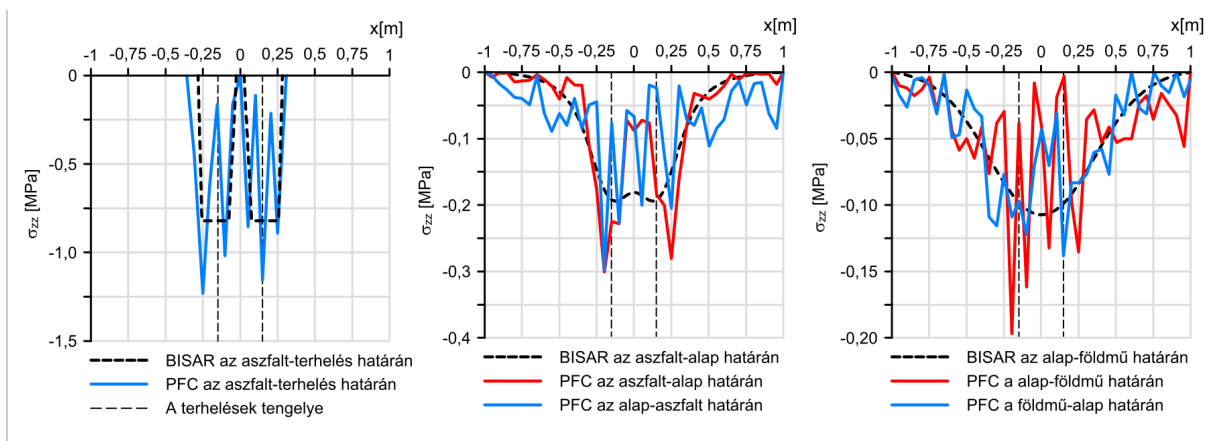
A BISAR programban használt rétetparaméterei [Dondi és mtsai; 2007]

A szimuláció lefuttatása alapján elmondható, hogy a DEM és a BISAR modellek hasonló eredményeket szolgáltatottak. Az elmozdulások és feszültségek eloszlása mindkét számítási módszernél azonos trendet mutattak. A legjobb egyezést a *bb* síkon tapasztalták, szemben a *cc* síkkal. Ezt a szemcsék beékelődéséből származó hatásnak (interlocking effect) tulajdonították. Az alakkal zárás mértéke függ a szemcsék nagyságától és eloszlásától. Mivel a földmű réteg azonos nagyságú szemcsékből áll, ez csökkenti a beékelődés mértékét és így a rétegek együttdolgozását is.



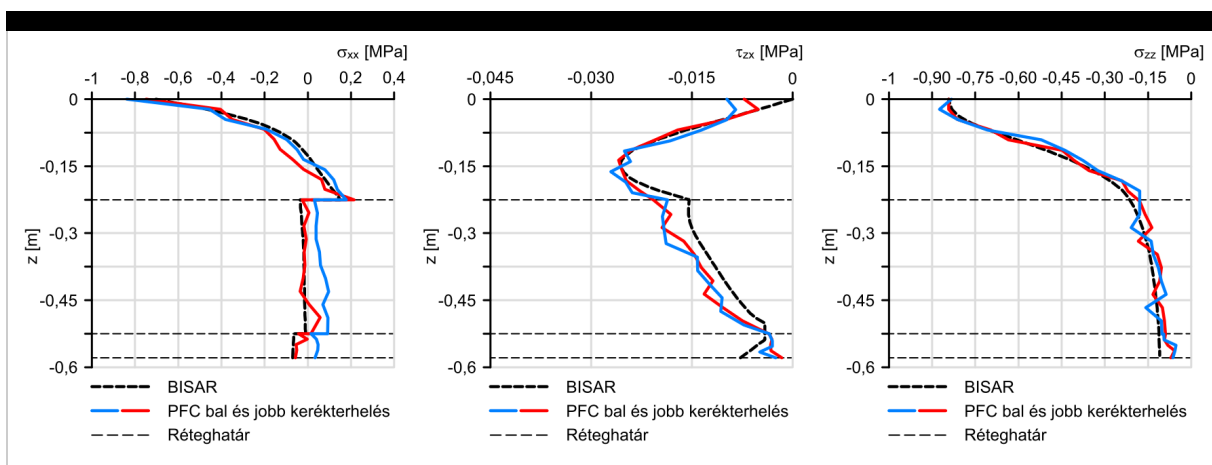
18. ábra

Függőleges elmozdulások a réteghatároknál [Dondi és mtsai; 2007]



19. ábra

Nyomófeszültségek eloszlása a réteghatároknál [Dondi és mtsai; 2007]



20. ábra

Feszültségek a terhelések tengelyében [Dondi és mtsai; 2007]

A pályaszerkezet viselkedését a terhelési felületek tengelyében a z - y síkban is elemezték. A DEM modellből levezett σ_{zz} , σ_{xx} és τ_{zx} feszültségértékeket az 20. ábra mutatja be. Láthatjuk, hogy ebben az esetben is jó egyezést találunk a BISAR programmal. A tanulmány alapján a következő főbb megállapításokat tehetjük:

- A pályaszerkezeti rétegeket alkotó szemcsék felskálázásával nagymértékben csökkenthető a számítási idő anélkül, hogy a numerikus eredmények romlanának.
- Összehasonlítva a BISAR és DEM rendszereket, megállapítható, hogy az adatok jó egyezést mutatnak, így mind kvalitatív és kvantitatív módon is kiértékelhetők az eredmények. Míg a BISAR az elmozdulások és feszültségek „átlagértékével” számol, addig a DEM „csúcsértékekkel” dolgozik, ami jobban megfelel valóságnak.
- A DEM alkalmas valós jelenségek és így útpályaszerkezetek modellezésére is, lehetőséget biztosít általános következtetések levonására. Viszont komoly nehézséget okoz a megfelelő modellállandók meghatározása. A mikroszkopikus és makroszkopikus paraméterek összevetése a szakirodalomban fellelt és laboratóriumi mérésekkel igazolt eredményekkel nem egyszerű feladat. A probléma csak intenzív

kísérleti és kutatási tevékenységgel oldható meg.

- A DEM módszerek hátránya, hogy nagy számítási kapacitást igényelnek, hosszadalmas folyamat a modellek értékelése és ellenőrzése.

5. Összefoglalás

A bemutatott tanulmánnyal az elsődleges célunk az volt, hogy a diszkrét elemes modellezés elvét (annak végtelen merev elemeket alkalmazó speciális változatát) az érdeklődő mérnökök számára összefoglaljuk. Az alapelvek ismeretében reményeink szerint bárki képes lesz saját egyszerű merevelemes (BALL-típusú) DEM modelljét megalkotni, akár saját programozás útján is. Ez utóbbi célt komolyan gondolva, elkezdtük egy ingyenes és nyílt forráskódú DEM rendszer alapjait lefektetni „DEMeter” néven, melynek fejlesztésébe bárki belefolyhat, annak megoldásait átveheti. A fejlesztés még kezdeti fázisban van, de amint elkészül az első működésképes változat, azt az Ütügyi Lapok oldalain közre fogjuk adni.

Ismertetőkben kitértünk a hajlékony útpályaszerkezetek DEM alapú modellezésére a PFC szoftver felhasználásával. Igaz csak felvázoltunk egy lehetséges megvalósítást, mégis abban bízunk, hogy egyre több kutató mérnök fogja a rugalmas útburkolatok viselkedését ezzel a módszerrel tanulmányozni. Röviden bemutattuk a PFC szoftvert felépítését és működési elvét, remélve azt, hogy segíti az érdeklődőket az elindulásban. Természetesen cikkünk nem térhetett ki mindenre, mivel a téma jelenleg is intenzíven kutatott. Azoknak, akik mélyebb ismeretekre szeretnének szert tenni, azt ajánljuk, hogy a cikkünkhöz felhasznált irodalmakat tanulmányozzák át. Kiemeljük ezek közül Mészöly [1999], Nasztanovics és Füstös [2000], Tóth [2004], Bagi [2008], Fischer és Horvát [2010] magyar nyelvű munkáit.

6. Köszönetnyilvánítás

Primusz Péter „Szemcserendszerek diszkrét elemes modellezése a PFC szoftverrel” publikációt megalapozó kutatása a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott.

7. Hivatkozások

Ardic, Ö. (2006): Analysis of Bearing Capacity Using Discrete Element Method. Msc Thesis. Middle East Technical University, Ankara, <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12607866/index.pdf> (Utolsó letöltés: 2014.12.28.)

Arévalo-Mendoza, G., Ramos-Cañón, A., Prada-Sarmiento, L. (2014): Análisis de

- confiabilidad en un modelo de descarga de silos de almacenamiento mediante el Método de Elementos Discretos DEM. (Reliability analysis in an unloading model of silo storage by means of the Discrete Element Method DEM), *Obras y Proyectos* 15, 21-30
- Bagi Katalin (2007): A diszkrét elemek módszere, BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, Budapest, ISBN 978-963-420-929-4, <http://www.epito.bme.hu/me/dolgozok/feltoltesek/kbagi/dem.pdf> (Utolsó letöltés: 2014.12.28.)
- Behzad M. (2012): Discrete element method applied to the vibration process of coke particles, Master of Science (M.Sc.), Université Laval, p.79 <http://www.theses.ulaval.ca/2012/29386/>
- Bojtár I. és Gáspár Zs. (2003): Végeselemmódszer építőmérnököknek, Terc, Budapest, 339 o.
- Collop A.C., Mcdowell G.R. és Lee Y. (2004): Use of the distinct element method to model the deformation behavior of an idealised asphalt mixture, *International Journal of Pavement Engineering*, n. 5, pp. 1-7
- Cozic, L. (2006): 2D Polygon Collision Detection, <http://www.codeproject.com/Articles/15573/D-Polygon-Collision-Detection> (Utolsó letöltés: 2014.10.26.)
- Cundall, P.A. és Strack, O.D.L. (1979): A discrete numerical model for granular assemblies. *Geotechnique*, Vol. 29 (1), pp. 47-65
- Cundall, P.A. és Hart, D.H. (1992): Numerical modelling of discontinua. *Journal of Engineering Computations*, Vol. 9, pp. 101-113
- Czímber K. (2002): Geoinformatika. Elektronikus jegyzet, Sopron, p. 101.
- Deresiewicz, H. (1958): Mechanics of granular matter, *Advances in Applied Mechanics*, volume 5, pp. 233-306
- Dondi G., Bragaglia M. és Vignali V. (2007): Flexible pavement simulation with distinct particle element method, 4th International Siiv Congress – Palermo (ITALY), 12-14 september
- Dulácska E., Fekete S. és Varga L. (1982): Az altalaj és az építmény kölcsönhatása, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 330
- Fischer Sz. és Horvát F. (2010): A georács erősítésű vasúti zúzottkő ágyazat diszkrét elemes modellezési lehetőségei, *Közlekedésépítési szemle*, (60. évf.) 8. sz. 20-29. old.
- Gömze A. L. és Kovács Á. (2005): Aszfaltkeverékek reológiai tulajdonságainak vizsgálata In: *Építőanyag : a finomkerámia-, üveg-, cement-, mész-, beton-, téгла- és cserép-, kő- és kavics-, tűzállóanyag-, szigetelőanyag-iparágak szakmai lapja*, ISSN 0013-970x, (57. évf.) 2. sz. 34-38. old.

Itasca (2008): PFC3D Version 4.0 Theory and Background. Manual.

Jakob, C. és Konietzky, H. (2012): Particle Methods, An Overview, Technical University Bergakademie Freiberg, p. 23

Kun F. (2011): Számítógépes modellezés és szimuláció, Debreceni Egyetem, Elméleti Fizikai Tanszék, Debrecen

Linbing W. (2010): Mechanics of Asphalt, Microstructure and Micromechanics, The McGraw-Hill Companies, Inc, p.464, ISBN: 978-0-07-164097-8

Mészöly T. (1999): Silóvizsgálat mikroszerkezeti modell segítségével, TDK, BME, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, Budapest

Mindlin, R.D. és Deresiewicz, H. (1953): Elastic Spheres in Contact under Varying Oblique Forces, ASME Journal of Applied Mechanics, Vol. 20, pp. 327-344

Nagy A. (2011): Fejlett grafikai megoldások, egyetemi tananyag, ISBN 978-963-279-516-4

Nasztanovics F., Füstös A. (2000): Lyukkal gyengített tárcsa feszültségeloszlásának numerikus vizsgálata. TDK, BME, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, Budapest, http://store.naszta.hu/articles/2000_01.pdf (Utolsó letöltés: 2014.12.28.)

O'Sullivan, C. (2011): Particulate Discrete Element Modelling: a Geomechanics Perspective. Spon Press, Taylor&Francis

P.A. Cundall, O.D.L. Strack (1979): A discrete numerical model for granular assemblies. Geotechnique, pages 47-65. DOI 10.1680/geot.1979.29.1.47

Scholtès L. (2009): Modélisation micromécanique des milieux granulaires partiellement saturés. PhD thesis at Institut National Polytechnique de Grenoble.

Scholtès L., Chareyre B., Nicot F., Darve F. (2009): Micromechanics of granular materials with capillary effects. International Journal of Engineering Science (47), pages 64-75. DOI 10.1016/j.ijengsci.2008.07.002

Shäfer, J., Dippel, S. and Wolf, D.E. (1996): Force schemes in simulations of granular materials, Journal de Physique, Number I, Volume 6, pp. 5-20

Szabó A. és Gyenes Cs.: Térfelosztó algoritmusok és térbeli adatszerkezetek, <http://goo.gl/G8Wwto> (Utolsó letöltés: 2014.10.26.)

Szirmay-Kalos László, Antal György, Csonka Ferenc: Háromdimenziós grafika, animáció és játékfejlesztés ComputerBooks, 2003.

Tóth A. R. (2004): Falazott ívek vizsgálata DEM segítségével, TDK, BME, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, Budapest, <http://goo.gl/LfnTFa> (Utolsó letöltés: 2014.10.26.)

Van Baars, S. (1996): Discrete Element Analysis of Granular Materials, Dissertation,

University of Technology Delft

Varga I. (2002): Oktató program fejlesztése a „Számítógépes fizika” tantárgyhoz, Debreceni Egyetem, Elméleti Fizikai Tanszék, Debrecen, <http://goo.gl/ua3bG6> (Utolsó letöltés: 2014.10.26.)

Wikipedia:

- <http://hu.wikipedia.org/wiki/Reológia>
- <http://hu.wikipedia.org/wiki/Rezgés>
- <http://hu.wikipedia.org/wiki/Súrlódás>
- <http://hu.wikipedia.org/wiki/Körmozgás>

Adatok

Megjelent itt

4. szám

2014. ősz



Szerző

Primusz Péter

Okleveles erdőmérnök és mérnök informatikus.

Témakörök

Földművek • Kiemelt • Útépités

Kulcsszavak

dem • diszkrét elem • Modellézés • pfc • útpályaszerkezet

Befogadva

2015. január 8.

Hozzászólás

* Név	<input type="text"/>
* Email	<input type="text"/>
Honlap	<input type="text"/>
Hozzászólás	<input type="text"/>
<input type="button" value="Hozzászólás elküldése"/>	

[Bejegyzések](#)

[Galéria](#)

[Impresszum](#)

[Interjúk](#)

[Könyvajánló](#)

[Nemzetközi szemle](#)

[Témakörök](#)

© Copyright **Útügyi Lapok** 2013 • Minden jog fenntartva.



Mi a fenntartható – és mi nem az: közúti beruházások fenntarthatóságának objektív értékelési rendszerei

Szerző(k) **Tóth Csaba és Soós Zoltán**

Kivonat

A fenntartható fejlődés/fejlesztés megvalósítása vitathatatlanul az emberiség jelenleg ismert legfontosabb feladata. A magyar szakirodalomban „fenntartható”-ként szereplő fogalomhoz több jelentés-árnyalat is társult, mint a környezettudatosság vagy az energiatakarékosság, ami egyértelmű környezeti-természeti megvilágításba helyezi a kérdést. Ehhez képest mintha az üzleti szakma – köszönhetően a közelmúlt üzleti előadásában és a „Fenntartható utak” címen megjelent tanulmányban használt megfogalmazásoknak – fenntarthatóság alatt az útgazdálkodásban használt „maintenance” tárgykörét értené, ami a valódi „sustainable” elemek háttérbe szorítását eredményezi.

Cikkünkben olyan objektív értékelési rendszereket mutatunk be, melyeket közúti beruházások objektív értékelésére fejlesztettek ki szociális, környezeti és gazdasági szempontok figyelembe vételével. E dinamikusan fejlődő rendszerek összetett szempontrendszereken keresztül képesek adott beruházások valódi fenntarthatóságát jellemezni, így fejlett országok üzleti adminisztrációi számára valóban használható információt szolgáltatnak.

1. Bevezetés

A fenntartható fejlődés/fejlesztés megvalósítása vitathatatlanul az emberiség jelenleg ismert legfontosabb feladata, amelynek célja „úgy elégíteni ki a jelen szükségleteit, hogy ne veszélyeztessük az eljövendő generációk lehetőségét arra, hogy ők is kielégíthessék a szükségleteiket”.

Ismert tény, hogy közlekedési szektor rendszerint kiemelt helyet szerez a károsanyag-kibocsátási listákon. E környezetterhelés jelentős része szorosan a közlekedéssel, azon belül a közúti közlekedéssel függ össze. A közlekedési ágazaton belül a környezetterhelésnek mintegy 10%-a közvetlenül az infrastruktúrához köthető, annak megépítésétől kezdve az élettartamának végéig, azaz a teljes életciklusa alatt. Könnyen belátható, hogy a fenntarthatóság ennek megfelelően útpályaszerkezetek esetén is értelmezhető, az életciklusa során például egy autópályának is ki kell elégítenie a társadalmi fejlődésből és gazdasági növekedésből adódó funkcionális követelményeket, de ugyanakkor csökkentenie kell a környezetre gyakorolt negatív hatásokat és a természeti erőforrások felhasználását.

A fenntartható utak és burkolatok tehát jól elkülöníthető és szervesen hozzátartozó részét képezik fenntartható közlekedésnek, azonban ennek a kutatása viszonylag új tudományterület. Az útpályaszerkezetek és maga az infrastruktúra fenntarthatóságát tekintve, általános, formálódó irányelvek már rendelkezésre állnak egy egységes fenntarthatósági koncepciót illetően. Innovatív műszaki megoldásokra, úttörő értékelési rendszerre, főként az Egyesült Államokban és Angliában találunk követhető példát. Emellett az USA-ban találkozhatunk jellemzően állami üzleti adminisztrációk által, saját használatra fejlesztett - egyébként nyilvános és hozzáférhető - modellekkel is. Az elmúlt időszakban több - különböző részletességű - értékelési rendszer jelent meg, melyek célja minősíteni konkrét projektek, közlekedésfejlesztési- vagy akár üzemeltetési-fenntartási stratégiák fenntarthatóságát. Céljuknak megfelelően, amíg a magyar útügyben meg nem jelennek, és szakszerű magyar elnevezést nem kapnak, nevezzük ezen rendszereket „zöld értékelési rendszereknek”.

Nem mehetünk el szó nélkül azonban a mellett, hogy a „fenntartható utak” mint fogalom egyre gyakrabban és a fenntarthatóság valódi és eredeti jelentésétől egyre inkább elszakadva kezd feltűnni a szűkebb szakmai közbeszédben. A „sustainable” fogalma évtizedek óta az urbanisztikai publikációktól a környezet-gazdaságtani terminológiáig egyértelműen „fenntartható”-ként szerepel a magyar nyelvű szakirodalomban és ezidáig a fogalomhoz szükségképpen számos – az angol kifejezéssel megegyező jelentés-árnyalat is társult, pl. környezettudatosság, energiatakarékosság, stb...- különösebb magyarázat és körülírás nélkül.

Köszönhetően azonban a közelmúlt üzleti előadásainak és a „Fenntartható utak” címen megjelent tanulmány

szándékos vagy véletlen szójátékának, az útgazdálkodásban használt „maintenance” fogalmával összemosódva, tágulni látszik a „sustainable pavement/highway/road” fogalma, ami szükségképpen jövőbeni félreértéseket okoz ezen újonnan kialakult tudományterület magyar nyelvű publikációiban. Be kell látni azonban, hogy a tanulmány - egyébként hasznos és innovatív tartalma mellett - még nyomokban is alig tartalmaz „sustainable” elemeket, jellemzően csak az elmúlt évek, évtizedek alatt felhalmozott innovációs lemaradásunkat tárgyalja és „festi zöldre”. Bölcs előrelátás lenne úgy elégíteni ki a jelen - *szakmapolitikai* - szükségleteit, hogy ne veszélyeztessük más tudományterületek képviselőinek lehetőségét arra, hogy a jövőben ők is kifejezhessék magyarul is mondanivalójukat. Ennek szellemében mi az alábbiakban a fenntarthatóság kifejezését konzervatív módon eredeti, szűkített értelmében kívánjuk használni.

2. Zöld értékelési rendszerek

2.1. Áttekintés

A fenntarthatóságot értékelő rendszerek elsősorban ott jelentek meg és terjedtek el, ahol a meglévő gazdasági szempontok mellett társadalmi (politikai) nyomás is megjelent projektek fenntarthatóbbá tételére, a környezeti hatások figyelembe vételére, és anyagi források egészítették ki az erősödő környezettudatosságot.

Az egyes üzleti és közlekedésügyi intézmények kezdeti példamutatása után kisebb-nagyobb tervező és beruházó vállalatok is egyre gyakrabban vetik alá projektjeiket valamely értékelési rendszernek. Az értékelő szervezetek szerint a minősítés megszerzése ugyanis konkrét előnyökkel is jár:

- a fenntarthatósági tanúsítványok megszerzése jól használható „zöld”-marketinget jelent, elkötelezettséget bizonyít a fenntarthatóság iránt,
- a projektek gyenge pontjainak azonosításán keresztül költségmegtakarítás érhető el a kivitelezés során, vagy az üzemeltetés oldalán,
- a magas pontszámra való törekvés során olyan megoldások is előtérbe kerülnek, melyek fenntarthatóbbak, de eredetileg nem kaptak volna (megfelelő) hangsúlyt,
- az értékelési rendszerek általában konkrét javaslatokat is tartalmaznak a gyenge pontok javítására, így hosszabb távon alkalmazható, „best practice” tudás-átadás is megvalósul.

Fentiekkel egyetértve is fontos kiemelni, hogy a fenntarthatóság erősítésével egy-egy projekt esetében összességében költségnövekedésre lehet számítani.

Az utak fenntarthatósági értékelő rendszerei közül szinte valamennyi az amerikai USGBC által kifejlesztett LEED értékelési szempontrendszerre alapul. A LEED rendszer épületek fenntarthatóságát vizsgálja egy összetett szempontrendszeren keresztül, és adott esetben tanúsítványt is ad a megszerzett pontoktól függően. Már több, mint 35 000 LEED-értékelt projekt létezik.



Általánosságban elmondható, hogy az egyes rendszerek figyelembe veszik a felszíni és felszínalatti vizeket, a csapadékvizek elvezetését és kezelését, a hulladékok és építési anyagok mennyiségét és újrafelhasználását, a felhasznált energiát és üzemanyagokat, akár építés és üzemeltetés alatt. Emellett a bemutatott rendszereknek vannak egyedi elemeik is – így némelyik külön pontozza az LCCA vizsgálatok elvégzését, a történelmi örökség védelmét, az akadálymentesítést, vagy akár az új munkahelyek teremtését is. Az értékelés végeredménye és célja valamilyen minősítés elnyerése, melyet az ISO tanúsítványokhoz hasonlóan lehet felhasználni, de fontos a projektek gyenge pontjainak megtalálása és javítása is. A vizsgált értékelési rendszerek egyelőre önkéntes alapúak. A környezettudatosság növekvő népszerűsége azonban valószínűsíti, hogy az ilyen típusú értékelés, az LCCA elemzésekhez hasonlóan, gyors elterjedést követően kötelezően alkalmazandóvá válhat. Egyelőre a zöld

értékelési rendszerek fő hozadéka a környezet és a fenntarthatóság iránti elkötelezettséget tanúsító elismerés, mely „jól néz ki”, jól használható marketing fogásként is. Emellett azonban esettanulmányok is mutatják, hogy a pontszerzésre törekedve az érintettek korábban kihasználatlan lehetőségeket is kiaknáznak. Könnyen belátható, de sokszor elnagyolt részletek, mint a tanúsított beszállítók keresése, a szállítási távolságok vagy a földmunka jobb optimalizálása vagy a megnövekedett arányú újrahasznosítás már közép-, de akár rövidtávon is közvetlen költségmegtakarítást eredményezhet.

2.2. Greenroads

A Greenroads egy amerikai nonprofit szervezet, melyet 2010-ben a University of Washington szakemberei alapítottak. Az értékelő rendszert elsősorban amerikai környezetre fejlesztették, de világszerte alkalmazható. Bármely útépitési projekt értékelésére alkalmas, beleértve az építést, újjáépítést és rehabilitációt is – projekt-szinten. A fejlesztés fő szponzorai között közlekedési kutató intézeteket és állami közlekedésügyi adminisztrációkat is megtalálunk. Mára már több, mint 120, mintegy 5,7 mrd\$-nyi projekt értékelésére használták, hét országban.



A „zöld utat” olyan útépitési projektként definiálja, amelyet a jelenleg általános gyakorlatnál (törvényileg előírt követelmények betartásánál) lényegesen magasabb fenntarthatósági szinttel terveznek és építenek meg. A nonprofit jellegnek köszönhetően az értékelési rendszer szempontjai, az értékelés folyamata online hozzáférhető, egyedül a „bizonyítvány” kiállításáért kell fizetni – 3 m\$ alatti projekteknél mintegy 5000\$-t, e fölött a projekt költségével arányosan.

A tanúsítvány megszerzése szintén online folyamatban történik. A minősítéshez szükséges dokumentumok (bizonyítékok) feltöltése, azok valódisága a projektmenedzsment egy kijelölt tagjának feladata és felelőssége. A felek folyamatos kapcsolatban állnak a Greenroads által kijelölt „*Reviewer*” által, aki az értékeléssel kapcsolatos technikai problémák megoldásában is segíti a projekt-menedzsmentet. A bírálón felül a szervezet nagy értékű, összetett és/vagy nemzetközi projektek esetében „*Trainer*”-t is rendel a projekthez. A Trainer a projekt teljes időtartama alatt rendelkezésre áll (akár személyesen) és azt teljes mélységében átlátja, azaz a Reviewer-hez képest sokkal több időt fordít az értékelendő projektekre. (A Trainer és a Reviewer adott esetben lehet ugyanaz a személy.)

Az értékelés során a projektet a kötelező Project Requirements (1. ábra) és a Voluntary Credits (2. ábra) szempontjai alapján értékelik.

Projekt-követelmények (11 kötelezően betartandó)

1. Környezeti értékelés (~hatástanulmány)
2. Életciklus-költség elemzés (LCCA és CBA)
3. Életciklus energia és kibocsátás elemzés (LCI)
4. Minőségirányítási terv
5. Zajcsökkentési terv
6. Hulladékkezelési terv
7. Környezetszennyezés-megelőzési terv
8. Csapadékvízgazdálkodási terv (LID)
9. Burkolatgazdálkodási terv
10. Helyszín karbantartási terve
11. Oktatás és tudástranszfer

1. ábra

Greenroads kötelező Projekt-követelmények

Megjegyzés: LCCA – Lifecycle Cost Analysis: életciklus-költség elemzés; CBA – Cost-Benefit Analysis: költség-haszon elemzés; LCI – Lifecycle Inventory: energiafelhasználás és globális felmelegedési faktor (GWP – Global Warming Potential); LID – Low Impact Development: csapadékvizek kezelését tartalmazó terv.

A Projekt-követelmények nagyrészt olyan, meglévő műszaki szabályozásokban rögzített előírásokon alapulnak, melyek betartása sokszor csak kiemelt beruházások esetében kötelező, vagy csak ajánlások. Ezeket az egyébként nem-kötelező ajánlásokat a minősítéshez kötelezően teljesíteni kell, de mivel minimum-követelmények, nincs hozzájuk pontszám rendelve. A projekt-követelményeket minden egyes tanúsított projektnek teljesítenie kell, így ez már önmagában is kiemelné a minősített projekteket. A Projekt-követelmények az értékelt projektek „közös vonásaként” is értelmezhetőek.

Önkéntes rész (max. 108+10 pont)	21p Környezet és vizek	2p. – ISO 14001 minősített kivitelező 3p. – Csapadékvizek mennyisége 3p. – Csapadékvizek minősége 1p. – Lefolyó vizek tisztító létesítmények LCA 3p. – Öntözést nem igénylő, honos növényzet beépítése 3p. – Érintett élőhelyek helyreállítása 3p. – Élőhelyek összekapcsolása 3p. – Fényszennyezés
	30p Hozzáférhetőség és esélyegyenlőség	2p. – Független biztonsági audit 5p. – ITS kiépítése 5p. – Közlekedési és közösségi igények összehangolása 5p. – Közlekedési emissziók csökkentése 2p. – Gyalogos közlekedés létesítményei és elsőbbsége 2p. – Kerékpáros közlekedés létesítményei és elsőbbsége 5p. – Carpooling és HOV ösztönzése (dedikált sávok, stb.) 2p. – Környezeti értékű pihenőhelyek létesítése/kapcsolása 2p. – Kulturális jellegű célpontok útirány jelzése
	14p Kivitelezési tevékenységek	2p. – ISO 9001 minősített (generál) kivitelező 1p. – Környezetvédelmi tréning 1p. – Helyszíni újrahasznosítási terv, hulladék-minimalizálás 2p. – Fosszilis üzemanyagok csökkentése 2p. – Légszennyezés csökkentése 1p. – Útburkolással kapcs. emissziók csökkentése 2p. – Építés alatti vízfelhasználás követése 3p. – Kivitelezési garanciák, és figyelembevételük a tendereken
	23p Anyagok és erőforrások	2p. – ISO-LCA vagy Hybrid EIO készítése ISO 14040 szerint 5p. – Pályaszerkezet újrahasznosítása 1p. – Földmunka egyensúly optimalizálás 5p. – Újrahasznosított anyagok maximalizálása 5p. – Helyi anyagok preferálása 5p. – Energiahatékonyság a közvilágításban
	20p Burkolat-technológiák	5p. – Hosszú élettartamú burkolat 3p. – Vízáteresztő burkolat 3p. – WMA (Warm Mix Asphalt – mérs. meleg aszfalt) alkalm. 5p. – Hősziget-effektus és lefolyó vizek hőm. minimalizálás 3p. – Zajcsökkentő burkolatok alkalmazása 1p. – Burkolat teljesítmény monitoring
	10p Egyéb, egyéni	10p – Bármilyen, adott helyzetben releváns újítás, előíráson felül kitzűzött cél, bármely fenti kategórián túlmutatóan.

2. ábra

Greenroads: Önkéntes értékelési szempontok

Megjegyzés: LCA – Lifecycle Assessment; Carpooling – az egyéni utazások (munkába járás, gyerekszállítás stb.) összeszervezése; HOV lane - High Occupancy Vehicle: magaskihasználtságú járművek által használható forgalmi sáv; EIO – Economic Input-Output lifecycle assessment; WMA – Mérsékelt melegaszfalt.

Az adott projekt tanúsított fokozata az önkéntes részben megszerzett pontok arányától függ. Az összesen megszerezhető 108+10 pont eloszlása, az egyes blokkok tartalmát és súlyát mutatja a 2. ábra.

Az egyes kérdésekre legtöbb esetben egyszerű „1 pont, ha..” szerkezetben dönthetőek el, de előfordul számszerű értéktől vagy aránytól (pl. a mart aszfalt újrahasznosítása, RAP %-os arányától) függő pontozás is. Érdekesség az „Egyéb, egyéni” címmel relatíve nagy arányban adományozható 10 pont. Ez olyan újszerű ötletekre vagy módszerekre adható, melyek bizonyíthatóan növelik fenntarthatóságot, de a meglévő kategóriákban nincsenek megfogalmazva. A bónusz rész célja, hogy nem kategorizálható, de kiváló megoldások is felszínre kerüljenek, Best-practice-szé váljanak.

Az értékeléshez szükséges dokumentumokat online felületen kell eljuttatni a szervezet számára. Ezt követően a Greenroads munkatársai átnézik a dokumentumokat, értékelik a szempontokat. A pontok alapján minősítést kaphat a projekt, mely ellen a menedzsmentje természetesen fellebbezhet, észrevételt tehet.

A megszerzett minősítést a projektek két lényeges feltétel teljesítésével tarthatják meg. A Greenroads szervezet gyakorlatilag bármikor auditot tarthat a projekt tervezése, kivitelezése és üzemeltetése során. A másik szempont a monitoring, és két egyenértékű lehetőség választható:

- online kérdőív alapú, önkéntes, éves jelentés, kapcsolódó bizonyítékok megküldésével.
- audit alapú, kötelező, ötéves felülvizsgálat, kapcsolódó bizonyítékok és dokumentációk előzetes megküldésével azok előzetes és helyszíni felülvizsgálatával.



Az önkéntes részben megszerzett pontok alapján a Greenroads minősítést ad ki, melyet pl. az ISO minősítésekhez hasonlóan lehet felhasználni, és hasonlóan, szabályos időközönként felülvizsgálni.

2.3. CEEQUAL

A CEEQUAL értékelési rendszert 2003-ban fejlesztette ki egy, az ICE által vezetett csoport az Egyesült Királyságban. A csoport tagjai között az építőmérnöki szakterület széles skálája képviseltette magát: számos kivitelező és tervező, valamint tanácsadó vállalat, kormányzati szervek, szakmai egyesületek, ipari szervezetek. Néhány pilot-projekt utáni finomítást követően 2004 júniusában hivatalosan is megjelent a CEEQUAL értékelési rendszer. A Greenroads-hoz hasonlóan a rendszer elsősorban hazai – angol és ír – környezetre készült, ám 2011-ben széleskörű nemzetközi érdeklődést követően a rendszerbe beépítették a területi, éghajlati, környezeti, erőforrásbeli és kulturális környezethez való testreszabhatóságot, így nemzetközi környezetben alkalmazhatóvá tették.

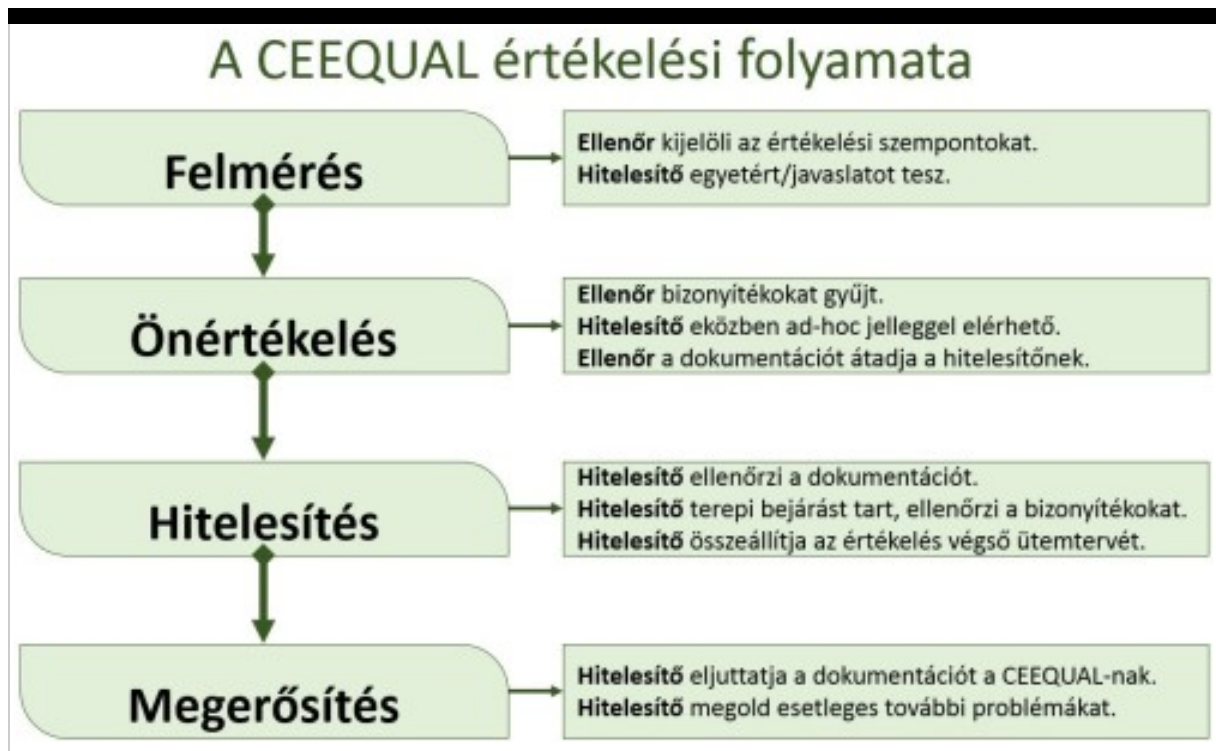


A CEEQUAL pontszám az adott projekt elhelyezkedését jellemzi a törvényileg minimálisan előírt szint és az elérhető legfenntarthatóbb megoldást összekötő képzeletbeli skálán.

A 2004-es start óta összesen mintegy 23 mrd£ értékű projektet értékelték. Az értékelés díja a projekt értékétől függ: pl. Angliában és Írországbán 1 m£ alatt £3955, majd 1 milliárd font értékű projektértéknél fokozatosan eléri a £39700-ot. A díj e felett már egyedi elbírálás alapján dől el, illetve projekt-költségtől függetlenül nemzetközileg eltér.

Érdekesség, hogy Magyarország a 3 kialakított díjzóna egyikében sem kapott helyet, míg pl. Bulgária, Moldova, Románia, Ukrajna és számos közel-keleti ország igen.

Az értékelés folyamatában a szervezet által képzett és igazolt ellenőr (aki lehet az adott vállalat kiképzett dolgozója is) és Hitelesítő vesz részt közvetlenül. A folyamatot a 3. ábra mutatja.

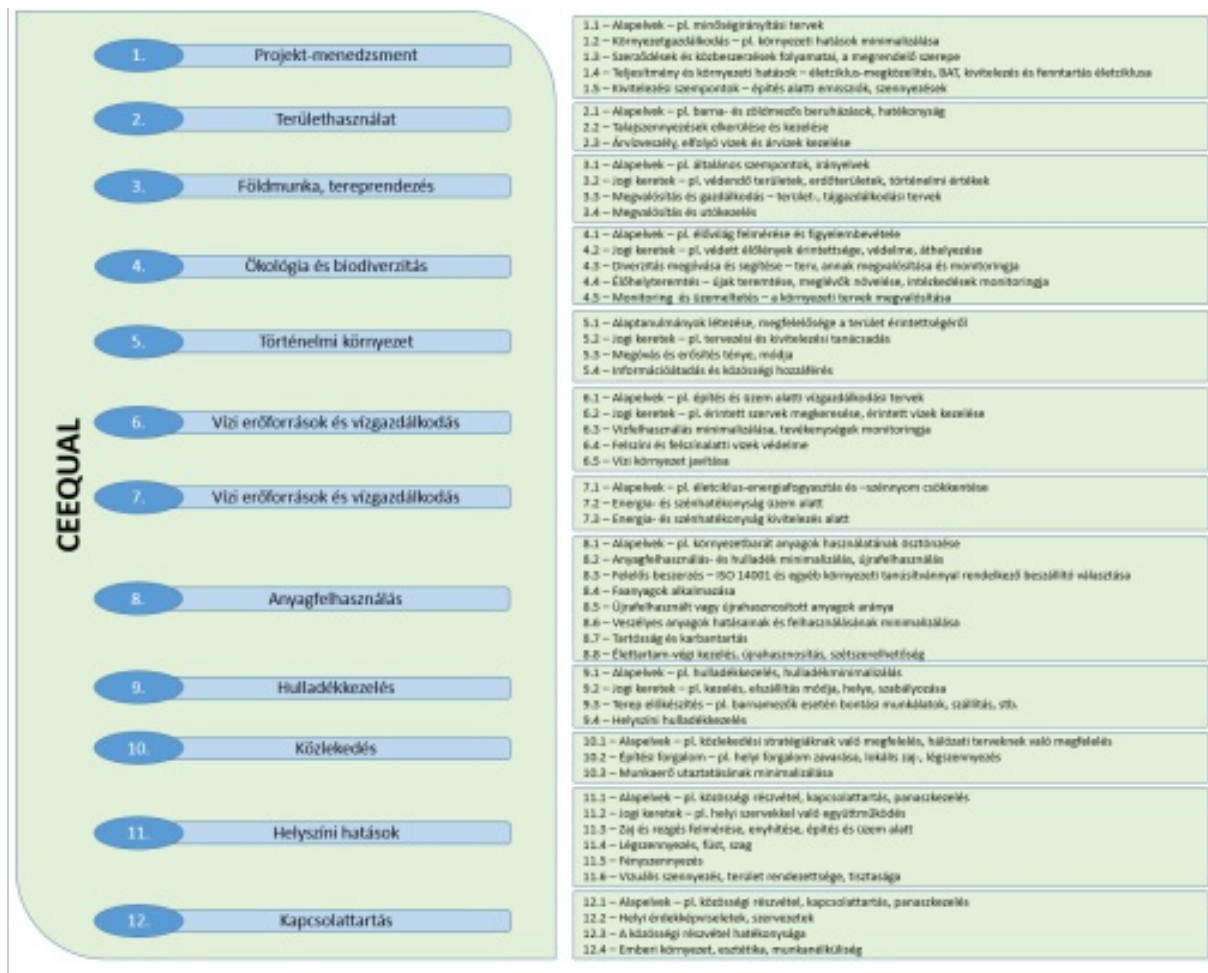


3. ábra
A CEEQUAL értékelési folyamata

Az összes pont megszerzése nem lehetséges, mivel vannak olyan szempontok, amik egymással ellentétesek. Például egy műemléki jelentőségű híd felújításakor az autentikus anyagok beszerzése fontos, de adott esetben nagy távolságból kell szállítani. Ebben az esetben előfordulhat, hogy az első részre magas pontszám, de a másodikra alacsony pontszám szerezhető.

A CEEQUAL értékelési rendszer projekt-szinten, magára a projektekre is elvégezhető, illetve hosszú távú (üzemeltetési) szerződésekre is.

Az alábbiak a Projekt-szintű értékelést mutatják be. Az értékelési rendszer három szintből áll. A 12 fő szemponton belül 3-8 alpont található. Mindegyik alpontban további kérdések alapján pontozható az adott szempont a megrendelő (tulajdonos), a tervező és a kivitelező oldalán.



4. ábra

A CEEQUAL értékelési rendszer [CEEQUAL, 2010]

A legtöbb kérdésben fix, (0 vagy n) pontot lehet adományozni, de sok esetben ponthatár van megadva. A kérdésekhez legtöbb esetben részletes útmutató, leírás is tartozik.

A CEEQUAL Projekt-értékelés történhet:

- a teljes csapatra (megrendelő, tervező, kivitelező) (Whole Team Award)
- a megrendelőre és a tervezőre (Client & Design Award)
- csak a tervezőre (Design Award)
- a tervezőre és a kivitelezőre (Design & Construction Award)
- csak a kivitelezőre (Construction Award)

A pontozási rendszer ennek megfelelően tükrözi az egyes felek felelősségét (érdekeltségét) az egyes szempontokban az adott kérdésre éppen megszerezhető maximális pontszámmal.

Példaként a 2.3.4. kérdésnél, a megrendelő egyáltalán nem, a tervező pedig kétszer annyi pontot kaphat, mint a kivitelező.

		Megrendelő	Tervező	Kivitelező
2.3.4	Van-e bizonyíték arra, hogy gondoskodtak az elfolyó vizek gyűjtéséről és hasznosításáról, valamint arra, hogy ezen tervek megvalósultak? Ha nincs, 0 Ha van, ld. útmutató		10	5

5. ábra

A rendszert tekintve, a 12 értékelési szempont alpontjainak felépítése hasonló logikát követ. Például a legtöbb szempontban külön kérdés vonatkozik adott terv meglétére és megvalósulására (pl. hulladékkezelési terv és annak megvalósulása), és sok esetben az élettartam alatti monitoring is külön pontozható (pl. lefolyó vizek minőségének nyomon követése). Szintén hasonlóság, hogy rendszerint elnagyolt, de szabályozott területekre is külön rákérdez a kérdőív: a megszokott előírások, egyezményes dokumentumok betartásáért is járhat pont (pl. ISO szabvány vagy gyártási szabvány betartása, veszélyes hulladékok nyomon követése). A „Jogi keretek” rész általában az érintett szervekkel, hatóságokkal való megfelelő kooperációra ad pontot. Ugyanígy hasonlóság az építés alatti és üzem alatti vizsgálat – így pl. a kivitelezéshez köthető szén-kibocsátás és az élettartam alatti, üzemi szénkibocsátás külön-külön pontozandó.

A projekt-szintű értékelésben a megszerzett pontok arányában tanúsítványt kaphat a projekt:

- Elégséges 25% „Pass”
- Jó 25-40% „Good”
- Nagyon jó 40-60% „Very Good”
- Kiváló >75% „Excellent”

A Projekt-értékelésekhez a hosszabb távú – több évig elhúzódó kivitelezés, hálózati karbantartás, fenntartási-, üzemeltetési szerződések, területi jellegű fejlesztések – szerződések értékelési rendszere hasonló. Az értékelési rendszer módosításával az ilyen munkálatok időbeli, esetleg területi kiterjedését, a felújítási-karbantartási munkálatok jellegét, de a struktúra és a pontozás elve lényegében ugyanaz [CEEQUAL, 2011].

2.4. FHWA – INVEST

Az INVEST egy ingyenes, online eszköz, melyet a FHWA 19 állami és szakmai szervezet mellett pl. AASHTO vagy az ASCE közreműködésével hozott létre 2012-ben, és visszajelzések alapján azóta is fejleszt.



A projekt célja az volt, hogy elsősorban állami intézmények, így DOT-ok, MPO-k számára egy ingyenes, fenntarthatóságot értékelő rendszert hozzanak létre, mely az értékelésen keresztül segítheti a döntéshozókat fenntarthatóbb megoldások kiválasztásában. Három modulban (Rendszerszintű és Projektszintű elemzés, illetve Üzemeltetés és fenntartás) összesen mintegy 60 szempont szerint pontoz. Az értékelés önkéntes, de a FHWA kifejezetten ajánlja.

Az értékelés nem csak ingyenes, de anonim is, az adatokhoz csak a projekt értékelői férnek hozzá – az eredmények közzétételéhez a megrendelő engedélye szükséges. Így a Sustainable Highways weblapján listázott mintegy 55 referencia nem az összes értékelt projekt, annak csupán töredéke.



A pilot-értékelések állami szervezetek és útügyi adminisztrációk projektjein történtek, a tesztelt 20 helyszínről mintegy 3000 szakmai hozzászólás érkezett. Ma az USA 25 államában 29 szervezet használja – köztük 10 állami és 13 nagyvárosi útügyi adminisztráció, 3 autópálya adminisztráció [Chapman, 2011]. Az értékelési rendszer az infrastruktúra életciklusának bármely részére alkalmazható, így rendszerszintű tervezés, konkrét projekt (tervezés és kivitelezés) és az üzemeltetés-fenntartás egyaránt értékelhető. Az értékelési szempontok és a különböző életciklus-szakaszok természetesen összhangban vannak.



Az alábbiakban bemutatjuk az egyes elemzési szinteket. A kritériumokon belül egy sor konkrét kérdést kell megválaszolni. Az értékelés közben a pontozás követhető, így lehetőség van arra is, hogy már menet közben jobb, fenntarthatóbb megoldásokat válasszanak, majd újraértékeljenek. Az értékelés során a pontokra való jogosultságot alátámasztó dokumentumokkal kell igazolni.

A megszerzett pontok alapján Bronz, Ezüst, Arany és Platina fokozatú minősítést ad, mely a továbbiakban referenciaként használható.

2.4.1. Rendszerszintű tervezés (System Planning)

A modul célja, hogy a rendszerszintű elemzések és stratégiák tervezése során olyan szempontok is érvényesüljenek, melyek a teljes rendszer fenntartható(bb)ságát szolgálják. A modul közvetlenül a (legtöbb esetben gazdasági kényszerek hatása alatt is születő) közlekedési stratégiát (LRTP) pontozza.

Az értékelési szempontok például a közlekedési stratégia fejlesztésének folyamatát, az abban figyelembe vett szempontokat, az egyes projektek kiválasztásának kritériumait, a projektek ütemezését is figyelembe veszi.

Rendszerszintű tervezés	
SP-1	Integrált tervezés: Gazdaságos fejlesztés és területhasználat összhangja
SP-2	Integrált tervezés: Természetes környezet
SP-3	Integrált tervezés: szociális
SP-4	Integrált tervezés: bónusz
SP-5	Hozzáférhetőség és megfizethetőség
SP-6	Biztonság
SP-7	Multimodális közlekedés és egészségügy
SP-8	Áruszállítás és logisztika
SP-9	Közl. kereslet menedzsment
SP-10	Levegőtisztaság
SP-11	Energia és üzemanyag
SP-12	Gazdasági fenntarthatóság
SP-13	Elemzési módszerek
SP-14	Közlekedési rendszerek üzemeltetése
SP-15	Meglévő erőforrások hatékony tervezése
SP-16	Infrastruktúra rugalmasság (hibaérzékenység)
SP-17	Környezetvédelmi elvek figyelembe vétele

A modulban alkalmazott 17 rendszerszintű kritérium díjazza az olyan hosszú távú stratégiákat is, melyek a közlekedésfejlesztési irányok megszabása mellett pl. a levegőtisztaság vagy a modal-split javítására szolgálnak, de külön értékeli például a környezetvédelmi elveknek és dokumentumoknak a stratégiákba való integráltságát is.

Stratégiákról lévén szó, az értékelés fő használói és alanyai a különböző állami és nagyvárosi ügyi adminisztrációk.

2.4.2. Projektszintű elemzés (Project Development)

A projektszintű elemzés a legösszetettebb, legtöbb szempontot értékelő modul. Az értékelés egy konkrét projektet végigkísér a tervezés kezdetétől, az alternatívák elemzésén, környezeti elemzéseken és dokumentációkon, a végső tervezési folyamaton és a kivitelezésen.

Projektszintű elemzés	
PD-1	Pénzügyi elemzések (CBA)
PD-2	Életciklus-költség elemzések (LCCA)
PD-3	Környezetfüggő fejlesztések
PD-4	Közlekedésbiztonság
PD-5	Oktatás, tudatformálás
PD-6	Környezeti elvek betartásának nyomon követése
PD-7	Éőshelyek rehabilitációja
PD-8	Csapadékvizek
PD-9	Ökológiai kapcsolatok
PD-10	Gyalogos hozzáférhetőség
PD-11	Kerékpáros hozzáférhetőség
PD-12	Tranzit és magaskihasználságú járművekre tervezés
PD-13	Áruszállítás
PD-14	Rendszerszintű ITS
PD-15	Történelmi, régészeti és kulturális értékek megőrzése
PD-16	Táji, természeti, szabaddíds értékek
PD-17	Energiahatékonyság
PD-18	Helyszini élővilág
PD-19	Anyagfelhasználás csökkentése és újrafelhasználás
PD-20	Anyagos újrafelhasználása
PD-21	Földmunka-egyensúly
PD-22	Hosszú élettartamú pályaszerkezet
PD-23	Csökkentett energiájú és kibocsájtású burkolati anyagok
PD-24	Kivitelezői garanciák
PD-25	Kivitelezési környezet megtervezése
PD-26	Kivitelezési eszközök környezetterhelése
PD-27	Építési zaj csökkentése
PD-28	Kivitelezési minőségbiztosítási terv
PD-29	Építési hulladék gazdálkodás

A projektek közötti eltéréseket, az egyes kritériumok közötti ellentéteket a 29 kritérium 5+1 csoportba való rendezésével oldották fel (Scorecards). Az összes kritérium legalább két csoportban szerepel. Amennyiben projekt-szintű elemzést akarunk végrehajtani, először a megadott 5+1 célrendszer közül kell választani.

Az értékelési csoportok:

- Pályaszerkezet (12 krit.)
- Városi, alap (24 krit.)
- Városi, bővített (29 krit. □ összes kritérium)
- Vidéki, alap (21 krit.)
- Vidéki, bővített (25 krit.)
- Egyéni (19 kötelező + választható kritériumok)

A kritériumok és csoportok egymáshoz rendezését az értékelési útmutató tartalmazza.

Ez a mellékelt táblázathoz hasonló, melyben látható a hozzárendelés logikája – vannak egységesen fontos szempontok, és vannak, melyek csak adott csoport szempontjából relevánsak.

Kritérium	Pályaszerkezet	Városi, alap	Városi, bővített	Vidéki, alap	Vidéki, bővített	Egyéni
PD-2 Életciklus-költségek	●	●	●	●	●	●
PD-10 Gyalogos hozzáférhetőség		●	●			
PD-13 Áruszállítás			●		●	
PD-21 Földmunka egyensúly			●		●	
PD-27 Építési zaj csökkentés		●	●			

2.4.3. Üzemeltetés és fenntartás

A modul az üzemeltető működését, az erőforrások kezelésének és karbantartási munkálatok hatékonyságát is vizsgálja. A 14 kritériumból az üzemeltető vállalat belső működését 4, az üzemeltetési és fenntartási folyamatokat 10 kritérium alapján lehet pontozni.

Üzemeltetés és fenntartás	Üzemeltetés		Fenntartás	
	OM-1	OM-2	OM-8	OM-9
	Belső fenntarthatósági terv	Elektromos energia hatékonyság és -felhasználás	BMS megléte	Karbantartás-irányítási terv
	Jármű üzemanyag hatékonyság és -felhasználás	Újrahasználat és újrahasznosítás	Autópályák megőrzése és karbantartása	Autópályák megőrzése és karbantartása
	Biztonság	Környezeti elvek betartásának nyomon követése	Forgalomirányító rendszerek karbantartása	Meteorológiai rendszerek karbantartása
	PMS megléte		Közlekedési üzem optimalizálása	Munkaterületi forgalombiztonság

Megjegyzés: PMS - Pavement Management System; BMS - Bridge Management System.

A vizsgált szempontokon keresztül, hasonlóan az eddigi két modulhoz, itt is azt vizsgáljuk, hogy az üzemeltetési és fenntartási folyamatok hogyan növelik a teljes infrastruktúra fenntarthatóságát.

Az INVEST fő célja, a Greenroads és a CEEQUAL rendszeréhez képest, nem tanúsítvány kiadása, hanem fenntarthatóság szempontjából erősségek és gyenge pontok azonosítása, majd azok kijavítása [US DOT, FHWA, dátum nélk.].

2.5. Egyéb értékelő rendszerek

Az előzőekben az összetettebb, robusztusabb modellek kerültek bemutatásra. Ezekon kívül léteznek azonban kisebb, nemcsak lokális környezetre fejlesztett, de egyelőre lokálisan is alkalmazott rendszerek. Az alábbiakban néhányat röviden megemlítünk.

Például NYDOT saját fejlesztésű rendszerrel értékeli saját projektjeit. A GreenLITES önértékelő rendszer képes az iroda legkülönbözőbb közlekedésfejlesztési projektjeinek értékelésére mintegy 182 kritérium figyelembe vételével.

New York State Department of Transportation

NYSDOT Sustainability & GreenLITES



A rendszerről bővebb információ a [rendszer honlapján](#) található [NYSDOT, 2011].

Az Illinois államban alkalmazott I-Last rendszert a GreenLITES alapján hozták létre. A rendszerben 153 részletes irányelv alapján történik az értékelés 8 kategóriában, mint például tervezés, vízminőség, anyaghasználat vagy innováció. Az I-Last önkéntes rendszerben az [IODOT](#) munkatársai értékelik saját projektjeiket, és folyamatosan bővítik eszköztárukat fenntarthatóbb elemekkel.

I-LAST™

Illinois - Livable and Sustainable Transportation Rating System and Guide



In conjunction with the
Illinois Joint Sustainability Group

I-LAST V 1.01

Released January 8, 2010

Az értékelési módszertan vázlatát elérhető az [East Side Highway weblapján](#) [DOT, 2012].

A BE2ST In-Highways rendszert a Wisconsin-Madison Egyetemen fejlesztették ki. A BE2ST LCA alapú módszertannal vizsgálja és értékeli a projektek fenntarthatóságát, a beruházások környezeti hatásait [Lee, et al., 2010]. A rendszerhez Excel-alapú szoftver is készült.

3. Összefoglalás

Az amerikai USGBC által kifejlesztett LEED értékelési rendszer az épületek fenntarthatóságát volt hivatott többnyire objektív, összehasonlítható, számszerűsíthető módon jellemezni. A cikkben bemutatott zöld értékelési rendszerek lényegében ezen a szempontrendszeren alapulnak. A bemutatott értékelési rendszerek

egy sor kritériumot vizsgálnak és pontoznak, és rendszerint a fenntarthatóság mindhárom jegye szerint értékelnek - a környezetet, a gazdasági fejlődést és a társadalmi esélyegyenlőséget (ill. szociális szempontokat) is figyelembe veszik.

A bemutatott értékelési rendszerek egyelőre önkéntes alapúak, alkalmazásuk nagyberuházások esetén sem kötelező. Létezésük és legtöbb esetben állami támogatottságuk azonban azt jelzi, hogy a közeljövőben alkalmazásuk kötelezővé is válhat. A fenntarthatóság iránti valós igény meglétét az is bizonyítja, hogy a például a bemutatott amerikai rendszereket állami útügyi adminisztrációk is használják, sőt, néhányat fejlesztenek is.

A fenntartható fejlődés valódi megvalósításához nyilvánvalóan nem elég beszélni róla vagy rásütni egy adott projektre a zöld bélyeget. Olyan objektív módon kell értékelni beruházások és projektek fenntarthatóságát, ami lehetővé teszi azok összehasonlíthatóságát, és hiteles eredményt szolgáltat a döntéshozói szint számára.

Természetesen a legvégsőig tökéletesített értékelő rendszer megléte sem garancia sem értékelés elvégzésére, sem az eredmény figyelembevételére. Feltéve, hogy ez megtörténik, lehetővé válik a fenntarthatóság tényleges jellemzése az útügyi szakmában is, és valóban fenntartható(bb) beruházások valósulhatnak meg.

4. Irodalomjegyzék

CEEQUAL, 2010. CEEQUAL Assessment Manual for Projects in the UK @ Ireland V4.1.

CEEQUAL, 2011. CEEQUAL Assessment Manual for For Term Contracts

Chapman, J., 2011. Feds INVEST in Sustainable Highways www.sustainablecitynetwork.com, 14 September

DOT, U., 2012. Case study in sustainability: Creating the Illinois Livability and Sustainable Transportation (I-LAST) Tool. <http://www.sustainablehighways.dot.gov/>

Hill, N. és mtsai., 2012. EU Transport GHG: Routes to 2050 II., Oxfordshire: European Commission

Lee, J., Edil, T., Bencon, C. & Tinjum, J., 2010. Use of BEST In-Highways for Green Highway Construction Rating in Wisconsin. Green Streets and Highways, pp. 480-494.

Muench, S. és mtsai., 2011. Greenroads Manual v1.5, Seattle, Washington, US.: University of Washington

NYS DOT, 2011. NYS DOT Sustainability & GreenLITES. www.dot.ny.gov

Spielmann, M., Dones, R. & Bauer, C., 2007. Life Cycle Inventories of Transport Services, Dübendorf and Villigen, CH: Swiss Centre for LCI, PSI.

US DOT, FHWA, dátum nélk. INVEST User Guide. 2013.

Adatok

Megjelent itt

4. szám

2014. ősz



Szerző

Tóth Csaba

Adjunktus, BME Út és Vasútépítési Tanszék.

Soós Zoltán

Okleveles építőmérnök, 2014 óta a BME Út és Vasútépítési Tanszék PhD hallgatója. Kutatási területe az életciklus-elemzésben használt leromlási modellek, tönkremeneteli mechanizmusok, döntési fák, szimulációk elemzése, fejlesztése. Doktori kutatása mellett részt vesz a BME Pályaszerkezeti Laboratórium munkájában és az egyetemi oktatásban is.

Témakörök

Útépités • Útgyazdálkodás

Kulcsszavak

fenntartható fejlődés • Greenroads • LEED • zöld értékelési rendszerek

Befogadva

2015. január 6.

Hozzászólás

* Név

* Email

Honlap

Hozzászólás

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Témakörök

© **Copyright Útügyi Lapok** 2013 • Minden jog fenntartva.



Teljesítményelvű üzleti beruházási szerződések I. rész

Szerző(k) **Kovácsné Igazvölgyi Zsuzsanna és Parrag Ferenc**

Kivonat

Kétrészes cikkünk témája a teljesítményelvű kiírások, szerződések elvi, tartalmi újdonságainak bemutatása a konvencionális szerződéskötés gyakorlatához képest. Célunk, hogy bemutassuk elméleti és gyakorlati síkon azt a fejlődést, amely elvezetett a teljesítményelvű szerződéskötési módszerek kialakulásához. Jelen cikkünkben a teljesítményelvű kiírásokban és a szerződéses viszonyban való megjelenésének kvázi evolúcióját mutatjuk be.

A konvencionális szerződéskötési stratégia szerint (a legolcsóbb ajánlat nyer) a megrendelő a mindig a legjobban jár, hiszen a kívánt létesítményt a legalacsonyabb áron építteti meg, azonban a későbbi fenntartási és felújítási költségek nem jelennek meg sem a kiírásban, sem a döntéshozatalban. A kivitelező oldaláról ez a modell úgy néz ki, hogy a lehető legolcsóbban próbálnak eleget tenni a még elfogadható műszaki előírásoknak, hiszen elsődleges céljuk a profit maximálása. Véleményünk szerint ezt az érdekellentétet a konvencionális szerződéskötési modell nem tudja kezelni.

A teljesítményelvű megjelenése azonban egy olyan szemléletet képes bevezetni a szerződéskötés rendszerébe, amellyel a hosszútávú, az életciklus alatt felmerülő költségek is figyelembe vehetőek. Az alább bemutatásra kerülő modellek esetében a hosszútávú együttműködés alapvető „építőeleme” a megrendelő és kivitelező kapcsolatának. Minden esetben cél, hogy az adott létesítmény üzemeltetésekor felmerülő kockázatokat a kivitelező is viselje. Cikkünk jelen részében bemutatásra kerülő modellek mindegyikében megtalálható ez a szemlélet, különbség a teljesítményi követelmények megjelenési szintjeiben található.

A második részben konkrét, megvalósult projekteket mutatunk be, melyekkel szemléljük, hogy hol, milyen feltételekkel lehet jól alkalmazni a teljesítményelvű szerződéskötést, milyen eredményeket értek el a megbízói és a kivitelezői oldalon egyaránt. A cél ugyanis egy win-win stratégia kidolgozása valamint megvalósítása az üzleti beruházások területén, melynek végsősoron az adófizetők, az úthasználók a legnagyobb nyertesei.

1. Életciklus-költség elemzés - Life-Cycle Cost Analysis (továbbiakban LCCA)

Az Egyesült Államokban már 1991 óta támogatják azt a gyakorlatot, miszerint az összes nagyobb volumenű (25 millió \$ ~ 5 mrd HUF (2012)) beruházásnál az élettartam költségek kiszámításával az egyes megvalósíthatósági változatokat össze kell hasonlítani. Ennek oka, hogy korábbi kutatások és tapasztalati eredmények azt mutatják, hogy egy projekt teljes életciklus-költségének csupán 30%-át teszi ki az építési költség, a további 70% az élettartam során felmerülő további kiadás (fenntartás, felújítás). [MicroVA; 2003.]

Egy beruházás hatékonysága a teljes életciklus során jelentősen csökkenhet, ha a döntés során csak a beruházási költségeket hasonlították össze. Alacsony fajlagos beruházási költségű létesítmények esetében gyakran jelentkezik a drága pótlólagos beruházási igény, valamint a fenntartás során is magasabb költségekkel szembesülhet a fenntartó. Az életciklus-költségek elemzése, és így az egyes megvalósíthatósági változatok összehasonlítása a döntéshozók számára hasznos eszköz. Segítségével hosszútávon biztosítható, hogy a lehetséges változatok között valószínűleg a legkisebb költségű alternatívát fogják tudni kiválasztani. Ez természetesen nem ilyen egyértelmű, mert a számítás során szükséges némi egyszerűsítéseket tenni, de a részletesebb számítások elvégzésére további, részletesebb modellek állnak rendelkezésre.

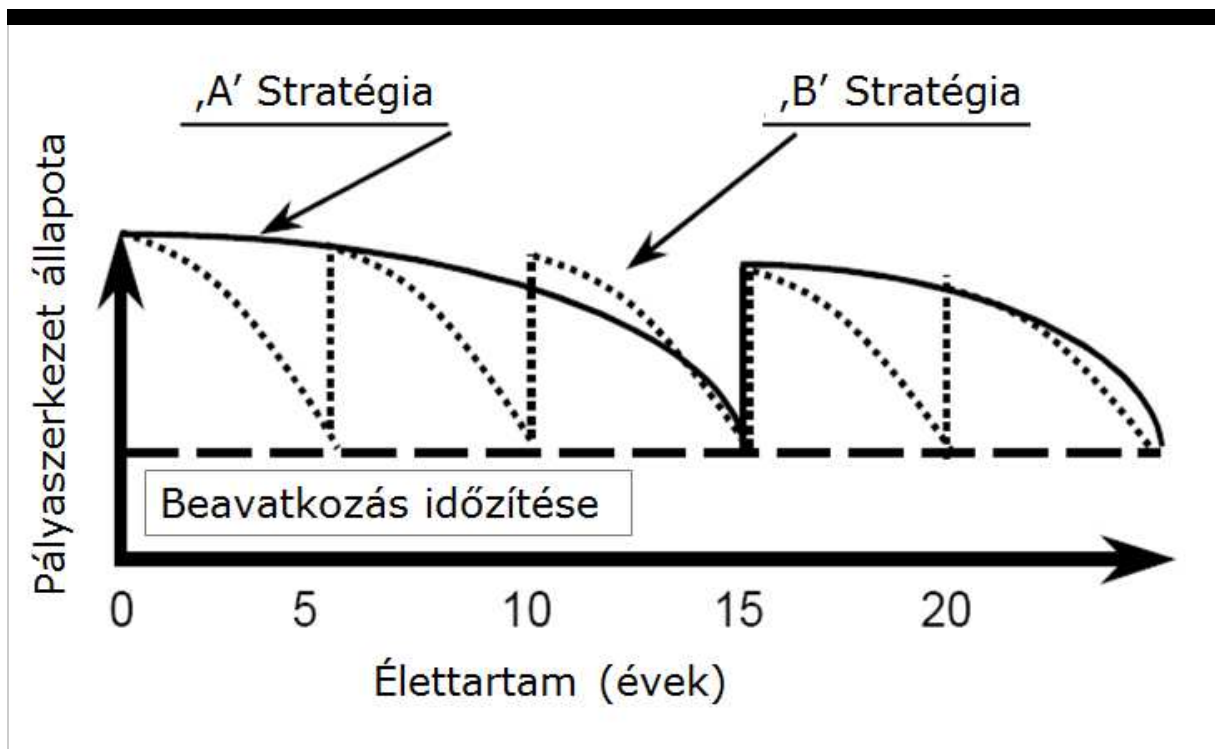
Az elemzés elkészítése szakértelmet, tapasztalatot és jó elemzőkészséget igényel. Az FHWA külön e célból, tapasztalt szakemberek és szakértők segítségével elkészítette, és 1998-ban publikálta az „Életciklus-költség számítása a pályaszerkezet tervezés során” című kiadványát. A tanulmány bemutatja, hogy egy közúti beruházás során milyen jellegű életciklus-költségekkel kell számolni. Problémát okoz az életciklus-költségek számításánál, hogy amíg a beruházási költségek esetében az egyes mennyiségek jól számszerűsíthetőek, addig a teljesítménnyel kapcsolatos, az életciklus során felmerülő költségek direkt leírása nem oldható meg ilyen egyszerűen, illetőleg számtalan, bizonytalanságot is tartalmazó paraméterrel is számolni kell. Ezek kezelésére valószínűségi eljárások (pl.: Monte-Carlo szimuláció) alkalmazhatóak. Az életciklus-költségekre a költséghaszon

elemzések (Cost Benefit Analysis, CBA) során is szükség van, ahol a jövőbeni hasznok és a jövőbeni költségek összehasonlításán alapul az egyes projektek értékelése. Emiatt a CBA elkészítéséhez elengedhetetlen, hogy rendelkezünk helyes életciklus-költségekkel, különben a számítás megalapozatlan és sok, rossz feltételezésből adódó hibával terheli.

A kiadvány részletesen meghatározza az LCCA során az egyes műveleteket, és azok ajánlott sorrendjét. Ezek a lépések elvileg egymásból következnek, azonban speciális esetekben megváltoztathatók, ha a vizsgálat azt kívánja. A lépések a következők:

1. Pályaszerkezeti méretezési stratégia
2. Teljesítőképes időszakok, valamint a tevékenységek időzítésének meghatározása
3. Az élettartam költségek meghatározása
4. Az úthasználói költségek számítása
5. Költségáramlási diagram megalkotása
6. A nettó jelenérték számítása – NPV
7. Eredmények kiértékelése
8. A méretezési stratégia újraértékelése

Pályaszerkezeti Méretezési Stratégiának nevezzük az eredeti pályaszerkezet méretezését, valamint a méretezési módszert támogató karbantartási és felújítási tevékenységek összességét. Az LCCA elsődleges célja az, hogy mennyiségileg meg tudjuk határozni a tervezési, méretezési döntések hosszú távú hatásait. Az elemzési időszak megválasztása fontos feladat. Az elemzési időszakot úgy kell megválasztani, hogy legalább egy felújítási tevékenységet magába foglaljon. Tapasztalati szabály szerint célszerű az elemzési időszakot 35 évre felvenni. Eltérni lehet, de csak akkor szerencsés, ha ez által a maradványérték kiszámítása egyszerűbbé válik (például 35 év helyett csak 32 éves időszakot állapítunk meg). Pályaszerkezeti méretezési stratégiák esetében minden alternatívához tartozik egy előzetesen elvárt élettartam, felújítási valamint karbantartási tevékenységek. A különböző stratégia eltérő teljesítménypályát futhat be, ahogyan azt az 1. ábra is szemlélteti.



1. ábra

A különböző stratégiák eltérő teljesítménypályája

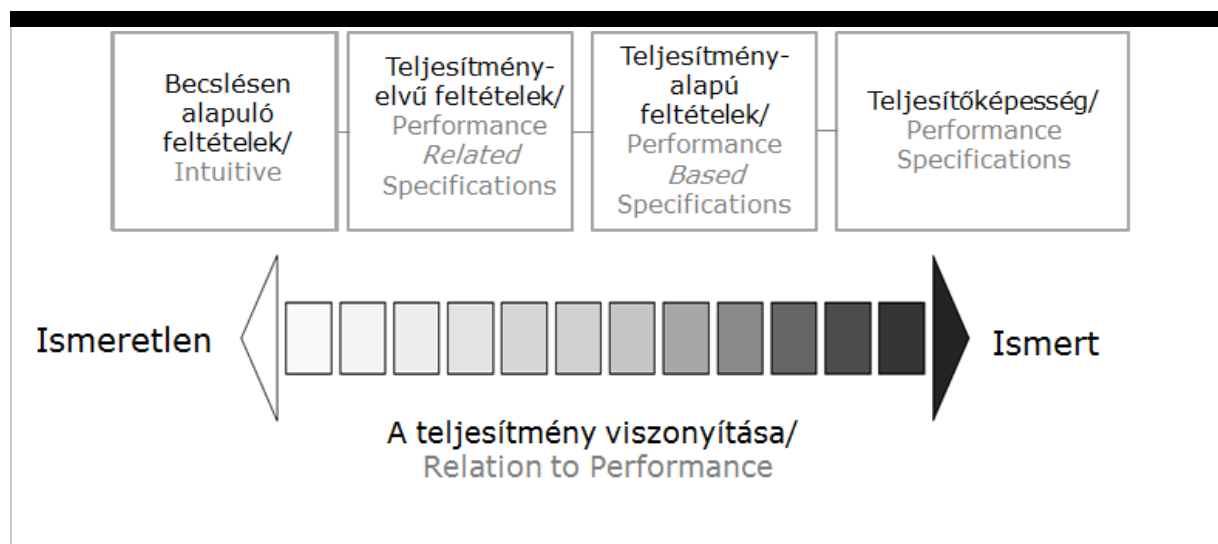
Az élettartam költségek három fő részből állnak. A beruházási költség a tervezés, engedélyezés és kivitelezés költségeit tartalmazza. A létesítmény üzembe helyezése után további két fő költség típus merül fel, a létesítményt kezelő költségei és az úthasználók költségei. Az egyes változatok összehasonlításánál az LCCA során figyelni kell arra, hogy a létesítménykezelői költségek esetében csak az egymástól eltérő költségeket vegyük figyelembe. Az úthasználói költségek kiszámításakor két üzemelési alapesetet különböztetünk meg,

úgy mint normális üzemeltetés, illetve munkaterületi üzemeltetéskor keletkező úthasználoi költségek. Normális üzemeltetési időszaknak számít, amikor a létesítményen nincs építési tevékenység (építési, felújítási és/vagy fenntartási munkák), és a pályaszerkezet forgalomátersztó képességét csak a burkolat jellemzői határozzák meg. Ez esetben az úthasználoi költségek is csak az adott pályaszerkezeti paraméterek (jellemzően az IRI alapján lehet ezt mérni) függvényében változnak. Fontos szerepe van annak, hogy hosszú távú, avagy rövid távú méretezési stratégiát vizsgálunk.

2. Teljesítmény elvű és teljesítmény alapú kiírások az USA gyakorlatában

Az USA-ban már közel 30 éve foglalkoznak a teljesítményelvű szerződéskötés műszaki alapjainak a kidolgozásával. Az életciklus-költségek számításán alapuló teljesítményelvű előírások kidolgozása azonban óriási elméleti tudást és tapasztalatot igényel, ugyanis a teljesítmény, mint mérőszám, vagy mértékegység nem határozható meg egzakt formában. Az útburkolatok teljesítőképességével és a teljesítményelvű ütügyi szerződésekkel több hazai publikáció is foglalkozott már [Gáspár; 2004]. A nemzetgazdasági előnyeiről [Gáspár; 2008] egy másik hazai cikk foglalkozik, Tóth a teljesítményelvű szerződések és azoknak a hasznosságát ismerteti [Tóth; 2006], Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen diplomamunka is készült ebben a témában [Parrag; 2012].

A kutatásokat az az alapvető probléma motiválta, hogy a konvencionális szerződéskötés nem alkalmas arra, hogy az életciklus-költségek alapján lehessen értékelni az elkészült létesítményt. Ezen felül másik probléma, hogy a már említett érdekellentét feloldása sem lehetséges. Ez utóbbi probléma közvetve minőségi problémákat és növekvő élettartam-költségeket eredményez. A szankcionálás hiánya miatt a projektekkel kapcsolatosan minden kockázat az a közútkezelőre hárult. Adódott tehát az igény, hogy olyan műszaki-pályázati rendszert alkossanak meg, amely alapján a vállalkozó érdekeltté tehető, hogy a jobb minőség megépítésére törekedjen, ezáltal a kockázatát és az élettartam-költségeket csökkenteni lehessen. Az élettartam során felmerülő kockázatok (csak a pályaszerkezettel összefüggően) többnyire teljesítményi kockázatokat jelentenek, azaz, hogy az élettartam során milyen teljesítményt tud nyújtani a pályaszerkezet, mikor merül ki a teherbíró képessége, kapacitása, mikor kell felújítani, stb. A teljesítmény értékelésének több fajta megközelítése létezik. Ennek oka, hogy a teljesítményt csak az egyes állapotjellemzők alapján lehet csak megállapítani. A teljesítményi kapcsolat azonban nem írható le általános formában. A 2. ábrán látható skála azt mutatja be, hogy milyen szintjei lehetnek a teljesítményelv megjelenésének műszaki specifikációkban.



2. ábra

A teljesítmény, mint mérőszám megjelenése a műszaki specifikációkban [Forrás: NCHRP; 2002]

Az intuitív jellegű megközelítés a teljesítményt csak korábbi (szubjektív) mérnöki tapasztalat alapján definiálja. Ez esetben a teljesítményi kapcsolat csak mennyiségi paraméterekkel van becsülve, azaz a több = jobb elv érvényesül. A minőségi összefüggések azonban nincsenek feltárva. A tisztán teljesítményi megközelítés, mint másik véglet lényege abból áll, hogy ismernünk kellene minden létező input paraméter pontos hatását a végső teljesítményre, és ez által lehetne minden projekt esetében a legalkalmasabb pályaszerkezet-típust és

felépítményt kiválasztani, illetőleg az adott pályaszerkezet élettartamát a legpontosabban így tudnánk megbecsülni. A két „véglet” között azonban léteznek megoldások, melyeknél különböző mélységben, de teljesítményelvű kapcsolatokra alapozva történik a tervezés és a projektek megvalósítása. Fontos újdonság, hogy a kutatások során nem csak a fizikai paraméterek teljesítményi kapcsolatainak vizsgálatára került sor, hanem a megrendelő-vállalkozó kapcsolatában is új megközelítés került bevezetésre, elősegítve ezzel a vállalkozó bevonását a kockázatvállalásba.

2.1. Teljesítményelvű kiírások – Performance-related specifications (PRS)

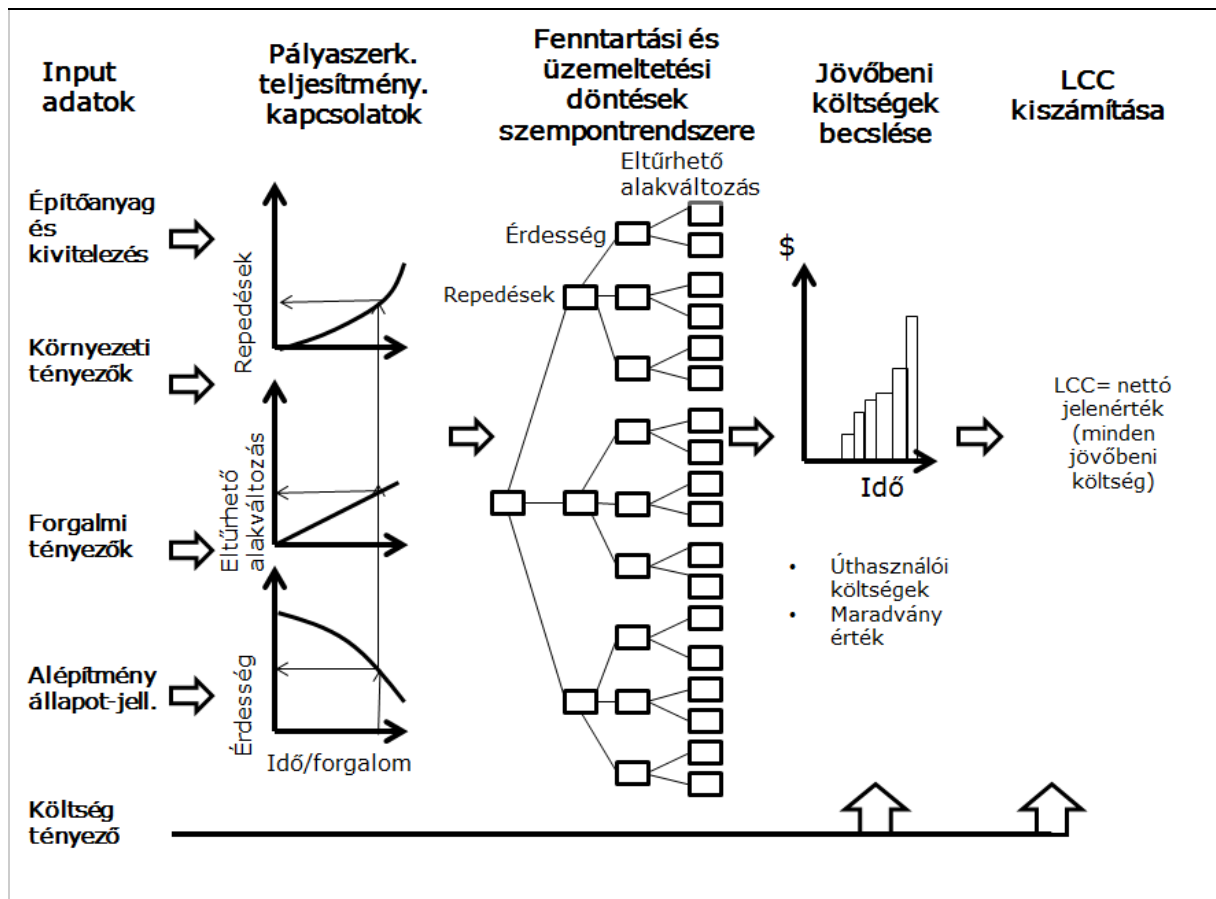
A performance-related specification (PRS) olyan műszaki előírás rendszer, amely az LCCA módszerét alkalmazva fogalmaz meg követelményeket egy üzleti projekttel kapcsolatban. A PRS esetében a teljesítményi kapcsolatok még nem teljesen feltártak, sőt inkább nevezhető még intuitív kapcsolatnak, mintsem teljesítményelvűnek. Az előírás lényege, hogy egy olyan feltételrendszert hozzon létre, amely alapján a vállalkozó megismerheti, hogy a megbízó milyen paraméterek alapján értékeli egy beruházást, azaz az életciklus-költségeket milyen elv szerint számítja ki. Az eljárás célja az élettartam-költségek minimalása és a kockázatviselés optimalása azon módszer alapján, miszerint a pontosan ismertített specifikáció ismeretében a szerződő fél jobban számon kérhetővé válik az esetleges minőségi problémák értékelése során. A szerződő fél számára azonban ösztönző elemek is alkalmazásra kerülnek, aminek célja kettős. Az közútkezelő számára a legjobb minőség előállítása, és így a lehető legalacsonyabb életciklus-költségek, valamint a szerződő fél esetében módosított profit maximálási lehetőségek. Ennek eszköze a specifikációban ismertetett bonus-malus rendszer, amely gazdasági eszközök révén teszi érdekeltté a vállalkozót, hogy a lehető legjobb minőséget építse meg.

A rendszer úgy működik, hogy a megrendelő meghatároz bizonyos alap paramétereket, melyekkel kapcsolatban ismer teljesítménnyel összefüggő viselkedéseket. Ezek a paraméterek a rendszer input adatai, amelyek használatával a tervezés során kiszámítják a tervezett élettartam-költségeket (as-design LCC). Ezek után a megépült létesítményen a kérdéses paraméterek értékét mérés alapján meghatározzák, és ezekkel az értékekkel újra kiszámítandó a megvalósult projekthez kapcsolódó, létező adatok alapján számolt becsült életciklus-költség (predicted as-constructed LCC). A tervezett és a megépített létesítmény életciklus-költségeinek az arányában kimutatható, hogy a vállalkozó az előzetesen elvárthoz képest milyen minőségű létesítményt hozott létre, és ennek a modellnek alapján bónusz kifizetéssel lehet dotálni a jobb minőséget, vagy adott esetben a szerződésben foglalt összeghez képest alacsonyabb kifizetéssel lehet érvényt szerezni utólagosan a megrendelői érdekeknek.

Azt is fontos megjegyezni, hogy a kifizetés módosítása ugyan LCCA alapján történik, azaz a két LCCA különbsége alapján; a korrekció mértéke azonban nem lesz összhangban a valódi életciklus-költségekben okozott változással. Ennek oka ismét csak az, hogy a teljesítményi kapcsolatok nem tökéletesen írják le az input paraméter hatását a tényleges teljesítményre, azaz az így kiszámolt életciklus-költségek közötti differencia nem valós értéket fog meghatározni. Az eljárás célja azonban nem is ez, hanem, hogy a kivitelezőt bevonja a felelősségvállalásba, és hogy jobb minőségű létesítmények készüljenek el. A jobb minőség révén megtakarítható életciklus-költségek pontos számítása és adott esetben bonuszként való visszafizetése amúgy sem lenne jó megoldás, hiszen a kivitelezés költségei az élettartam-költségekhez képest alacsonyabbak. A PRS célja, hogy a meghatározott input paraméterek alapján megbecsüljük a pályaszerkezet teljesítményét. A teljesítmény a becsült élettartam-költségek révén lesz kézzel fogható. A modell lényege, hogy a tervezett és a megvalósult állapot alapján is el kell készíteni a számítást, és az eredmények összehasonlítása után képet kapunk a pályaszerkezet várható viselkedéséről. Fontos megjegyezni, hogy ez a viselkedés és az élettartam-költségek is csak becsült adatok és mennyiségek, hiszen az input paramétereken kívül a projektet az életciklusa során érhetik előre nem látható hatások is. Azonban a használhatóság miatt ezek a hatások nem kerültek bele a modellbe, hiszen a modell lényege, mint már említettük a megépült állapot értékelése.

A 3. ábrán látható a PRS esetében alkalmazott ún. LCC-modell felépítése. A modell öt lépésből áll, melyek a következők:

1. Input adatok meghatározása.
2. Teljesítmény-leromlási modellek megalkotása.
3. Fenntartási és felújítási intézkedések meghatározása.
4. Jövőbeni költségek becslése.
5. Életciklus-költségek kiszámítása.



3. ábra
PRS esetén alkalmazott ún. LCC modell felépítése

Input adatnak számít minden olyan tényező, amely az elemzési időszak alatt befolyásolja, vagy befolyásolhatja a pályaszerkezet teljesítményét és az mennyisége valamilyen valószínűségi eloszlás alapján becsülhető. Ezek közül bizonyos paraméterek a kivitelezés minőségétől függenek, bizonyos paraméterek pedig a projekt működése, illetve a projekt során meghozott döntések függvényében hatnak a teljesítményre. Az építési input paraméterek közé soroljuk a rétegvastagságot, valamint az aszfalt-keverék fontosabb tulajdonságait, mint a felhasznált bitumen minősége, a hézagtartalom vagy az adalékanyagok. A projekttel kapcsolatos input adatok az RRR (újraburkolás, rehabilitáció, újraképzés) stratégia döntései, környezeti hatások, forgalomfejlődés és forgalmi viszonyok, talajmechanikai tulajdonságok és a fenntartási tevékenységek költségei.

A pályaszerkezet teljesítőképességének az előrejelzése, úgy mint a fáradási tulajdonságok és az alakváltozási hajlam predesztinációja kulcsfontosságú az LCC kiszámítása során. Annak érdekében, hogy ezeket a paramétereket vizsgálni tudjuk az kivitelezési minőség és a különböző projekt faktorok függvényében (forgalom, időjárás, stb.), mechanikai-empirikus leromlási modelleket kellett kifejleszteni, alkalmazni.

Az élettartam-költség számításának két alapvető input adata az alkalmazott modellben a nyomvályúsodás és a felületi repedezettség. Ezeknek az „értékét” a pavement performance prediction modellel az alábbi ábrán látható módon minden forgalmi osztályra és hőmérsékleti körülményre (napszakok és/vagy évszakok szerint is) meg lehet határozni, amelyekből leromlási diagramok szerkeszthetők. Ezek a diagramok az input adatai az LCCA modellnek, hiszen ezek alapján válik tervezhetővé a fenntartási stratégia.

2.1.1. Cselekvési terv meghatározása

A tervezési/fenntartási időszak hosszának meghatározásakor alapvető követelmény, hogy annak legalább egy felújítási tevékenységet tartalmaznia kell. Az 1. táblázatban láthatjuk, hogy mely leromlási értékekhez milyen jellegű beavatkozásokat ír elő az amerikai szabályozás.

Átlagos repedezettség	Nyomvályú mélysége	
	< 15 mm	≥ 15 mm

< 10 %	Nincs beavatkozás	Kopóréteg felújítása
≥ 10 %	Aszfalt rétegek felújítása	Aszfalt rétegek felújítása

1. táblázat

PRS esetén alkalmazott ún. LCC modell felépítése [Forrás: M. D'Apuzzo et al;2005]

Ennek a beavatkozásnak a meghatározásához tudni kell, hogy mikor és milyen jellegű beavatkozásra lesz szükség. Ezeket az átlagos repedezettség illetve a kialakult nyomvályómélységből lehet számítani.

2.1.2. A jövőbeni költségek, valamin az életciklusköltségek számítása

A jövőbeni költségek meghatározásához az LCCA a következő képleteket alkalmazza:

$$LCC_{des} = C_p + \left(\sum_{ij} \frac{C_j}{(1+r)^i} \right)_{des} + \frac{R_{des}}{(1+r)^n} \quad (1)$$

$$LCC_{cons} = C_p + \left(\sum_{ij} \frac{C_j}{(1+r)^i} \right)_{cons} + \frac{R_{cons}}{(1+r)^n} \quad (2)$$

ahol,

C_p - a pályaszerkezet teljes költsége a tervezési időszak kezdetén, amelyhez a kifizetés módosítását kell igazítani,

C_j - a tervezési időszak i -dik évében töltendő j típusú beavatkozás,

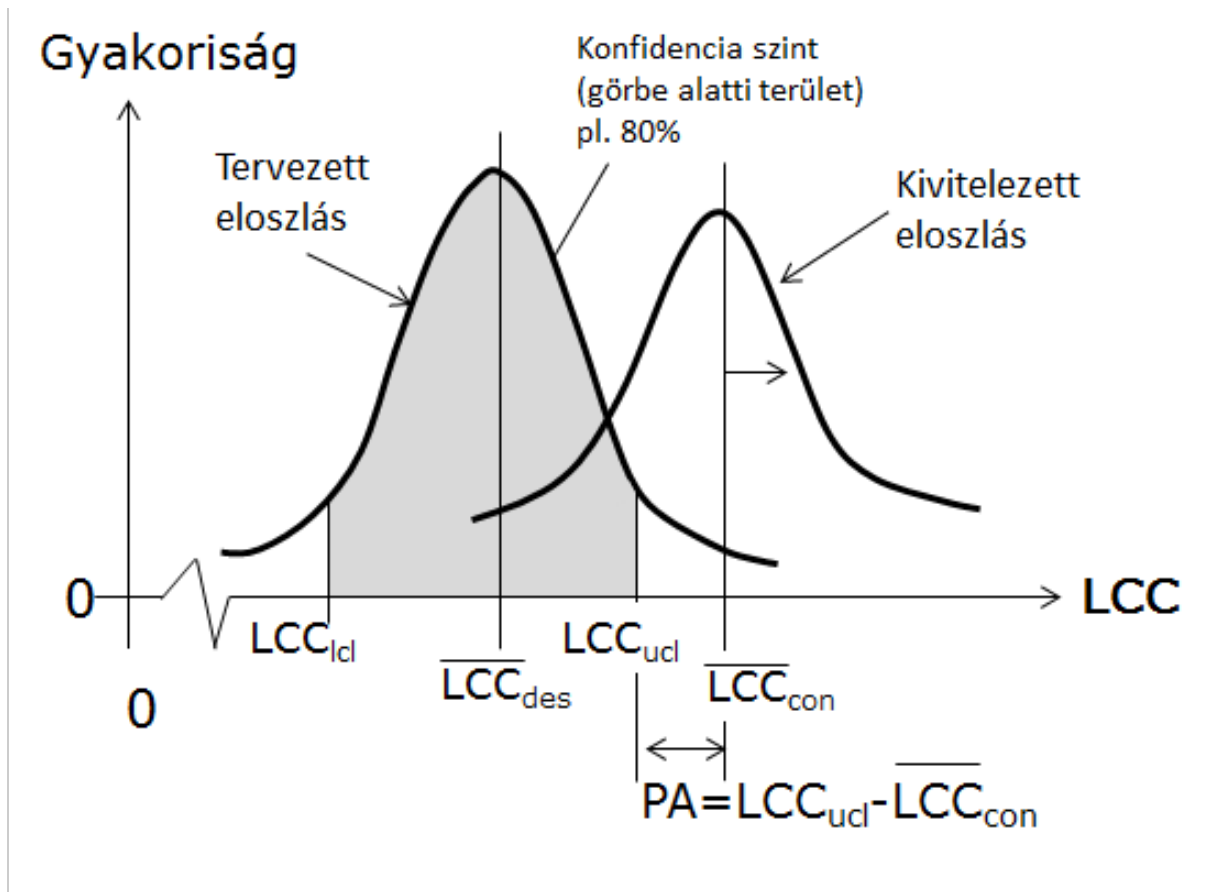
R - a maradványértéket jelöli a tervezési időszak végén,

n - a tervezési időszak hossza,

r - az átlagos diszkontráta, a des és a cons rövidítések a tervezett (as-designed) és a megépült (as-constructed) állapotokra utalnak.

2.1.3. A kifizetést módosító tényező meghatározása

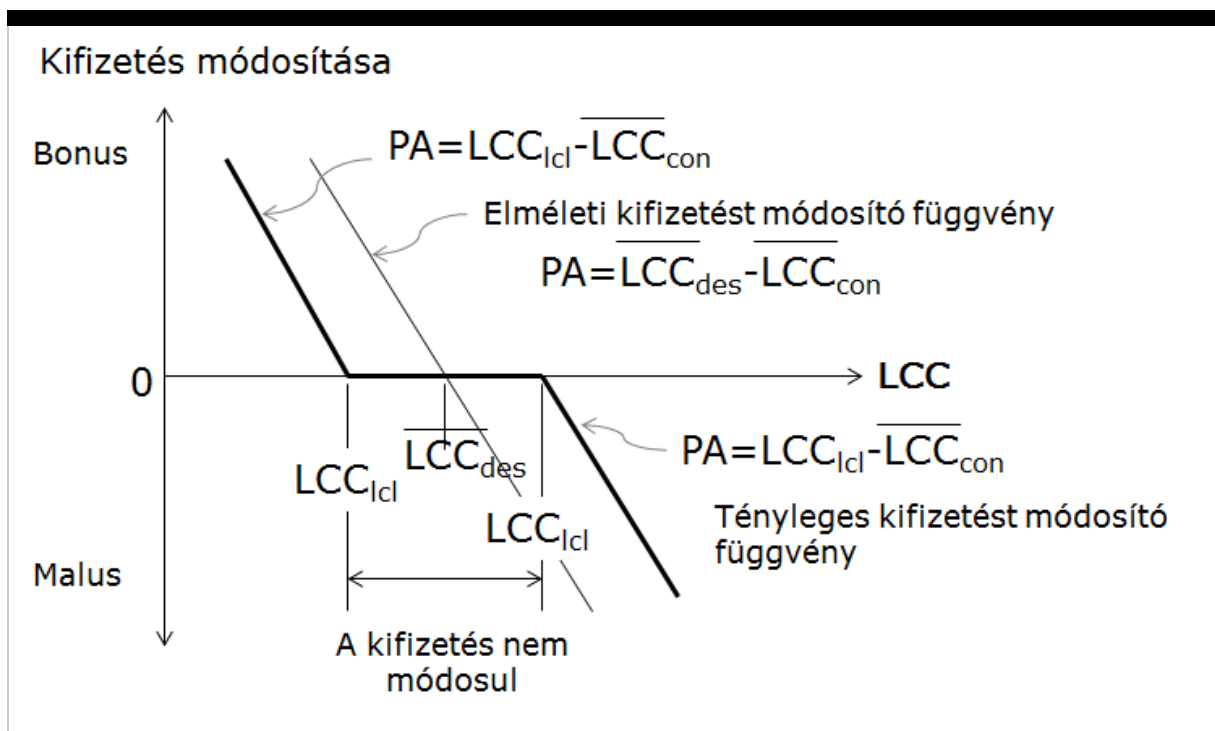
A PF (Payment Factor) számításához meg kell határoznunk a módosító tényező értékét (Payment Adjustment, PA), azaz a becsült teljesítmény és a tervezett teljesítmény arányát. Ez a számítás szempontjából azt jelenti, hogy a tervezett és a megépített pályaszerkezet alapján becsült élettartam-költségek különbségét képezzük ($LCC_{des} - LCC_{con}$). Azonban tudjuk, hogy az egyes LCC értékek nem tekinthetőek diszkrét értékeknek, hiszen az input adatok változékonysága miatt ezeket is valószínűségi eloszlásfüggvénnyel kell becsülnünk. A valószínűségi eloszlást bizonyos határokon belül kell tartani ahhoz, hogy az egyes változatok összehasonlíthatóak legyenek. Ezért a görbe alatti terület konfidencia szintjét csökkentenünk kell, melynek értéke általában 80% (4. ábra). A tervezett LCC eloszlásfüggvényéhez illesztjük megépült létesítmény LCC-jének eloszlásfüggvényét. Itt látszik, hogy az input paraméterek változékonysága miatt reális esély van arra, hogy a megépült létesítmény élettartam költségei nem lesznek egyenlők a tervezett élettartam-költségekkel. Ennek a változékonyságnak viszont határt kell szabni, hiszen elméletileg minden haranggörbe végtelen kiterjedésű. Erre azért van szükség, mert a változékonyság bizonyos mértékben befolyásolhatatlan, így a konfidenciaszinttel lehatárolt tartományon belüli eltéréseket nem lehet a kivitelező munkájával összefüggésbe hozni.



4. ábra

A tervezett és a megépült létesítmény LCC eloszlásfüggvényei [forrás: NCHRP; 2002]

A PA vetítőgörbe módosítását az 5. ábra szemlélteti. A PF ezen módszer szerinti számítása statisztikai szempontból mindenképpen igazságosabb megoldásnak tekinthető, mint ahogyan azt az előző bekezdésben említettük.



5. ábra

Kifizetés módosító függvénye valószínűségi eloszlások figyelembevételével [forrás: NCHRP; 2002]

2.2. Teljesítmény-elvű és teljesítmény alapú szerződéskötések bemutatása

2.2.1. Teljesítmény-elvű szerződéskötés *Performance-Based Specification*

A teljesítmény alapú pályázat (a továbbiakban PBS) nagyban hasonlít a fentebb bemutatott PRS-hez. A különbség csak a teljesítményt és annak időbeni és a forgalom hatására bekövetkező változását leíró összefüggésekben van, ugyanis itt már sokkal inkább analitikusabb, kísérleti alapon felállított összefüggések szerint számítják a jövőbeni teljesítményt és a tervezett élettartamköltségeket. Ez a modell is alkalmas a tervezett és a kivitelezett pályaszerkezet összehasonlítására, valamint a kivitelező is felhasználhatja a Pályaszerkezeti Stratégia tervezésekor. A modell célja ismét a kockázatok arányos megosztása, amelyet nagyban segít, hogy a modellben alkalmazott összefüggések pontosabbak, kísérleti alapon bizonyítottak.

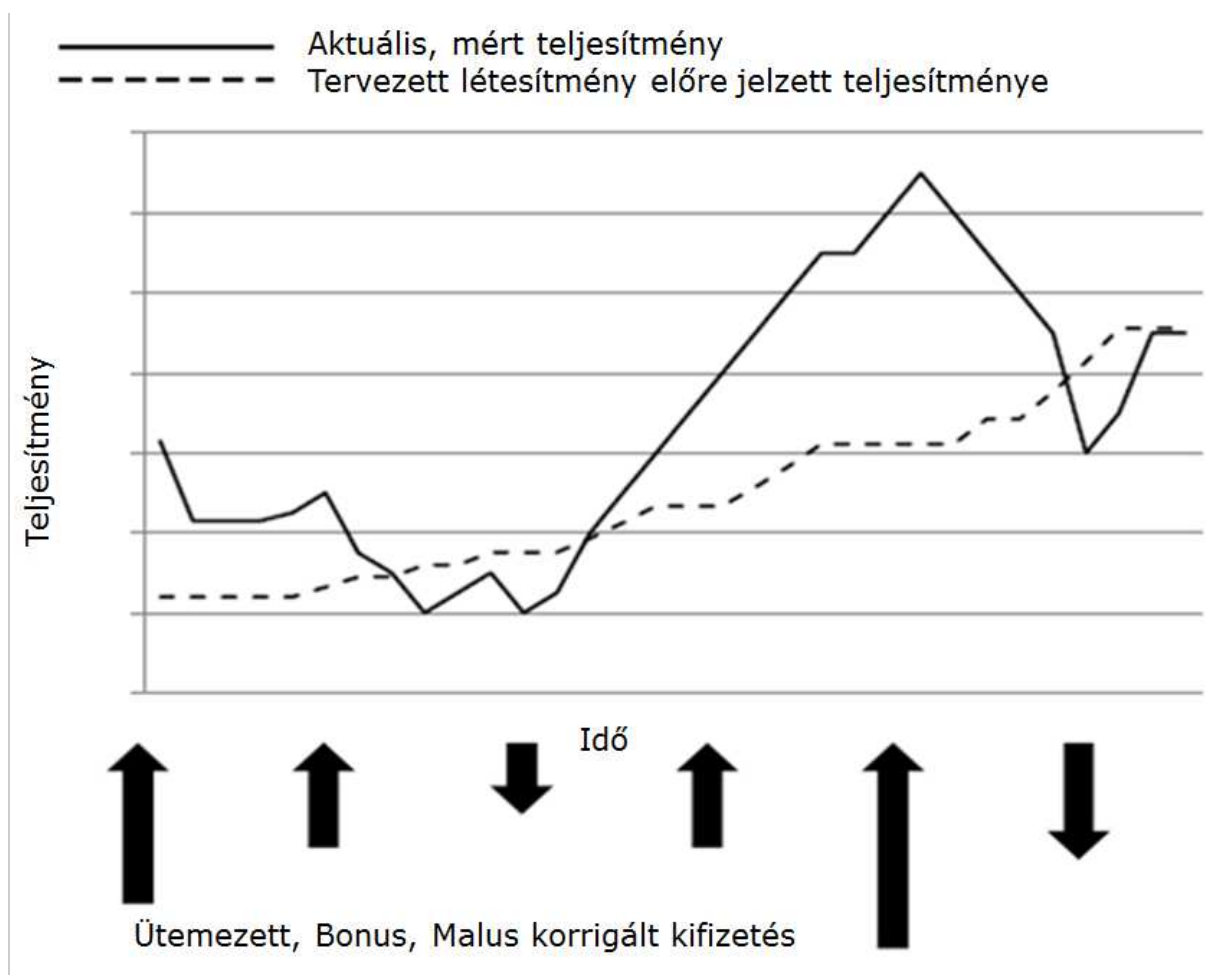
A tervezett és megépült létesítmény összehasonlításakor ezáltal jobban becsülhetővé válik a pályaszerkezet jövőbeni viselkedése, a felmerülő költségek megállapítása, így a kifizetés módosítása is. Fontos, hogy mindkét fél ismerje a modell szempontrendszerét. Ez egyrészt az alkalmazott bónusz/malusz rendszer jogossága miatt is szükséges, másrészt elősegíti, hogy a kivitelező saját innovatív ötleteit is elemezni/alkalmazni tudja. Ezáltal nemcsak az arányosabb kockázatvállalás feltételei jönnek létre, hanem a technológiai újítások is motiválhatóak, felgyorsíthatóak.

A modell továbbra is csak kivitelezői szerződésekhez alkalmazható, azonban már továbbmutat egy hosszútávú megrendelő-kivitelező kapcsolat irányába. Az alábbi ábrán látható diagram jól szemlélteti, hogy mi a legnagyobb probléma a pusztán kivitelezői szerződésekkel. A PBS/PRS modellek már bevonják a vállalkozót a kockázatviselésbe, viszont az egyösszegű kifizetés továbbra is nagyobb kockázatot jelent a megbízó számára, hiszen az alkalmazott összefüggések csak kísérleti alapon kidolgozott teljesítményi kapcsolatokat írnak le, az élettartam során felmerülő előre nem látható költségeket (balesetek, természeti csapás, stb.) azonban nem tudja kezelni a modell.

Ezért került kidolgozásra a teljesítmény alapú szerződéskötés, amely már hosszú távú, kivitelezői és fenntartói feladatokat is magában foglaló kapcsolatot jelent a megrendelő és a kivitelező között.

2.2.2. Teljesítményalapú szerződéskötés - *Performance-Based Contracts*

A teljesítmény alapú szerződéskötés némileg módosul illetve kiegészül a teljesítmény alapú kiírás modelljéhez képest. A módosulás abban nyilvánul meg, hogy a megvalósult állapot értékelését nem csak az átadáskor vizsgálja a megrendelő, hanem bizonyos koncepció mentén a teljes élettartam alatt. Ez úgy valósulhat meg, ha a kivitelező az átadott létesítmény fenntartásában is részt vesz. Ezáltal már nem szükséges a kiírás során alkalmazott analitikus modellek további pontosítása, hiszen az előrejelzés helyett folyamatos monitoringgal kerül megállapításra a mindenkori teljesítmény. További változtatás, hogy a kivitelező szabad kezet kap a technológia és az építőanyagok kiválasztásában, valamint a fenntartási tevékenységek időzítésében is. A megrendelő viszont nem egy összegben, hanem az élettartam során több lépésben fizet már nem csak a kivitelezésért, hanem a fenntartásért is (*6. ábra*). Ez a konstrukció természetesen nagyobb kockázattal jár a kivitelezőnek, viszont nagyobb a hosszútávon realizálható haszon lehetősége is.



6. ábra

Tejesítményalapú szerződés esetében az életciklus során a kifizetések alakulása [forrás: D. Gupta, et al; 2011]

A modellnek számos előnye közül a legfontosabb, hogy megvalósul a hosszútávú kockázatmegosztás, jobban kihasználható a privát szféra innovációs potenciálja, valamint hozzájárul ahhoz, hogy főként csak olyan projektek valósuljanak meg, amelyek gazdaságilag is indokoltak. A kivitelező a folyamatos monitoring mellett érvényesítheti saját céljait, azaz a kockázatok egy részét áthárítja a kivitelezőre. Új megközelítés, hogy a teljesítményi mérőszámokat nem a hagyományos fizikai paraméterekkel jellemzi a modellt (rétegvastagság, hézagtartalom, felületi érdesség, stb) hanem vizuális paraméterek kerültek bevezetésre, melyeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

Teljesítmény paraméter	
1	Keresztirányú repedés
2	Hosszirányú repedés
3	Hálós repedés
4	Fáradási repedés
5	Nyomvályú
6	Hosszirányú egyenetlenség

2. táblázat

A teljesítményi mérőszámok paraméterei

A pályaszerkezet aktuális teljesítménye lesz mindig mértékadó az kifizetések módosítása szempontjából, így a kivitelező és immáron már fenntartó egy a tervezettnél jobb teljesítmény esetén többletkifizetéshez jut, fordított esetben azonban a megrendelő negatívan módosíthatja a kifizetést.

2.3. PBS (PRS) és PBC legfontosabb előnyeinek bemutatása

A cikkben bemutatott teljesítményelvű modellek közül a PRS/PBS megközelítés legfontosabb potenciális előnyei a következők:

- A jelenlegi országos közúthálózat fenntartási és hálózatkezelési rendszerébe könnyen beilleszthető, hiszen a kivitelezői és fenntartói szerepeket és feladatokat nem változtatná meg.
- A bonus-malus rendszer alkalmazása minden tekintetben előnyös volna, hiszen ez lehet az egyik eszköze a jelenlegi érdeklentét megszüntetésének, ami a megrendelő és a kivitelező között fennáll.
- A kivitelező cégek innovációs potenciálját ki lehetne használni, amelytől általános minőségjavulás várható.
- A kockázat megosztás az állam szempontjából előnyösebb lenne, valamint a kivitelezőnek ez akár magasabb profit lehetőségét jelentheti.
- Az összes útkategória esetében alkalmazható megoldásról van szó.
- Hozzájárul a költségek hosszú távú csökkentéséhez.
- Fenntarthatóság.

A funkcionális szerződéskötés alkalmazásának legfontosabb potenciális előnyei:

- Nagy értékű, forgalmi adatokkal megalapozott beruházások esetén az állam számára előnyös, hiszen a magán tőke bevonásával kedvezőbb finanszírozási helyzetbe kerülhet (költségcsökkentés).
- Kockázatok megosztásának lehetősége. A fenntartási kötelezettség miatt a kivitelező saját érdeke lesz, hogy a megépítendő út minősége a lehető legmagasabb legyen.
- Egyszerűbb ellenőrizhetőség nagyobb jogi biztonság az állam számára.
- Fenntarthatóság.

3. Összefoglaló

Kétrészes cikkünk I. részében a teljesítményelvű szerződéskötés újdonságait és előnyeit mutattuk be a konvencionális szerződéskötés gyakorlatához képest. A teljesítményelvű megközelítés alapja minden esetben a hosszú távú projektszemlélet. Ezt a szemléletet a döntés-előkészítés valamint a részletes tervezés és a kivitelezés fázisában is szem előtt kell tartani. A döntés-előkészítés esetében ismertettük az LCCA módszert, amely a Nettó Jelenérték számításra alapozva objektív értékelési lehetőséget ad alternatív méretezési stratégiák elemzésére és összehasonlítására. Az amerikai gyakorlatban alkalmazott PRS (Performance-Related Specification) rendszerre alapozott szerződéskötés során az előírások látszólag teljesítmény elvűek, azonban az alkalmazott számítási eljárások nem írják le a pontos teljesítményi kapcsolatot. A PRS és a PBS modellek felépítésükben hasonló elvet követnek, különbség csak a teljesítményi kapcsolatok mélységében találhatóak. A PBC szerződéskötési metódus (Performance Based Contract) az értékelés során nem az input paraméterek mérésére, hanem a teljesítményi paraméterek alakulására koncentrál az életciklus alatt. Emiatt a fizetési metódus is változik, hiszen nem egyösszegben történik a kifizetés, hanem bizonyos részt csak a szerződéses élettartam alatt ütemezetten kap meg a vállalkozó. A fenntartás tervezéséhez viszont arra van szükség, hogy a pályázaton nyertes vállalkozó a lehető legnagyobb „szabadságot” kapja a projekt megvalósítását illetően. A cikk második részében konkrét példákon keresztül a német gyakorlatban használt teljesítmény alapú, avagy funkcionális szerződéskötési modelleket („F”, „A” és „V” modellek) mutatjuk be.

4. Felhasznált irodalom

FHWA – J. Walls, M. Smith: Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design – Interim Technical Bulletin, Federal Highway Administration, Washington DC, 1998

Gáspár László: Az útburkolatok teljesítőképessége, Közúti és Mélyépítési Szemle, 2004/11, Budapest

Gáspár László: Eredmény- és teljesítményelvű üzleti szerződések, Közúti és Mélyépítési Szemle, 2008/07, Budapest

Gupta, et al: Optimal Contract Mechanism Design for Performance-Based Contracts, University of Minnesota, 2011

M. D'Apuzzo et al: A Rational Approach for the Evaluation of Pavement Pay Factors, University of Cassino,

Italy, 2005

MicroVA: Életciklus költség számítási módszerek kutatása és kiadása az útügyi fenntartások és beruházási folyamatban, Témazáró jelentés, Budapest, 2003

NCHRP: Recommended Performance-Related Specification for Hot-Mix Asphalt, Part II., 2002

Parrag Ferenc: Performance Based Contracts for the Road Infrastructure development. MSc diplomamunka [nyelv: angol], 2011

Tóth Csaba: A teljesítményi szabályozás nyújtotta többlet lehetőségek az útéépítésben ÉPKO 2006: X. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, Csíksomlyó, Románia,. pp. 331-336. (ISBN:973-7840-13-5; 978-973-7840-13-4)

Adatok

Megjelent itt

4. szám

2014. ősz



Szerző

Kovácsné Igazvölgyi Zsuzsanna

Okleveles építőmérnök.

Parrag Ferenc

Témakörök

Útgazdálkodás

Kulcsszavak

Befogadva

2015. január 3.

Hozzászólás

* Név	<input type="text"/>
* Email	<input type="text"/>
Honlap	<input type="text"/>
Hozzászólás	<input type="text"/>

Hozzászólás elküldése

[Bejegyzések](#)

[Galéria](#)

[Impresszum](#)

[Interjúk](#)

[Könyvajánló](#)

[Nemzetközi szemle](#)

[Témakörök](#)

© **Copyright Útügyi Lapok** 2013 • *Minden jog fenntartva.*



Erdészeti utak környezeti hatásai

Szerző(k) **Kisfaludi Balázs**

Kivonat

Az erdészeti utak, mint az ember által épített létesítmények, illetve a rajtuk végzett tevékenységek hatással vannak a természeti és művi környezetre, valamint magára az emberre is. Ebben a cikkben a hazai és nemzetközi szakirodalom által fontosnak ítélt környezeti hatásokat mutatom be a környezeti hatásvizsgálat módszerében alkalmazott környezeti modell szerinti tagolásban. Megállapítható, hogy a legfontosabb pozitív hatást az erdőgazdálkodás lehetővé tétele mellett a rekreáció elősegítése jelenti. Az erdészeti utak az általuk keresztezett erdőterület vízháztartására és talajára gyakorolják a legjelentősebb negatív hatást, ami legrosszabb esetben is csak mérsékeltnek mondható. Az erdészeti utak környezeti hatása kisebb mértékű, mint a közutaké, hiszen geometriai méreteik, valamint a rajtuk áthaladó forgalom is kisebb. Ugyanakkor az erdészeti utak jórészt természeti jellegű területen épülnek, melyek védelme érdekében a negatív hatások csökkentése kiemelten fontos feladatot jelent. A várható hatások megismerésével az út tervezőjének és fenntartójának, valamint az építést engedélyező hatóságnak lehetősége van egy hatáscsökkentő szempont- és szabályrendszer kialakítására.

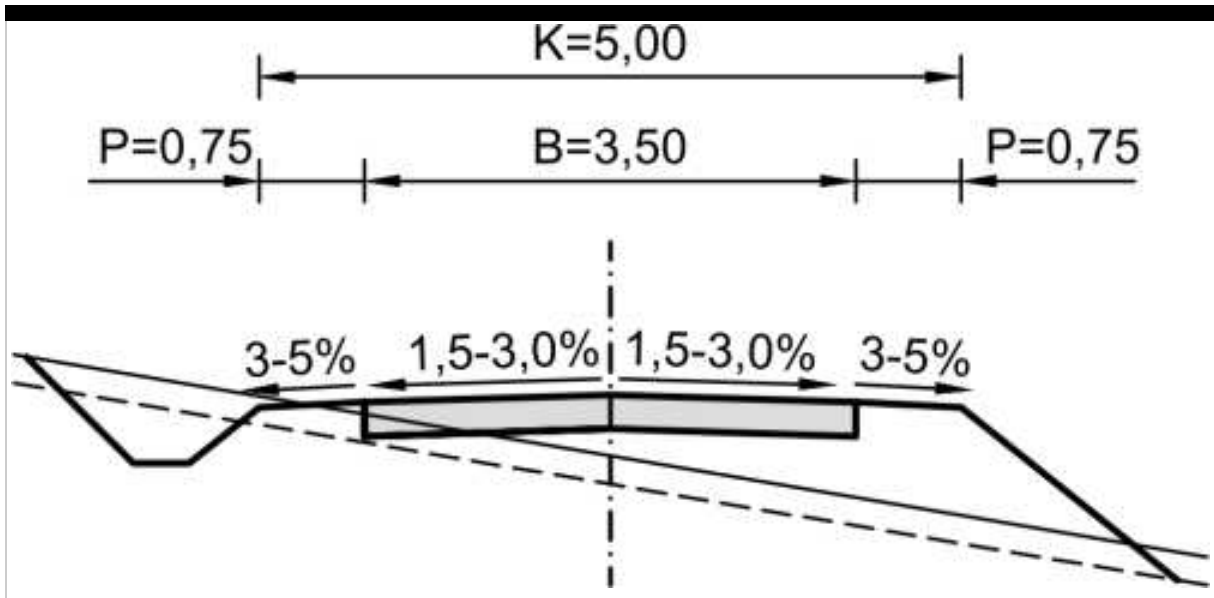
1. Erdészeti utak Magyarországon

Magyarország erdőterületének megközelíthetőségét kb. 6800 km hosszú erdészeti úthálózat biztosítja [Kosztka; 2012]. Az erdészeti utak tervezett tengely mentén, tervezett földművel, pályaszerkezettel és vízelvezetéssel épülő nyomvonalas létesítmények. Az erdészeti utak az úthálózatban betöltött szerepük alapján erdészeti feltáróutak és kiszállító utak lehetnek. A feltáróutak (1. ábra) a KRESZ-nek megfelelő járművek időjárástól független közlekedését teszik lehetővé megadott tervezési sebesség mellett. Feladatuk a gazdaságos szállítás lehetővé tétele, valamint az erdei forgalom bekapcsolása a közúthálózatba. A feltáróutakat a várható forgalom nagyságának ismeretében különböző műszaki színvonalon építik ki. A 20 éven át 120 egységjármű/nap évi átlagos napi forgalomnál (ÁNF20) nagyobb forgalomra tervezett utakat két forgalmi sávval alakítják ki, koronaszélességük 7-8 méter, pásztaszélességük 15 méter körüli. Ezek az I. osztályú erdészeti feltáróutak. Magyarországon megközelítőleg 280 km I. osztályú feltáróút van [Kosztka; 2012]. Az ennél kisebb kapacitású, II. osztályú feltáróutak egy forgalmi sávosak, koronaszélességük általában 5 méter, pásztaszélességük nem haladja meg a 12 métert. Ilyen típusú útból kb. 2400 kilométernyi szerepel a nyilvántartásokban [Kosztka; 2012]. Az erdészeti feltáróutak leggyakrabban a hajlékony pályaszerkezetek közé sorolható pályaszerkezettel épülnek. Elterjedtek a makadám rendszerű és az aszfalt burkolatok. Burkolatalapként a stabilizált helyi talaj, a zúzottkő, az aszfalt típusú, illetve a hidraulikus kötőanyaggal készülő alapok a jellemzőek [Kosztka; 2009]. Egy erdészeti II. osztályú feltáróút jellemző keresztmetszeti kialakítását mutatja be az 2. ábra. A feltáróutakon a mértékadó forgalmat a faanyag szállítását végző, nagy tengelysúlyú tehergépkocsik jelentik. Emellett számítani lehet az erdőgazdálkodási feladatokat ellátó munkagépek és személygépkocsik, valamint az utak egyéb funkcióihoz köthető személygépkocsik, motorkerékpárok, kerékpárok, lovasok és gyalogosok közlekedésére. A kiszállítóutak (3. ábra) feladata a termőterület és a feltáró úthálózat összekapcsolása. A kiszállítóutak viszonylag rövidek, és alacsony forgalmat kell kiszolgálniuk. Tervezésüknél a legfontosabb szempont az építési költségek csökkentése, minimális sebességet nem kell biztosítani. Emiatt a közlekedéshez szükséges minimális, 3,5-4,5 m széles koronával épülnek (4. ábra). Leggyakrabban földútként, vagy stabilizációs pályaszerkezettel épülnek. A magyarországi kiszállítóutak összes hossza kb. 4100 km [Kosztka; 2012].



1. ábra

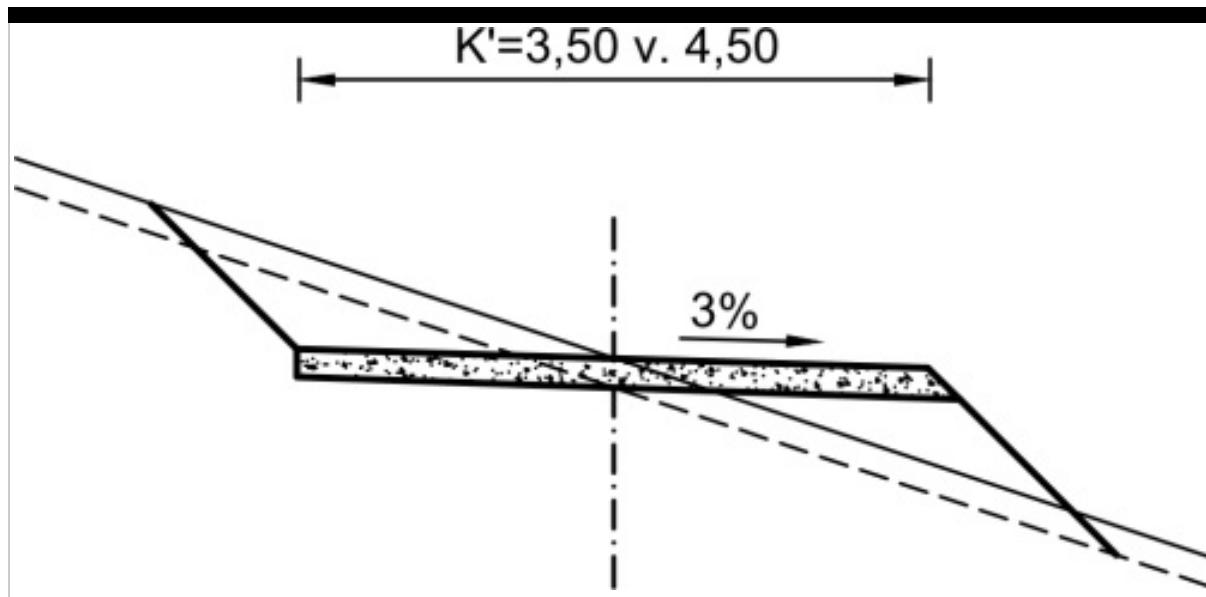
II. osztályú erdészeti feltáróút



2. ábra

II. osztályú erdészeti feltáróút jellemző keresztmetszéne

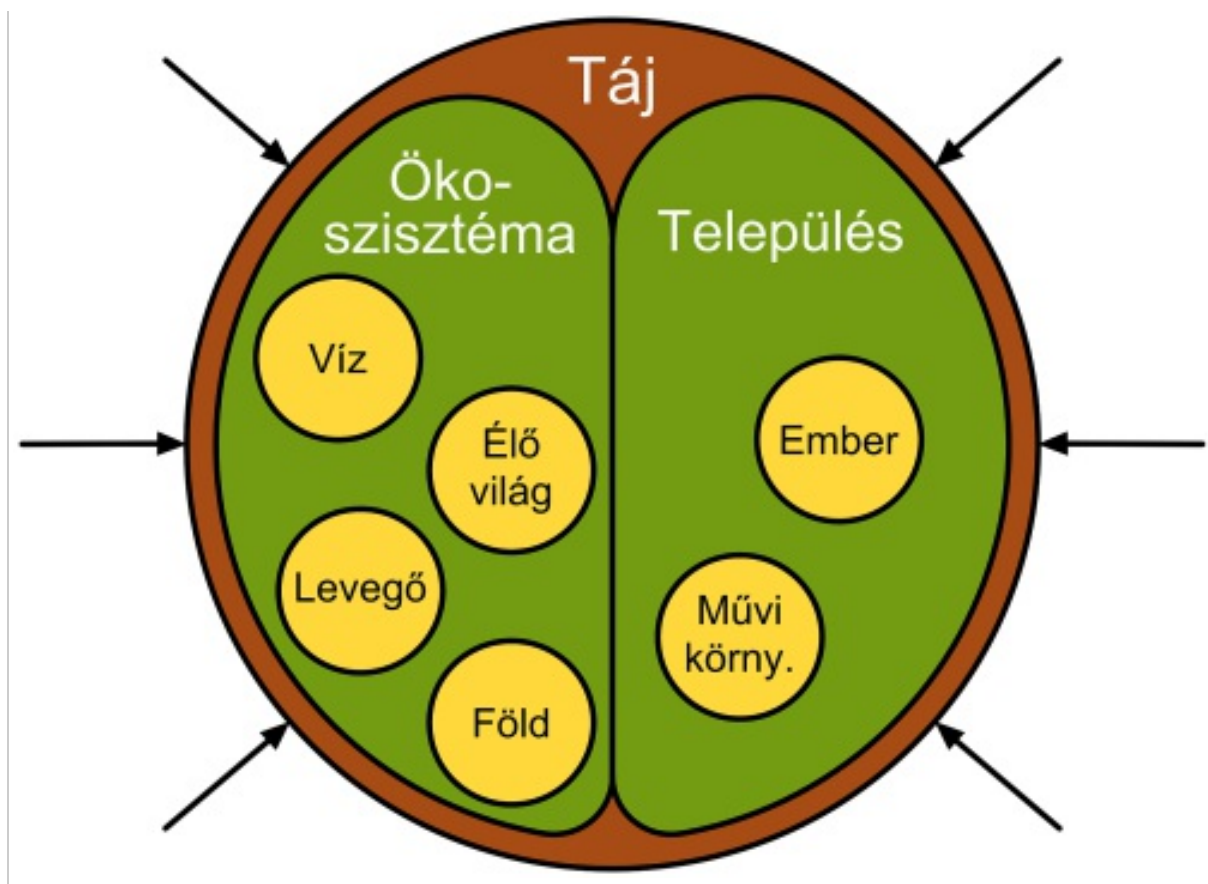




4. ábra
Kiszállítóút jellemző keresztmetsvénye

2. Az erdészeti utak környezeti hatásai

Az erdészeti utak, mint emberi tevékenység nyomán kialakuló létesítmények, hatással vannak a környezetükre. Az emberi tevékenységek környezetre gyakorolt hatását a környezeti hatásvizsgálat módszerével lehet értékelni. A hatásvizsgálat fogalomrendszerében a környezet az ember természeti, épített és társadalmi környezetét jelenti. A környezeti rendszer környezeti elemekből épül fel (5. ábra), melyeket a hatásvizsgálat során külön-külön, és együttesen is értékelni kell. Természeti jellegű környezeti elemek a föld, a víz, a levegő és az élővilág. Azokat az elemegütteseket, ahol ezek az elemek vannak túlsúlyban, ökoszisztémáknak nevezzük. Azokat az elemegütteseket, melyekben a művi környezet és az ember dominál, a környezeti hatásvizsgálat fogalomrendszerében a „település” szó jelöli. A környezeti elemek komplex rendszerét a „táj” szóval szokás jelölni. Környezeti hatásának nevezzük a tevékenység következtében egy környezeti elemben, vagy elemegüttesben bekövetkező állapotváltozást. A hatást a tevékenység hatótényezői váltják ki anyag, ill. energia közléssel vagy elvonással. Azokat az elemeket, illetve elemegütteseket, melyekben a változás bekövetkezik, hatásviselőnek nevezzük. A hatásviselőket közvetlen, vagy közvetett hatások érhetik aszerint, hogy a változásukat közvetlenül a hatótényező váltotta-e ki, vagy egy másik megváltozott hatásviselő. Egy létesítmény élettartama a kiváltott hatások alapján több jól elkülöníthető szakaszra osztható. Ezért külön érdemes vizsgálni a létesítés, az üzemelés és a felhagyás szakaszait, valamint az élettartam-szakaszoktól függetlenül bekövetkező havária események hatásait [Pájer; 1998] [Marosi; 2001]. Az erdészeti utak hatásait az 1. táblázat mutatja be [Koronikáné; 2008].



5. ábra
A környezeti rendszer

Erdészeti út létesítési időszaka		
Hatótényező	Hatás	Hatásviselő
Területfoglalás	Termőtalaj eltűnik, élővilág károsodik, élőhelyek eltűnnek, vagy darabolódnak	Talaj, élővilág
Növényzet eltávolítása	Egyedek eltűnnek, élővilág károsodik, mikroklimatikus tényezők átalakulnak, páasztahatás	Élővilág, élettelen környezeti elemek
Földmunka	Talaj eloszlás és állapotváltozás, vízviszonyok megváltozása, egyedek eltűnnek, élővilág károsodik, szennyezés	Talaj, víz, levegő, élővilág
Pályaszerkezet építés	Légszennyezés, vízviszonyok megváltoztatása, az út által érintett erdőterületek könnyen elérhetővé válnak	Levegő, víz, élővilág, ember, művi környezet
Anyagszállítás	Légszennyezés	Levegő, élővilág
Erdészeti út üzemeltetési időszaka		
Hatótényező	Hatás	Hatásviselő
Forgalom	Légszennyezés, talajszennyezés, vízszennyezés, zaj- és rezgésterhelés, állatok elütése, közutak állapotromlása, erdőgazdálkodás, katasztrófa-elhárítás, rekreáció	Levegő, talaj, víz, élővilág, művi környezet, ember
Útfenntartás	Légszennyezés, hordalékképződés, élővilág károsodik	Levegő, víz, élővilág
Területfoglalás	Populációk elválasztása, páasztahatás	Élettelen környezeti elemek, élővilág
Felhagyás		
Az erdészeti utak a hosszú távú, tartamos erdőgazdálkodást szolgálják, ezért felhagyásukra nem kell számítani.		
Havária		
Hatótényező	Hatás	Hatásviselő
Baleset	Üzemanyag, növényvédő szer és egyéb szállított anyagok környezetbe jutása, egyedpusztulás, élővilág károsodása	Talaj, levegő, víz, élővilág

3. Hatásviselők

3.1. Víz

Az erdészeti utak hatással lehetnek a felszíni és felszín alatti vizek áramlási tulajdonságaira, mennyiségére, eloszlására és minőségére.

3.1.1. A lefolyási viszonyok megváltozása

A burkolt erdészeti út felülete a víz számára nehezen, vagy egyáltalán nem átjárható, hiszen a pályaszerkezet feladata többek között a víz földmibe jutásának megakadályozása. A tömörödött földutak járófelülete is kevesebb vizet enged beszivárogni, mint a természetes talajfelszín. Emiatt a felszínre érkező víz egy része csak felszíni lefolyás formájában tud az erdészeti utakról távozni. Így a természetes állapothoz képest nagyobb felszíni lefolyás jelentkezik az út völgy felőli oldalán, ami több hordalékot juttat a vízfolyásokba [Marosi; 2001] [Coffin; 2007].

Az út melletti árok feladata az útpályáról és a terepről érkező víz elvezetése, ezáltal a földmű állékonyságának biztosítása. Az összegyűjtött vizet az út alatt átteresztőkkel vezetik át [Kosztka; 2012]. Az átvezetésnek hátránya, hogy a víz koncentráltan jut a völgy felőli oldalra, így kevesebb ideje van a beszivárgásra. Ez felszíni lefolyáshoz és erózióhoz vezethet, valamint felborítja a völgy felőli oldalon a talajnedvesség eloszlását. Az átteresztők közötti szakaszokon a talaj szárazabbá válik, a csőátteresztők közelében pedig megnő a talajnedvesség [Tague and Band; 2001]. Ez a hatás csökkenthető, ha az átteresztők sűrűbben kerülnek elhelyezésre. Az átvezetés sűrűségére Marosi [2001] 30-50 méteres csőtávolságot javasol. Kucsara [2013] az átteresztők távolságát az eróziómentes árokhossz alapján határozza meg. A talajtól, az árokfenék esésétől és a várható csapadék mennyiségétől függően 50-200 m sűrűséget tart megfelelőnek. E két szerző munkájából kiderül, hogy a sűrűbb átvezetés mellett, hogy segíti az összegyűjtött víz szétterítését, hozzájárul az árkot sújtó erózió, és az ebből eredő hordalékmennyiség minimalizálásához is. További hatáscsökkenés érhető el az úgynevezett szivárogtató árok alkalmazásával. Ez az árok az átteresztők kifolyási pontjától rétegvonal irányban kialakított árok, amelynek elsődleges feladata az átteresztőből érkező víz egyenes talajba szivárogtatása [Kucsara és mtsai.; 2013]. Az átteresztők eltömődése még a leggondosabb vízvezetés tervezés esetén is előfordulhat. A hosszabb ideig fennálló eltömődés a terület vízviszonyainak jelentős változásához vezethet. Az átteresztő befolyási oldalán nem tervezett vizes élőhely alakulhat ki [Daigle; 2010] [Pájer és mtsai.; 2012]. Ez a hatás természetvédelmi szempontból előnyös lehet, hiszen a vizes élőhelyek növelik a változatosságot. Ugyanakkor a spontán kialakult „tó” műszaki szempontból kedvezőtlen az útra nézve, hiszen a földmű folyamatos vízhatás alatt áll. Ezért az ilyen élőhelyek esetében gondos mérlegelés után vagy a megszüntetés mellett kell dönteni, vagy egy hosszútávon elfogadható megoldást kell tervezni az élőhely fenntartására. Az erdészeti utak gyakran kereszteznek ideiglenes, vagy állandó vízfolyásokat. A keresztezés átteresztővel, híddal, vagy mederátjáróval történhet. A keresztezés kiépítése a legtöbb esetben a vízfolyás medrének rendezésével, módosításával jár együtt. A keresztezés minden esetben megváltoztatja az eredeti lefolyási viszonyokat. A keresztezésnél általában a vízfolyásba jut az út oldalarkánál vize is. Ezáltal az út is befolyásolja az árhullámok levonulásának időbeliségét és intenzitását, valamint a szállított hordalékmennyiséget [Gucinski et al.; 2000] [Gribovszki et al.; 2006] [Daigle; 2010]. Az erdészeti úthálózat egy amerikai kutatás szerint 2,2-9,5%-os növekedést eredményezett az éves átlagos árvízi vízhozamban, valamint egy adott küszöbértéket meghaladó árhullámok előfordulási gyakoriságai is megnövekedett [La Marche and Lettenmaier; 2001].

3.1.2. Hordalék, és egyéb szennyező anyagok

Vízfolyások keresztezésénél a vízfolyásba juthat az út felszínéről és a vízvezető árokból származó hordalék. A hordalékszállítás a talajerózióval is kapcsolatban áll, itt az útról származó hordalék vízfolyásokra gyakorolt hatását mutatom be. A vízfolyások természetes állapotukban is szállítanak hordalékot, de az úthálózat megváltoztatja ezt az állapotot [Csáfordi et al.; 2012]. A megváltozott hordalékviszonyok megváltoztatják a vízfolyás építő-romboló hatását, a víz fényáteresztő képességét, és ezzel a felmelegedést és az oldott oxigéntartalmat. Egyes kutatások szerint a burkolatlan, és a kötőanyag nélküli burkolattal ellátott utak felelősek

a vízfolyásokban megjelenő hordalék 30 [Motha et al.; 2003], vagy akár 40 százalékáért [Gruszowski et al.; 2003]. A hordalékképződés mértéke függ a talajtól, a pályaszerkezet anyagától, az út járófelületének tömörségétől, valamint az út egyes részeinek meredekségétől és növényborítottságától. Egy spanyol kutatásban a legnagyobb hordalékforrásnak a meredek, növényzet nélküli bevágási rézsű bizonyult, ami mesterséges csapadékesemény hatására a földút járófelületénél és a lapos töltési rézsűnél öt - hatszor nagyobb mennyiségű hordalékot juttatott a keresztező vízfolyásba [Jordán and Martínez-Zavala; 2007]. A pályaszerkezet nélküli földút járófelületéről két különálló kutatás szerint is évente 270-280 t/ha hordalék juthat a keresztezett vízfolyásba [Sidle et al.; 2004] [Brown et al.; 2013]. Ezzel szemben a zúzottkő pályaszerkezettel ellátott utak hasonló éves értéke 10-16 t/ha-ra adódott [Brown et al.; 2013]. Egy másik kutatás a kétféle pályaszerkezet közötti különbséget az egy m²-re jutó mg hordalék/mm csapadék mértékegységben határozta meg. A burkolatlan út mérőszáma (5373) a burkolt út hasonló értékének (216) közel 25 szöröse volt [Sheridan and Noske; 2007]. Ez az eredmény jól összeesik a másik két kutatás relatív eredményével, hiszen ott a kétféle pályaszerkezet hordalék-termelése között 18-28-szoros különbséget mértek. A zúzottkő pályaszerkezetek átlagosan 50%-kal több hordalékot eredményeznek, mint az aszfalt burkolatú utak [Parsakhoo et al.; 2014]. A burkolatlan, vagy zúzottkő pályaszerkezettel ellátott utakon az üzemelés szakaszában a forgalom, a fenntartási munkák és az időjárás befolyásolja a járófelületen keletkező hordalék mennyiségét. Száraz időben a forgalom hatására az útfelületről finom szemcsék válnak le, amit a következő csapadékesemény hatására kialakuló felszíni lefolyás könnyen elmozdít. A kialakuló nyomvályúk a lefolyást csatornázzák, ezzel a sebességét növelik, ami fokozott hordalékszállítással párosul. A csapadékesemény időtartama alatti közlekedés csak akkor okoz jelentősebb hordalékmennyiség növekedést, ha a finom szemcséjű anyag már a csapadék előtt felhalmozódott az út felületén. A fenntartási munkák (pl.: földutak gréderezése, tömörítés nélkül) általában növelik a rendelkezésre álló laza anyag, és ezzel az úthálózatról származó hordalék mennyiségét [Ziegler et al.; 2001]. A szakirodalom egyetért abban, hogy az erdészeti úthálózatok legjelentősebb vízminőségre gyakorolt hatása a hordalékterhelés. Emellett az egyéb szennyező anyagok (pl.: nehézfémek, növényvédő szerek, szénhidrogének, mikrobiológiai szennyeződések) megjelenése csak kis mértékben fordulhat elő [Pájer és mtsai.; 1999] [Gucinski et al.; 2000].

3.1.3. Felszín alatti vizek

A bevágások a felszín alatti vizek áramlását zavarhatják meg [Daigle; 2010] [Kosztka; 2012]. A zavarás leggyakoribb esete, mikor a bevágási rézsű vízzáró réteget vág át. Ez az út fölötti részeken a talajvízszint csökkenéséhez, valamint a rézsű felületén szivárgó vízhez vezet [Kosztka; 2012]. Bizonyos esetekben még az út alatt lévő talajvízszinten is érezhető a hatás, más körülmények között pedig szinte észrevehetetlen [Marosi; 2001] [Luce; 2002]. Ezt a változatosságot klimatikus, talajbeli és domborzati okokkal lehet magyarázni [Luce; 2002].

Az utakra általánosan megállapított hatástávolságok Pájer és munkatársai [2007] alapján:

- Felszíni vizek: Közvetlen hatásterület kétoldalt 100-100 m
- Felszín alatti vizek: a vizsgált utaknál nem volt érzékelhető hatás a felszín alatti vizek áramlásában
- Vízminőség: Talajvízben a csapadékból és légszennyezésből eredő hatás 50 m-ig terjed. A közvetlen hatás 10-15 m távolságig és 2 m mélységig terjed

3.2. Talaj

3.2.1. Talajvesztesség

Az erdészeti utak kialakítása az erdő termőterületén, az erdőtalaj valamilyen szintű igénybevételével történik. Általánosan elmondható, hogy minél alacsonyabb az adott szállítópálya kiépítési színvonala, annál nagyobb mértékben használható a helyi talaj a megépítéséhez. Az erdészeti utak építési szakaszában a legjelentősebb talajra gyakorolt hatás az útpáasztáról a humuszos felső rész elszállítása, valamint a földmű kialakítása. Az útpáasztán kívül többlet területet foglalnak el az anyagárok és depóniák [Marosi; 2001]. A növényzet eltávolítása, a talaj megbontása és a terepfelszín módosítása a talaj erózióra való hajlamát erősíti. A tényleges erózió nagymértékben összefügg a vízviszonyok megváltozásával. A víz számára többé-kevésbé átjárhatóan járófelületen, illetve a természetesnél meredekebb – a töltések esetén tömörített – rézsűkön felszíni lefolyás alakulhat ki [Marosi; 2001] [Coffin; 2007]. A felgyorsuló, felszínen folyó víz a kisméretű, laza szemcséket magával ragadja, ezzel eróziót okoz. A rézsűk és az árok anyagának eróziója a helyi talaj elszállításaként fogható fel. Földutakon a felszíni lefolyás hatására a járófelületen kialakuló erózió is talajvesztességként

értékelhető. Az utak árokrendszeréből kivezetett víz az átteresztők kifolyási pontjai környékén talajeróziót okozhat, amit a 6. ábra mutat be [Kosztka; 2012].

A talajvesztés extrém formája a földcsúszás (7. ábra). Földcsúszás a természetben is előfordul, de a vízviszonyok megváltoztatásával a földmű építés is előidézheti, sőt, bizonyos formái a földművön fordulnak elő [Wemple et al.; 2001]. Az is igaz ugyanakkor, hogy a földmű szárító hatása az út fölötti talajokon a földcsúszás kockázatát csökkentheti [Borga et al.; 2005].

Esettanulmányok azonban azt mutatták, hogy az utakkal feltárt erdőterületen nagyobb a földcsúszások előfordulási valószínűsége, mint a nem feltárt területen [Gucinski et al.; 2000] [Wemple et al.; 2001]. Egy kisvizgyűjtőn is több, és nagyobb méretű földcsúszás alakult ki a rajta áthaladó erdészeti út 100 méteres környezetében, mint a többi részen [Hosseini et al.; 2011]. A földcsúszás veszélyét növeli ugyan az út, de kialakulásához szükséges a nagy és intenzív csapadék, a csúszásra hajlamos talaj jelenléte, és a meredek terepfelszín [Gucinski et al.; 2000].



6. ábra
Erózió a csőáteresztő kifolyási pontjánál



7. ábra
Rézsűcsúszás

Talajtömörödéssel akkor beszélhetünk, ha a talaj relatív tömörsége megnő. Talajtömörödés emberi hatásra létrejöhet a talaj szándékos tömörítésével, illetve a talaj felszínén mozgó járművek terhelésének hatására. A tömörödés mértéke a terhelés és a terhelő felület nagyságától, a terhelés idejétől, a terhelés közbeni vibrációtól és csúszástól, valamint a talaj szerkezetétől és víztartalmától függ [Koronikáné; 2008]. Az erdészeti úthálózat földművének töltési részét a helyi talaj tömörítésével hozzák létre. Az építéshez felvonuló munkagépek további talajtömörödést okozhatnak a létesítmény által elfoglalt területen kívül is. Az erdészeti utak megépítésével ugyanakkor az erdészeti járművek mozgása meghatározott nyomvonalakra koncentrálódik, ezzel a fennmaradó termőterületen a talajtömörödés mértéke minimálisra csökken [Kosztka; 2012].

3.2.3. Talajszennyeződés

A talajba a szennyező anyagokat a víz juttatja be. A szennyezés érkezik közvetlenül a szállítópályák felületéről lefolyó vízzel, vagy a levegőből a talajfelszínre, vagy a növényekre kiülepedő szennyezést a csapadék moshatja be a talajba, illetve a csapadék is lehet szennyezett. Erdészeti utak környezetében leginkább a forgalomból származó szennyezések fordulhatnak elő. Ezek az üzemanyagok égéstermékei, kopástermékek, valamint üzemanyag és kenőanyag. A talaj szempontjából a különböző fémek jelenthetnek problémát. A talajoldatba kerülő fémeket a növények felvehetik, és ez befolyásolhatja az életfolyamataikat [Koronikáné; 2008]. Egy Világbank által készített kézikönyv szerint a talajszennyeződés mértéke 20 000 jármű/nap forgalmú utak melletti 10 méteres sávban 25 év alatt éri el a kritikus szintet (KHVM 1996). Hollandiai kutatások szerint a 11 000-124 000 napi járműforgalmat bonyolító utak mellől vett növéymintákban a nehézfémek koncentrációja nem haladta meg az állati takarmányként való hasznosíthatóság határértékét [Forman and Alexander; 1998]. A magyar közúthálózaton a 20 000 jármű/nap értéknek a 84. sz. főút soproni bevezető szakasza felel meg [Magyar Közút; 2010]. Egy nagy turista forgalmú erdészeti úton egy átlagos nyári hétvégén kb. 100 jármű halad át [Kisfaludi, megjelenés alatt]. Az erdészeti utakon jégmentesítő sózást nem végeznek, és egyéb vegyszeres kezelés sem valószínű. Az eddigiekből következően az erdészeti utak talajszennyező hatása minimálisnak tekinthető.

A talajszennyezés hatásterületére vonatkozó megállapítások Pájer és munkatársai [2007] alapján:

- A forgalomból származó nehézfémek 30-50 m távolságig és 15-25 cm mélységig található meg az út melletti pásztaban
- A nehézfémek 90%-a az út menti 1-1,5 méteres sávon belül található
- A kadmium és a cink 5-10 cm távolságra, 0-10 cm mélyre jut el
- Az ólomterhelés a padkától számított 25-30 méteres sávban, 25-25 cm mélységig jellemző

3.3. Levegő

A levegő minőségére az utakon mozgó járművek által felvert, illetve az építés során keletkező por, valamint a kibocsátott égéstermékek vannak hatással. A levegő minőségét egy-egy jármű helyileg változtatja meg, ami hozzájárul a regionális és globális változásokhoz. A pászpanyitással megváltoznak a mikroklimatikus hatások, így a levegő áramlása, és hőmérséklete is.

3.3.1. Por

A felvert por forrásai leginkább a burkolatlan, vagy kötőanyag nélküli pályaszerkezettel ellátott utak lehetnek. A porfelverődés mértéke függ az út járófelületének anyagától és nedvességétől, valamint az áthaladó forgalom nagyságától és sebességétől. A felverődött por sokáig a levegőben maradhat, és a szél messzire szállíthatja [Gucinski et al.; 2000] [Coffin; 2007].

3.3.2. Gépjárművek kibocsátása

A legtöbb erdőgazdálkodásban alkalmazott gépjárművet dízelmotor hajtja. Ezekből a motorokból különféle anyagok és kipufogógáz kerül a levegőbe. A kipufogógáz 60-80%-a marad a levegőben, a többi a talajba és a vizekbe kerül [Fi; 2000]. A levegőbe kerülő anyagok között megjelenik a szénmonoxid (CO), széndioxid (CO₂), nitrogén oxidok (NO_x), kéndioxid (SO₂), ólom (Pb), metán (CH₄), illékony szerves vegyületek, korom, butadién, benzol, formaldehid és CFC-k. Ezek az anyagok hozzájárulnak az üvegházhatáshoz (CO, CO₂, NO_x, CFC), veszélyesek az ózonrétegre (CO, NO_x, CFC, illékony szerves vegyületek), savas esőt (NO_x, SO₂, illékony szerves

vegyületek), vagy egészségi ártalmakat okozhatnak. Az elsődleges szennyező anyagok a légkörben található anyagokkal és egymással is reakcióba léphetnek, így másodlagos szennyezőanyagok létrehozásában is részt vehetnek. Ilyen másodlagos szennyező anyag az ózon (O₃) és a kénsav (H₂SO₄) [KHVM; 1996] [Coffin; 2007].

Az utakra általánosan megállapított hatástávolságok Pájer és munkatársai [2007] alapján:

- A létesítés az építési és felvonulási területeken kívül azok nagyjából 100 méteres környezetében terheli a levegőt
- Erdészeti útnál a hatásterület az út melletti 10-10 m széles sáv

Az erdészeti utak légszennyező hatása az alacsony forgalom miatt legrosszabb esetben is csak mérsékeltnak mondható.

3.3.3. Mikroklimatikus változások

A vonalas létesítmények számára nyitott pászta (8. ábra) hatással van a levegő fizikai tulajdonságaira. A hatás mértéke a pászta tájolásától és szélességétől függ. A pásztaban felgyorsul, és turbulenssé válik a légáramlás, valamint az iránya is megváltozik. A szél járulékos hatásként szárítja a talajt, és hatással van a pászta szélén lévő növényzetre. A pásztaban és környezetében általában megnő a hőmérséklet, és lecsökken a relatív páratartalom [Coffin; 2007] [Koronikáné; 2008]. Ezek a hatások idővel mérséklődnek, ahogy a lombkorona valamilyen szinten záródik a pászta fölött. Egy középkorú bükk állományban nyitott 9 m széles pászta fölött a vizsgálatok szerint nagyjából 25 év alatt záródik a lombkorona [Potočník et al.; 2008].

Az utakra általánosan megállapított hatástávolságok Pájer és munkatársai [1999] alapján:

- Zárt erdőben nyitott útpászta esetén a pászta szélétől 3-30 m széles sávban érzékelhetők a változások
- Idős, színtezetlen állományokban akár 50-100 m távolságra is elérhetnek a hatások

3.4. Növényzet

A nyomvonalas létesítmények megépítéséhez területre van szükség. Az erdészeti utak az erdő talaján épülnek meg. Általában a létesítmény számára szükséges területsávban növények találhatóak, amelyek az építés első szakaszában eltűnnek. Bevágás készítésekor a pászta szélén álló fák gyökérzete is sérülhet. Meredek, sziklás terepen a leguruló nagyobb kövek okozhatnak károsodást a növényzetben [Pájer és mtsai.; 1999] [Marosi; 2001] [Caliskan; 2013]. A megépült út korlátozhatja, elválaszthatja a jellemzően vegetatív úton terjedő növények élőhelyét [Pájer és mtsai.; 1999].

A pászta nyitása és a gépjármű-forgalom következtében az út mentén a növényzetet közvetett hatások is érhetik.

3.4.1. Eltűnés

A megváltozott mikroklimatikus viszonyok miatt a szűk tűrőképességű növényfajok egyedei a „pásztahatás” területéről visszaszorulnak [Koronikáné; 2008]. Az uralkodó szélirányra merőlegesen nyitott pászta szélén álló idős fákra az eredeti állapothoz képest erősebb szélnyomás nehezedik, aminek eredményeképp széldöntés, vagy széltörés következhet be [Pájer és mtsai.; 1999]. A pásztahatás mellett a vízviszonyok változása és a forgalom által kibocsátott szennyező anyagok megjelenése ezek hatásterületén bizonyos egyedek, vagy fajok eltűnéséhez vezethet. Sőt, azt is kimutatták, hogy egyes fajok megléte, vagy hiánya magyarázható az útburkolat építéséhez felhasznált anyagokkal is [Godefroid and Koedam; 2004]. Az úthálózat kiépítésével az erdőhasználat mértéke is megnövekszik, ami nem természetközeli gazdálkodás esetén szintén bizonyos fajok eltűnését okozhatja. Az úthálózat kiépítésével megnőhet a falopás veszélye is [Marosi; 2001].



8. ábra
Erdészeti feltáróút pásztája

3.4.2. Kondícióromlás

A pászta szélén élő növények életfeltételei megváltoznak a mikroklimatikus viszonyok változásának köszönhetően. A megnövekedett napsugárzás miatt a hirtelen szabad állásba kerülő, vékony kérgű fajok idős, vagy középkorú egyedein héjaszás jelenhet meg. A jó regenerációs képességgel bíró fajok a szabadabb vált oldalukon fattyúhajtásokat növesztenek, ami a nagy vízigény miatt akár a korona csúcscsúszáradásához is vezethet. A szárazabbá váló talaj miatt a fák növekedése, valamint ellenálló képessége csökkenhet [Pájer és mtsai.; 1999].

3.4.3. Új fajok megjelenése

A pásztában és annak környékén megjelenő fajok általában a generalista, tápanyag-feldúsulást, bolygatást jelző, illetve taposástűrő növények közül kerülnek ki. Ezek a növények a pászta széléről indulva behatolnak az erdő belsejébe. Különböző faállományokat vizsgálva a kutatók nagyjából hasonló behatolási távolságokat állapítottak meg az újonnan megjelent fajokra. Általában azt a pásztaszéltől számított távolságot határozták meg, ahol még jelentős volt az új fajok előfordulása.

- Papp [1994]: Idős bükk állományban 6-8 m, szálánként 100 méterig
- Watkins et al. [2003]: 15 m, szálánként 150 méterig
- Koronikáné [2008]: Gyertyános tölgyes és bükkös állományban 15-20 m, 20-30 méterre már csak szálánként
- Lotfalian et al. [2012]: Vegyes lombos állományban 20 m, szálánként 100 méterig

Az útpásztában a légyszárú növények szempontjából hosszú időre megváltoznak a környezeti viszonyok, így az új fajok az út mentén képesek terjedni. A terjedést a járművek is segítik, hiszen a járműre tapadva, vagy a szállított áruval is utazhatnak a növények szaporító képletei. Ezáltal nemkívánatos fajok juthatnak el az érzékeny társulásokba is, megváltoztatva azok állapotát. E folyamat miatt a nyomvonalas létesítmények „gyomfolyosó” szerepet tölthetnek be [Pájer és mtsai.; 1999] [Gucinski et al.; 2000] [Coffin; 2007] [Koronikáné; 2008]. Az abiotikus környezeti elemek változása sok esetben hatásláncolatot indít el a pászta közeli növényekben. A sérült, vagy legyengült fákat könnyebben fertőzik a gombák, vagy támadják meg a rovarok [Pájer és mtsai.; 1999].

Az erdészeti utak tervezésénél elsődleges szempont, hogy a műszaki megfelelés mellett minimális területfoglalással valósuljanak meg. Emiatt a pásztaszélességük is ritkán haladja meg a 15 métert. Ezt a szélességet a visszamaradó állomány idővel benövi, és ezzel a mikroklimatikus viszonyokat egyre jobban közelíti az erdőbelsőben uralkodó viszonyokhoz.

3.5. Állatvilág

3.5.1. Eltűnés

A nyomvonalas létesítmények területfoglalása bizonyos állatokra közvetlen hatással lehet. A pásztaban fészkelő madarakra a pászta kitermelése jelent veszélyt, bár egyedpusztulásra csak fészkelési időszakban lehet számítani. A pászta talajában élő állatok a humuszos réteg eltávolításakor és a földmű kialakításakor károsodhatnak. A lassan mozgó állatok szintén áldozatul eshetnek az építésnek [Trombulak and Frissell; 2000].

3.5.2. Élőhelyek megszűnése, újjak kialakulása

A létesítmény általában nem foglal el akkora területet, hogy az egy populáció teljes élőhelyét megszüntesse, ez a veszély csak kis élőhelyek érintettségékor áll fenn. A kicsi, érzékeny élőhelyek akár az ideiglenes területfoglalás hatására is kritikus mértékű, visszafordíthatatlan változást szenvedhetnek [Pájer és mtsai. 1999]. Ugyanakkor a pásztaban az erdőbelsőktől különböző élőhely alakul ki. Ez lehetőséget teremt új fajok megjelenésére, és ezzel a biodiverzitás növekedésére. Az útpásztaban általában a kisméretű és az erdőszegélyhez kötődő madárfajok, valamint rovarok jelennek meg nagyobb számban [Gucinski et al.; 2000] [Coffin; 2007]. Šálek és munkatársai [2010] megállapították, hogy az erdészeti utak mentén kialakuló szegélyszalagok jelentősen növelhetik a madárfajok számát a területen, ha az útpászta elég széles (8 m fölött). Azt is kimutatták ugyanakkor, hogy a fajgazdagság alapján az útpászta nem tekinthető teljes értékű erdőszegélynek, hiszen az erdő és mezőgazdasági területek találkozásánál figyelték meg a legmagasabb fajszámot. A cserjék megjelenése játszotta a legnagyobb szerepet a fajszám növekedésében. Az elzáródó csőáteresztők, valamint a mély nyomvályúk ideiglenes vizes élőhelyek kialakulását eredményezhetik.

3.5.3. Élőhelyek elválasztása, összekötése

Jól ismert jelenség, hogy a közlekedési útvonalak bizonyos állatfajok vándorlását, mozgását korlátozzák [Fi; 2000]. Az erdészeti utak kis keresztmetszeti méretük és alacsony forgalmuk miatt teljes élőhely elválasztást csak ritkán okoznak. A rosszul kialakított vízfolyás keresztezések egyes populációk elkülönüléséhez vezethetnek [Pájer és mtsai.; 1999]. Egy Észak-amerikai felmérés megállapítása szerint a rosszul elhelyezett csőáteresztők egy halfaj élőhelyének 13%-át elérhetetlenné tették [Gucinski et al.; 2000]. Az erdészeti utak a szárazföldi, lassan mozgó, vagy talajlakó állatokra részleges élőhely elválasztó hatást gyakorolnak [Marosi; 2001]. Amerikai kutatók szalamandrákon mutatták ki a hatást. Megfigyelésük szerint a vizsgált egyedek fele nem jutott át a vizsgált erdészeti utakon. A meredek rézsúval kialakított utakon ez az arány még rosszabb volt [Marsh et al.; 2005].

Az utaknak az elválasztó hatás mellett összekötő szerepe is lehet. Néhány kutató megfigyelte, hogy bizonyos állatok a mozgásuk során előnyben részesítik az utakat, vagy az útpásztákat. Ennek egyrészt az lehetett az oka, hogy a pászta segítette a tájékozódást, másrészt télen azok az utak, amiről letakarították, vagy lejárták a havat, kényelmesebb előrejutást biztosítottak a nagytestű állatoknak. A harmadik ok az útpásztaban felmelegedő levegő lehet, amely könnyebbé teszi a repülő állatok számára a repülést [Gucinski et al.; 2000] [Trombulak and Frissell; 2000].

3.5.4. Vizes élőhelyek módosítása

Az erdészeti utakról jelentős mennyiségű hordalék érkezik a keresztezett vízfolyásokba, ezeken keresztül pedig a tavakba. A lebegő hordalék kiszűri a napfényt, ami a vízben oldott oxigénmennyiség csökkenéséhez vezet. A kevesebb oxigén a vízi állatok életfeltételeit általában rontja [Marosi; 2001]. A laza, nagyobb méretű kavicsos aljzat hézagait a leülepedő finom hordalék képes elzárni, kitölteni, miáltal ebben a rétegben a vízcserélődés csökken. Vannak olyan halfajok, melyek az ikráikat ebbe a laza rétegbe rakják. Az ikrák elpusztulnak, amennyiben nem jutnak friss, oxigéndús vízhez. Az érkező hordalék a tavakban felhalmozódhat. Ezzel bűvőhelyeket szüntet meg, valamint csökkenti a tó térfogatát, és ezzel a haleltartó képességét. A bűvő és telelő helyeken felhalmozódott hordalék a békák egyedszámára is negatív hatással van. A lebegtetett hordalék miatt lecsökkenő algaprodukciónak pedig a vízi gerinctelenek életfeltételeit befolyásolja, hiszen ezek nagy többsége algákkal táplálkozik [Gucinski et al.; 2000].

3.5.5. Elütés

Közutakon a vadélütés a forgalom egyik legszembetűnőbb hatása. Az állatok az élőhelyük megközelítése, vagy

táplálkozás céljából tartózkodnak az úton. Mivel a közutak szélesek, az állatoknak sokáig tart az átkelés, táplálkozással pedig szintén hosszú időt tölthetnek az úton. Emiatt itt viszonylag nagy az esélye az állat és jármű találkozásának [Coffin; 2007]. Az elütés másik fontos tényezője a gépjármű forgalom nagysága és sebessége. Mivel az erdészeti utakon kicsi a forgalom, és a megengedett sebesség általában 30 km/h, csak a nehezen észrevehető, lassú állatok vannak kitéve jelentős elütési veszélynek. A hullók és kétéltűek az erdészeti utakat testük hűtésére, vagy fűtésére is használják, ami miatt hosszú időt töltenek a burkolaton, vagy annak közelében. A kétéltűek a szaporodási időszakban vándorlásra kényszerülnek, ami sok esetben útkeresztezéssel jár. Ezért a hullók és a kétéltűek elütése a legvalószínűbb [Gucinski et al.; 2000].

3.5.6. Zavarás, zaj

Utak környezetében a vadon élő állatok megváltoztatják a lakóhelyüket, amiből az utak zavaró hatására lehet következtetni. Ezt a hatást leginkább a forgalom zaja váltja ki, de megfigyeltek olyan esetet is, amikor az út, és a rajta haladó forgalom láthatósága okozta egy adott állatcsoport távolabb költözését. A zaj hatása a különböző állatokra eltérő lehet attól függően, hogy milyenek a zaj tulajdonságai, és milyen az adott állat érzékenysége. A zaj legfontosabb tulajdonságai a spektrum, a jellemző frekvencia tartományok, és a hangnyomás mértéke. Vadon élő állatok zajtűréséről csak korlátozott információ áll rendelkezésre. Általánosságban elmondható, hogy azokra az állatokra van nagyobb hatással a zajszennyezés, melyek elsősorban hang útján kommunikálnak. A zavaró hatás nem feltétlenül végleges, hiszen az állatok képesek alkalmazkodni a megváltozott zajterheléshez [Pájer et al.; 1999] [Marosi; 2001] [Coffin; 2007].

3.5.7. Vadászati nyomás

Az úthálózattal elérhetővé tett erdőterületen a fahasználati tevékenységek mellett a vadgazdálkodási tevékenységek is könnyebben megvalósíthatók lesznek. Emiatt a jól feltárt erdőtömbökben a vadászható fajokra a zavaráson kívül növekvő vadászati nyomás is nehezedik. A tervezett vadgazdálkodás ugyan igyekszik figyelembe venni a természetes folyamatokat, és így egyensúlyt kialakítani, azonban az orvvadászok erre nincsenek figyelemmel. Emiatt a vad populációk belső, és a környezetükkel fennálló egyensúlya felborulhat [Gucinski et al.; 2000] [Trombulak and Frisser; 2000] [Marosi; 2001] [Coffin; 2007].

3.6. Művi környezet

A megépült erdészeti úthálózat által feltárt erdőterület a megnövekedett faanyagszállítás miatt a közúthálózatra bizonyos pontokon megnövekedett terhelést ró [Cenek et al.; 2012]. A nehézforgalom sokszor egy erdő mellett lévő település önkormányzati útján éri el a közúthálózatot. Ezeknek az utaknak az állapota a közutaknál gyorsabban romlik, mivel általában nem átmenő nehéz forgalomra lettek tervezve, így pályaszerkezetük sem ennek megfelelő teherbírású. A nehézforgalom által keltett rezgés károsan befolyásolhatja a forgalommal terhelt utak melletti épületeket.

3.7. Ember

A feltárt erdőterület közelében élő lakosság számára az erdőgazdálkodás munkát, és ezzel megélhetést tud biztosítani. A megfelelő színvonalon kiépített erdészeti úthálózat lehetővé teszi a munkások és gépek biztonságos és gyors közlekedését, ami a hatékony erdőgazdálkodás elengedhetetlen feltétele. Ezen felül az időjárásbiztos utakon az erdőgazdálkodást felügyelő szervek, a katasztrófavédelem, valamint az erdészeti kutatásban dolgozók járművei is közlekedhetnek a termőtalaj és a növényzet jelentős károsítása nélkül [Marosi; 2001].

Az erdei környezet az emberek számára az egyik legfontosabb rekreációs lehetőséget jelenti. Úthálózat hiányában azonban az erdő távolabbi részeinek megközelítése, valamint a tájékozódás nehézkes. Sőt, a mozgásukban korlátozott emberek a kiépített utak hiányában csak nagyon nehezen tudnák élvezni az erdő jótékony hatásait. Az is igaz ugyanakkor, hogy a magas szolgáltatási színvonalú utak kiépítésével bizonyos területek látogatottsága olyan mértékűt ölthet, ami sok embert már zavar a nyugodt pihenésben. Arról nem is beszélve, hogy a megnövekvő forgalom óhatatlanul is a természet szennyezéséhez, károsodásához vezet, ami tovább rontja az erdőlátogatás élményét [Gucinski et al.; 2000]. A turizmussal kapcsolatban megemlíthető, hogy az erdőben szerencsétlenül járt turisták mentése is sokkal hatékonyabban megoldható, ha rendelkezésre áll a gépjárművel járható úthálózat. Ez természetesen igaz a balesetet szenvedett erdőgazdasági dolgozók mentésére is [Marosi 2001]. A rendszeres erdőlátogatásnak az egészségmegőrzésben is fontos szerepe van.

Ezért az erdészeti úthálózatok hozzájárulhatnak az erdő közelében élő, vagy oda látogató lakosság egészséges életmódjához.

Gucinski és munkatársai [2000] említenek még egy erdészeti utakkal kapcsolatos hatást, ami az embereket éri. A nyomvonalas létesítmények hatására a vizekben megnövekvő hordalékmennyiség befolyásolja az ivóvíz készletek minőségét, ami a vizet használó lakosság egészségi állapotára lehet káros hatással. A vizet természetesen szűrhetik, ez azonban többlet energia-befektetést igényel.

3.8. Környezeti elemegüttesek

A legtöbb környezeti hatás nem kizárólag egy környezeti elem állapotában okoz változást. Egy környezeti elem állapotváltozása közvetett hatással lehet más elemek állapotára is. Emiatt vannak olyan hatások, melyeket a környezeti elemeknél magasabb szinten, az elemegüttesek szintjén is meg kell vizsgálni.

3.8.1. Ökoszisztéma

Azokat az elemegütteseket, amelyekben a természeti jellegű elemek dominálnak, a környezeti hatásvizsgálat gyakorlatában ökoszisztémának nevezik [Pájer; 1998]. Az erdészeti úthálózatok leginkább az erdei és a vízi ökoszisztémákra vannak hatással.

A környezeti elemek vizsgálatánál többször felmerült a pásztyítás, mint a változást kiváltó ok. Ez a tevékenység megváltoztatja a talajt, a vizet és a mikroklimatikus viszonyokat, valamint ezzel együtt az állati és növényi populációk életkörülményeit is. Ezzel az erdei ökoszisztéma helyett egy más minőség, az erdőszegély jelenik meg. Hasonlóan összetett hatás figyelhető meg a vízi ökoszisztémák vizsgálatakor. A lefolyási viszonyok megváltozása fokozott hordalékképződéshez és árhullámokhoz vezet az erdészeti utak által keresztezett vízfolyásokban. Ez egyrészt befolyásolja az itt élő állatokat, másrészt hatással van a befogadó állóvizekre, és azok élővilágára is [Koronikáné; 2008].

Az erdei ökoszisztémákban nagy kárt tehet a vegetációtűz. Magyarországon az erdőtüzek kialakulása 80-90%-ban emberi hatással, ezen belül is a mezőgazdasági területen végzett égetés kontrolálatlanná válásával magyarázható [Nagy; 2004a]. Az erdészeti úthálózatok kettős szerepet játszanak az erdőtüz kialakulásában és terjedésében:

Az erdészeti utak egyrészt hozzájárulnak a tűz terjedésének megállításához. Az elég széles pásztyával rendelkező, jól karbantartott utak pásztyájában nincs elég éghető anyag, valamint a fák koronái sem érnek össze, emiatt a tűz nem tud tovább terjedni [Curt and Delcros; 2010]. Arra nézve, hogy a pásztya szélén átalakult növényzet súlyosbítja, vagy mérsékli a tűzkárt, kutatások bizonyították, hogy az esetek többségében a mérséklő hatás érvényesül [Narayanaraj and Wimberly; 2013]. Az időjárásbiztos, nehézforgalom elviselésére alkalmas úthálózaton a tűzoltó járművek felvonulása jóval könnyebb, mintha a terepen kellene megközelíteniük a tüzet. A tűzpásztyaként is funkcionáló utakról indulva eredményesen lehet védekezni az erdőtüzek ellen [Nagy; 2004b].

Másrészt az úthálózat kiépítése hozzájárulhat az erdőtüzek kialakulásához. Az erdőtüzek kialakulásának okait vizsgálva megállapították, hogy az emberi eredetű tüzesetek legnagyobb számban az erdészeti utak környezetében, és a településekhez közel fordultak elő. Ezzel szemben a természetes eredetű tüzek az utakkal kevésbé behálózott erdőterületen alakultak ki. Megállapították ugyanakkor, hogy a természetes eredetű tüzek nagyobb területre terjedtek ki, több kárt okoztak. Ebből azt a következtetést vonták le, hogy az erdészeti úthálózat összességében inkább segíti az erdőtüz által okozott károk mérséklését [Narayanaraj and Wimberly; 2012].

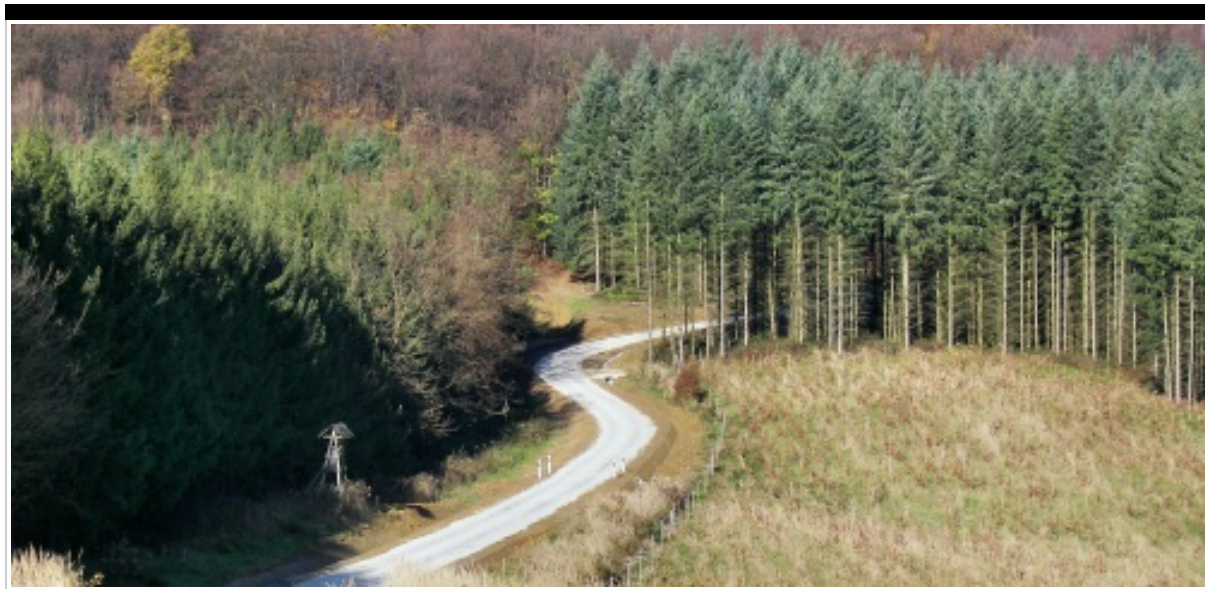
Az erdészeti úthálózatok a tűz mellett más természeti katasztrófa (pl. rovarkár) elhárításában is szerepet játszhatnak, ezzel elősegítik a környezetükben található ökoszisztémák fennmaradását.

3.8.2. Település

Azokat a környezeti elemegütteseket, amelyekben az emberi és a művi elemek dominálnak, környezeti hatásvizsgálat gyakorlatában településnek nevezik [Pájer; 1998]. Az erdészeti úthálózat kiépítésével az emberek életminősége emelkedik, ami jó hatással lehet a művi környezet állapotára is. Így a település szintjén megállapítható, hogy az erdészeti úthálózatok a művi környezetre gyakorolt közvetlen negatív hatásuk ellenére összességében inkább pozitív hatást fejtenek ki.

3.9. Táj

A környezeti hatásvizsgálatok gyakorlatában a környezeti rendszer legnagyobb léptékű vizsgálati egysége a táj. A táj magába foglalja a természeti és a művi elemeket, valamint az embert, ugyanúgy, ahogy az ökoszisztémákat és a településeket is [Pájer; 1998]. A nyomvonalas létesítmények földművei közvetlenül, és közvetve is megváltoztatják a domborzati és a tájképi viszonyokat. Mesterséges voltuktól adódóan a táj művi jellegét erősítik. A jó vonalvezetés, a tájba illesztett műtárgyak és a feladatnak megfelelő útsűrűség ezt a hatást jelentősen csökkenthetik (9. ábra). Az úthálózat kiépítése hozzájárulhat az új, vagy addig nem jelentős tájhasználati formák térnyeréséhez.



9. ábra
Erdészeti feltáróút látképe

Az erdészeti úthálózat a táj egészére nézve és a mikrotájra is csak jelentéktelen, illetve mérsékelt hatásokkal bír [Pájer és mtsai.; 1999].

4. Környezetvédelmi szabályozás

A környezeti elemekben és elemegyüttesekben bekövetkező változásokat megvizsgálva megállapítható, hogy az erdészeti utak hatásai legrosszabb esetben is csak mérsékeltnek mondhatók. Ez egyrészt az erdészeti utak jellegéből következik, hiszen viszonylag kis forgalmat kell kiszolgálniuk alacsony szolgáltatási színvonal mellett, ami lehetővé teszi a technológiai minimumot közelítő kiépítést. Másrészt az erdészeti utak építésére vonatkozó szabályozások biztosítják a környezet- és természetvédelmi szempontok érvényesülését. Törvényi erejű szabályozás a 2009. évi XXXVII. törvény (erdőtörvény) és az ehhez tartozó 153/2009. FVM rendelet, az 1996. évi LIII. törvény (természetvédelmi törvény), valamint az 1995. évi LIII. törvény (környezetvédelmi törvény) és az ehhez tartozó 314/2005. (hatásvizsgálati) kormányrendelet. Ezek mellett az erdészeti utak tervezői hatályos szabályozás híján általában elfogadják, és betartják az Erdészeti Utak Tervezési Irányelveiben (EUTI) foglaltakat. A törvényi szabályozásokról általánosan elmondható, hogy az arányos létesítmények megépülését csak akkor nem támogatják, ha azok kiemelten értékes természeti területet érintenek, illetve várható hatásuk jelentős. A várható hatásokat és azok mértékét a 314/2005. kormányrendelet alapján környezeti hatásvizsgálattal kell megállapítani. A rendelet az erdőterület igénybevétel hatásvizsgálatát akkor tartja szükségesnek, ha az a 10 hektárt meghaladja. Ez az érték nagyjából egy 10 km hosszú átlagos erdészeti út területfoglalásának felel meg. Az erdészeti utak ezt a hosszt ritkán érik el, amiből arra lehet következtetni, hogy a jogalkotó általános esetben nem számol jelentős hatással. Az erdőtükrény a nyomvonalas létesítmények hatásai közül a talajt érő hatások mérséklésére tartalmaz előírásokat. Eszerint a nyomvonalas létesítmények építésekor a talajtömörödést és az eróziót meg kell akadályozni, valamint – a végrehajtási rendelet értelmében – a létesítmény területén található humuszos talaj mentéséről gondoskodni szükséges. A végrehajtási rendelet az úthasználatot is szabályozza, amivel az utak társadalomra gyakorolt hatásait kívánja kiegyensúlyozni. Az EUTI-ben az ökológiai szempontok a pásztaszélesség minimalizálásában, illetve a vízviszonyok maximális

figyelembevételében jelennek meg.

5. Összefoglalás

Az erdészeti úthálózat a tartamos erdőgazdálkodás, és az erdei rekreáció elengedhetetlen része [Kosztka és mtsai.; 2003], ezért amíg a társadalom nagymértékben igényt tart az erdő javaira, addig az úthálózatok környezeti hatásaival számolni kell. Az erdészeti utak hatással vannak a természeti és az ember alkotta környezetre, valamint magára az emberre is. A hatások a különböző környezeti elemek szempontjából lehetnek pozitívak és negatívak. Az erdészeti úthálózat pozitív hatásai az erdőterület megközelíthetőségével kapcsolatosak. Lehetővé teszik az erdészeti, és egyéb járművek, valamint más erdőbe látogatók gyors és biztonságos közlekedését, amivel a termőterületet nagyrészt mentesítik a forgalom káros hatásai alól. Biztosítják a faanyag hozzáférhetőségét, valamint a katasztrófa elhárítás számára nélkülözhetetlen útvonalakat. A közforgalmú szállítópályákkal ellentétben az erdészeti utak csak kis forgalmat szolgálnak ki. Emiatt kiépítési színvonaluk a technológiai minimumot közelíti, és ezzel együtt területfoglalásuk, és a környezetre gyakorolt negatív hatásuk is jóval elmarad közforgalmú utakétól. A negatív hatások közül az irodalmak tartalma és mennyisége alapján a vízviszonyok megváltoztatása a legjelentősebb, mivel ez egy hosszú hatásláncolat elindítója. Erdészeti utak létesítésénél már a tervezési fázisban sokat tehet a tervező az út negatív hatásainak csökkentéséért. A jól meghatározott forgalmi szerep, és forgalmi terhelés lehetővé teszi a lehető legkisebb keresztmetszeti méretek alkalmazását. A terephez jól illeszkedő vonalvezetéssel elkerülhető a szükségtelenül nagy töltések és bevágások kialakulása, ami az út területfoglalását csökkenti, valamint biztosítja a földmű állékonyságát. A vízvezetés tervezésekor az erdőmérnök képes felmérni, és minimalizálni a várható ökológiai hatásokat. A helyesen megválasztott vízfolyás keresztezések szükségtelenné teszik a nagyméretű, bonyolult műtárgyak építését, amivel nem csak az ökológiai, hanem az ökonómiai hatások is mérsékelhetők. Erdészeti utak építésekor törekedni kell az arányos gépek alkalmazására, valamint a technológiai fejelem betartására. Ezzel biztosítható, hogy az átgondoltan megtervezett út valóban minimális hatást gyakoroljon a környezetére. Összességében tehát elmondható, hogy a tervezési és jogszabályi előírások, valamint a technológiai fejelem betartásával létesülő erdészeti utak úgy szolgálják a társadalom javát, hogy közben a természeti környezetet csak kis mértékben változtatják meg.

6. Irodalom

Borga, M., Tonelli, F., Fontana, G. dalla, Cazorzi, F. (2005): Evaluating the influence of forest roads on shallow landsliding. *Ecological Modelling*, 187: 85-98.

Brown, K. R., Aust, W. M., McGuire, K. J. (2013): Sediment delivery from bare and gravel forest road stream crossing approaches in the Virginia Piedmont. *Forest Ecology and Management*, 310: 836-846.

Caliskan, E. (2013): Environmental effects of forest road construction on mountainous terrain. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 10:23.

Cenek, P; Henderson, R; McIver, I; Patrick, J (2012): Modelling of extreme traffic loading effects. *New Zealand Transport Agency research report 499*. 55 pp.

Coffin, A. W. (2007): From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15: 396-406.

Csáfordi P., Pődör A., Bug J., Gribovszki Z. (2012): Soil erosion analysis in a small forested catchment supported by ArcGIS Model Builder. *Acta Sylvatica et Lignaria Hungarica*, Vol. 8, 2012. ps. 39-55.

Curt, T. and Delcros, P. (2010): Managing road corridors to limit fire hazard. A simulation approach in southern France. *Ecological Engineering*, 36: 457-465.

Daigle, P. (2010): A summary of the environmental impacts of roads, management responses, and research gaps: A literature review. *BC Journal of Ecosystems and Management*, 10 (3): 65-69.

Fi I. (2000): *Utak és környezetük tervezése*. Műegyetemi Kiadó, Budapest. 379 o.

Forman, R. T. T. and Alexander, L. E. (1998): Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 207-231.

- Gribovszki, Z., Kalicz, P., Kucsara, M. (2006): Streamflow Characteristics of Two Forested Catchments in Sopron Hills. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, Vol. 2. 2006. p. 81-92.
- Gruszowski, K. E., Foster, I. D., Lees, J. A., Charlesworth, S. M. (2003): Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. *Hydrological Processes*, 17: 2665–2681.
- Gucinski, H., Furniss, M. J., Ziemer R. R., Brookes, M. H. (szerk.) (2000): Forest roads: A synthesis of scientific information. United States Department of Agriculture Forest Service.
- Hosseini, S. A., Lotfi, M., Lotfalian, M., Kaviani, A., Parsakhoo, A., (2011): The effect of terrain factors on landslide features along forest road. *African Journal of Biotechnology*, 10 (64): 14108-14115.
- Jordán, A. and Martínez-Zavala, L. (2007): Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. *Forest and Ecology Management*, 255: 913-919.
- KHVM – Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium, Közúti Főosztály (1996): Közúti Közlekedési Füzetek 13: Utak és a környezet – A világbank kézikönyve alapján. Útgazdálkodási és Koordinációs Igazgatóság, Budapest. 98 o.
- Kisfaludi B. (megjelenés alatt): Erdészeti utak forgalmának meghatározása kamerás megfigyeléssel. Erdészettudományi Közlemények. Várható megjelenés: 2014.
- Koronikáné P. J. (2008): Az útkörnyezet hatásterjedést befolyásoló szerepe természeti területeken. Doktori értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron.
- Kosztka M.; Markó G. és Péterfalvi J. (2003): Feltáráshálózat tervezése a Börzsönyben dinamikus hálózattervezéssel. *Közúti és Mélyépítési Szemle* 53 (9): 22-26.
- Kosztka M. (2009): Erdészeti útépités: Erdészeti utak építése. Egyetemi tankönyv. Országos Erdészeti Egyesület, Budapest. 320 o.
- Kosztka M. (2012): Erdészeti útépités: Erdészeti utak tervezése. Egyetemi tankönyv. Országos Erdészeti Egyesület, Budapest. 319 o.
- Kucsara M (2013): Az erdészeti utak menti szegélyárok szakaszolása az eróziómentes hossz alapján. *Útügyi Lapok*, 2: 1. cikk. <http://utugyilapok.hu/cikkek/az-erdeszeti-utak-menti-szegelyarok-szakaszolasa-az-eroziomentes-hossz-alapjan/> (Utolsó letöltés: 2014. 11. 10.)
- Kucsara M., Péterfalvi J., Gribovszki Z, Kalicz P. Markó G., Makkai Zné., Balázs L. (2013): Műszaki és ökológiai szempontokat figyelembe vevő új tervezési technológia és irányelv kidolgozása az erdészeti utak víztelenítésére és vízi-környezetbe illesztésére. Tanulmány, NYME-ERFARET Nonprofit Kft., Sopron. 72 o.
- La Marche, J. L. and Lettenmaier, D. P. (2001): Effects of forest roads on flood flows in the Deschutes River, Washington. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 115-134.
- Lotfalian, M. Riahifar, N., Fallah, A., Hodjati, S. M. (2012): Effects of roads on understory plant communities in a broadleaved forest in Hyrcanian zone. *Journal of Forest Science*, 58 (10): 446-455.
- Luce, C. H. (2002): Hydrological processes and pathways affected by forest roads: what do we still need to learn? *Hydrological Processes*, 16: 2901-2904.
- Magyar Közút Nonprofit Zrt. (2010): A közúti forgalom figyelemmel kísérése 2010. KÖZLEKEDÉS Fővárosi Tervező Iroda, Budapest. 302 o. Dokumentum hivatkozási száma: 4329-01-FOR-FUV-01-002-03
- Marosi Gy. (2001): Erdészeti utak hatásainak elemzése. Doktori értekezés. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron.
- Marsh, D. M., Milam, G. S., Gorham, N. P., Beckman, N. G. (2005): Forest roads as partial barriers to terrestrial salamander movement. *Conservation Biology*, 19 (6): 2004-2008.
- Motha, J. A., Wallbrink, P. J., Hairsine, P. B., Grayson, R. B. (2003): Determining the sources of suspended sediment in a forested catchment in southeastern Australia. *Water Resources Research*, 39 (3): 1056.
- Nagy D. (2004a): Erdőtűzek megelőzése a nemzetközi tapasztalatok tükrében. *Védelem*, XI (3): 34-35.
- Nagy D. (2004b): Az erdőtűzoltás fejlesztési lehetőségei a nemzetközi tapasztalatok tükrében. *Védelem*, XI (4): 43-46.

- Narayanaraj, G., and Wimberly, M. C. (2012): Influences of forest roads on the spatial patterns of human- and lightning-caused wildfire ignitions. *Applied Geography*, 32: 878-888.
- Narayanaraj, G., and Wimberly, M. C. (2013): Influences of forest roads and their edge effects on the spatial pattern of burn severity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23: 62-70.
- Papp V. (1994): Az erdei út hatása környezetére. Tanulmány, Miskolc.
- Parsakhoo, A., Lotfalian, M., Kavian, A., Hosseini, S. A. (2014): Prediction of the soil erosion in a forest and sediment yield from road network through GIS and SEDMODL. *International Journal of Sediment Research*, 29: 118-125.
- Pájer, J. (1998): Környezeti hatásvizsgálatok. Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron. 138 o.
- Pájer J., Szabó I., Kosztka M., Nyári L., Molnár A., Winkler D. (1999): Környezeti hatáselőrejelzési tanulmány erdészeti feltáróút természeti területen való létesítéséhez. Tanulmány. Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezettudományi Intézet, Sopron
- Pájer J., Koronikáné P. J., Papp Gy., Varga F. (2007): A környezeti hatásvizsgálat módszertanának és alkalmazásának fejlesztése, II. kötet: Szállítópályák környezeti hatásai. Kutatási zárójelentés. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Környezeti erőforrás-gazdálkodási és –védelmi Kooperációs Kutatási Központ, Sopron. 95 o.
- Pájer J., Király A. és Király G. (2012): Eseti vizsgálati dokumentáció a Cák-velemi erdészeti feltáróút felújítása és lejárók kiépítése projekt NATURA 2000 területre gyakorolt hatásai jelentőségének meghatározásához. NymE Környezet- és Földtudományi Intézet, Környezetvédelmi Tanszék, Sopron.
- Potočník, I., Pentek, T., Pičman, D., Papa, I., Poje, A: (2008): Filling in the clearance of a forest road cross-section in beech forest. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 29 (1): 53-62.
- Šálek, M., Svobodová, J., and Zasadil, P. (2010): Edge effect of low-traffic forest roads on bird communities in secondary production forest in central Europe. *Landscape Ecology*, 25: 1113-1124.
- Sheridan, G. J. and Noske, P. J. (2007): A quantitative study of sediment delivery and stream pollution from different forest road types. *Hydrological Processes*, 21: 387-398.
- Sidle, R. C., Sasaki, S., Otsuki, M. Noguchi, S., Nik, A. R. (2004): Sediment pathways in a tropical forest: effects of logging roads and skid trails. *Hydrological Processes*, 18: 703-720.
- Tague, C. and Band, L. (2001): Simulating the impact of road construction and forest harvesting on hydrologic response. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 135-151.
- Trombulak, S. C. and Frissell, C. A. (2000): Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14 (1): 18-30.
- Watkins, R. Z., Chen, J., Pickens, J., Brososke, K., D. (2003): Effects of roads on understory plants in a managed hardwood landscape. *Conservation Biology*, 17 (2): 411-419.
- Wemple, B. C., Swanson, F. J., and Jones, J. A. (2001): Forest roads and geomorphic process interactions, Cascade Range, Oregon. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 191-204.
- Ziegler, A. D., Sutherland, R. A. and Giambelluca, T. W. (2001): Interstorm surface preparation and sediment detachment by vehicle traffic on unpaved mountain roads. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 235-250

Adatok

Megjelent itt

4. szám
2014. ősz



Szerző

Kisfaludi Balázs

Témakörök

Kiemelt • Útépítés

Kulcsszavak

erdészeti út • erdőgazdálkodás • környezet • környezeti hatásvizsgálat • természetvédelem

Befogadva

2014. december 18.

Abstract

Forest roads, as man-made facilities, and the activities carried out on them are affecting the natural and artificial environment as well as humans themselves. This article presents impacts, that were found to be important by the Hungarian and international literature. The impacts are presented by the elements of the model of the environment used in environmental impact assessment. It can be stated that the most important positive effect apart from the possibility of forest management is the contribution of roads to recreation. The most significant negative impact of forest roads are on water and soil conditions. Even these impacts are not greater than moderate. Environmental impact of forest roads are considered to be lower than of highways due to their smaller geometric scale and lower traffic. However, forest roads are mainly built on natural areas whose protection is of great importance, therefore the impacts should be kept as low as possible. By knowing the potential impacts, the designer and the owner of the road alongside with the authorities are able to develop a system of criteria and regulations that can lead to reduced environmental impacts. Keywords: forest road, environment, environmental impact assessment, nature conservation, forest management

2 hozzászólás ehhez: "Erdészeti utak környezeti hatásai"



Máté András szerint:

2014 december 22. - 17:54

Tisztelt Szerzők!

Gyorsan átfutva az utak hatását általánosság szintjén – feltételezem oktatható tananyagnak szánt – cikket hiányosnak érzem, különösen az állatvilágra gyakorolt hatásait illetően.

Csak egy konkrét példát említenék: van olyan - korábban az É-Középhegység magasabb régiójában előfordult – lepketaxon (*Pieris bryonie*), amely éppen azért tűnt el, mert az erdészeti feltáró utak kiépítése lehetőséget nyújtott egy közel rokon lepketaxon (*Pieris napi*) számára a feljutásra. A két lepke hibridizálódott, aminek az lett a vége, hogy a specialista – hegyi - taxon beolvadt a gyakoriba, eltűnt. Természetesen ez esetben az eltűnt

állat taxonómiai hovatartozása, taxonómiai értelemben vett elkülönülésének mértéke vitatható, de a tény az tény. A feltáró utaknak jelentős szerepe volt egy elszigetelt élőlénycsoport eltűnésében.

Áldott, békés karácsonyt!

Válasz



Markó Gergely szerint:

2015 január 18. - 19:20

Kedves Máté András,

azt szeretném megkérdezni, hogy az Északi-középhegység magasabb régióiba hogyan került oda a Pieris bryonie? Hogyan tudott áttörni az alacsonyabb régiókban hemzseggő Pieris napi hordákon úgy, hogy közben nem kereszteződött?

A bryonie nem belterjes faj, a Wikipedia szerint az Alpokban több helyen is előfordul.

Ok, gyorsan átjutottak, nem álltak meg párosodni holmi napikkal.

De ha a napi csak akkor tudott felrepülni, amikor végre megépült a feltáróút, akkor a bryonie hogyan kelt át a sűrű erdőn? Ő (bryonie) át tud repülni a fák között is, veszélyes cikk-cakk manővereket vállalva, a napi meg csak az úton?

Válasz

Hozzászólás

* Név	<input type="text"/>
* Email	<input type="text"/>
Honlap	<input type="text"/>
Hozzászólás	<input type="text"/>
<input type="button" value="Hozzászólás elküldése"/>	

[Bejegyzések](#)

[Galéria](#)

[Impresszum](#)

[Interjúk](#)

[Könyvajánló](#)

[Nemzetközi szemle](#)

[Témakörök](#)



Határon átnyúló közlekedési jellemzők felmérése – az EMAH projekt főbb eredményei

Szerző(k) **Németh András, Serbán Viktor, Szűcs Hajnalka és Trepper Endréné**

Kivonat

Az Öko-mobilitás elősegítése az osztrák-magyar határtérségben - EMAH című projekt a Bécsi Közgazdaságtudományi Egyetem, mint vezető partner koordinációjával a Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. (továbbiakban: KTI) és a Bécsi Műszaki Egyetem együttműködésében valósult meg. A projekt fő célja a programterületen ingázó dolgozók, diákok utazási szokásainak befolyásolása a környezetbarát közlekedési módok támogatása révén és ennek segítségével az egyéni közlekedés széndioxid kibocsátásának csökkentése az osztrák-magyar határtérségben.

A KTI a projektben vállalt feladatmegosztás alapján 2013 májusában és júliusában egy-egy több napos felmérés-sorozattal térképezte fel a határon átnyúló közforgalmú közlekedés szolgáltatási színvonalát. Rendszeres, határon átnyúló menetrend szerinti közúti személyszállítást csak a Vasi Volán Zrt. végez, jellemzően a határ két oldalán fekvő szomszédos kistelepülések között ingázó diákok utazási igényeit kielégítve, ezért csak a határt átszelő öt vasútvonal képezte a vizsgálat tárgyát. Ezen túlmenően 2013 októberében a KTI a hét legforgalmasabb osztrák-magyar határátkelő esetében felmérte a közúti utasforgalom volumenét, valamint fontosabb jellemzőit is.

A projekt következő feladata az osztrák-magyar határ közelében elhelyezkedő munkáltatóknál a dolgozók utazási szokásainak felmérése és a környezetbarát közlekedési módok támogatására intézkedéscsomagok kidolgozása volt. Olyan öko-mobilitást ösztönözni hivatott javaslatok, intézkedések kidolgozására került sor, mellyel a releváns vállalatok elősegíthetik dolgozóik körében a környezetkímélő közlekedési eszközök használatát. A munka során a projekt partnerek a saját országukban érintett munkáltatókkal vették fel a kapcsolatot és végezték el a méréseket.

A projekt során az egyes vállalatok felé kidolgozott öko-mobilitási intézkedési javaslatok megvalósítására mindeddig nem került sor. A projekt résztvevőinek nincs a kezükben olyan eszköz, amellyel az egyes döntéshozók felé nyomást tudnának gyakorolni a munkába járási közlekedési szokások megváltoztatására vonatkozó javaslatok végrehajtása tekintetében.

A projekt megvalósítása során több olyan esemény megrendezésére is sor került, amely hangsúlyozta a lehetőségeket és a javaslatok fontosságát. A projekt eredményei valószínűsíthetően később fognak beérni.

1. Bevezetés

Az egyéni közlekedés, vagyis a személygépkocsi közlekedés egyre nagyobb szerepet játszik a mobilitási szükségletek kielégítésében, de még hosszú távon sem válik kizárólagossá, mivel nem hozzáférhető mindenki számára. Ugyanakkor környezetvédelmi szempontból sem a legkedvezőbb közlekedési mód. A közforgalmú közlekedés a társadalom egészére kedvezőbb és számos előnnyel jár.

A határon átnyúló közlekedés sajátos helyzetben van. Az EU tagállamai közötti schengeni egyezmény eltörölte a belső határokat, amely a határon átnyúló közlekedésben sajátos helyzetet teremtett. Az egyéni közlekedésben, a személygépkocsival történő utazásnál gyakorlatilag semmiféle korlátot nem jelent a határ, vagyis akadálytalanul haladnak át a határátkelőhelyeken. Ezzel szemben a menetrend szerinti közforgalmú közlekedésben továbbra is bizonyos mértékű elválasztó szerepet játszik a schengeni határ. A határon átnyúló, nemzetközi közforgalmú közlekedés jogszabályi környezete eltér a belföldi közforgalmú közlekedéstől. Az állam nem tekinti közszolgáltatási feladatnak, mivel a határon átnyúló közlekedés nem része a lakosság mindennapi életének.

A kishatármenti, agglomerációs közlekedés megcáfolja ezt az állítást, s egyre több helyen elérhető (Szlovákia-Magyarország, Ausztria-Magyarország, stb.) olyan határon átnyúló közforgalmú közlekedési mód, amely az egyik országban lévő lakóhely és a másik országban lévő munkahely között biztosít eljutást.

A határon átnyúló agglomerációs, vagy regionális közlekedés olyan sajátos helyzetű közlekedés, amelyben az utasok utazásainak egy része nemzetközi (határt átlépő), másik része pedig jellemzői alapján belföldi (rendszeresség, munkába járási cél) utazásnak tekinthető. Ez utóbbinak minden országban eltérő szabályozási

rendszere van, eltérő szolgáltatási színvonallal, kedvezmény rendszerrel és tarifaszinttel. Mindezek a határon átnyúló közforgalmú közlekedés fejlesztésében, tervezésében komoly gondot jelentenek.

A határon átnyúló közlekedés fellendülése 2004-től figyelhető meg, amikor Magyarország az EU tagja lett, s egyre több magyar munkavállaló talált munkát a szomszédos Ausztriában és kisebb volumenben ugyan, de osztrák munkavállalók is megjelentek a határ menti magyar munkaerő piacon.

Az „Öko-mobilitás elősegítése az osztrák-magyar határtérségben (EMAH)” című projekt –, amely az Ausztria-Magyarország Határon Átnyúló Együttműködési ETE Program 2007-2013 keretében, az Európai Regionális Fejlesztési Alapok, Magyarország és a Burgenland tartományok társfinanszírozásával valósul meg - célja a programterületen ingázó dolgozók utazási szokásainak befolyásolása és a környezetbarát közlekedési módok támogatása a munkáltatókkal közösen kidolgozott intézkedéscsomagok segítségével. Ezt az ingázók utazási szokásaira vonatkozó, a munkahelyeken és a határátmenetknél elvégzett felmérésekkel támasztjuk alá, amelyek pontos adatokat szolgáltatnak az utazók motivációiról, szükségleteiről és viselkedéséről.

A munka első része, a közlekedés szempontjából jellemző időszakban és napokon, 2013-ban végrehajtott közforgalmú közlekedési utasforgalmi felvétel volt, amely két részből állt: a közforgalmú közlekedés területén – figyelembe véve a sajátosságait – tavaszi és nyári időszakban, három napos, járművön végrehajtott

- keresztmetszeti utasszámlálás, és
- célforgalmi kikérdezés.

Emellett 2013 őszén a kijelölt, jellemzően regionális forgalmat lebonyolító határátkelőhelyeken, a határ osztrák oldalán, osztrák rendőri intézkedés mellett szintén három napos

- közúti kétirányú keresztmetszeti számlálás, és
- célforgalmi kikérdezést került elvégzésre.

A vizsgált terület lehatárolásánál elsősorban a határon átnyúló közlekedésben leginkább érintett térségeket és településeket lettek figyelembe véve. A projekt közvetlen hatásterülete Magyarországon Vas és Győr-Moson-Sopron megye, míg Ausztriában Burgenland tartomány területére terjedt ki. A vizsgálatok kimutatták azonban azt is, hogy Ausztriában a határon átnyúló kapcsolatok túlnyúlnak Burgenland tartomány határain, így az elemzéseknél figyelembe lett véve a Wien, Graz, Wiener Neustadt felé irányuló forgalom is. A gazdasági-társadalmi vizsgálatok, valamint a közlekedési igényfelmérés e területekre terjedtek ki.

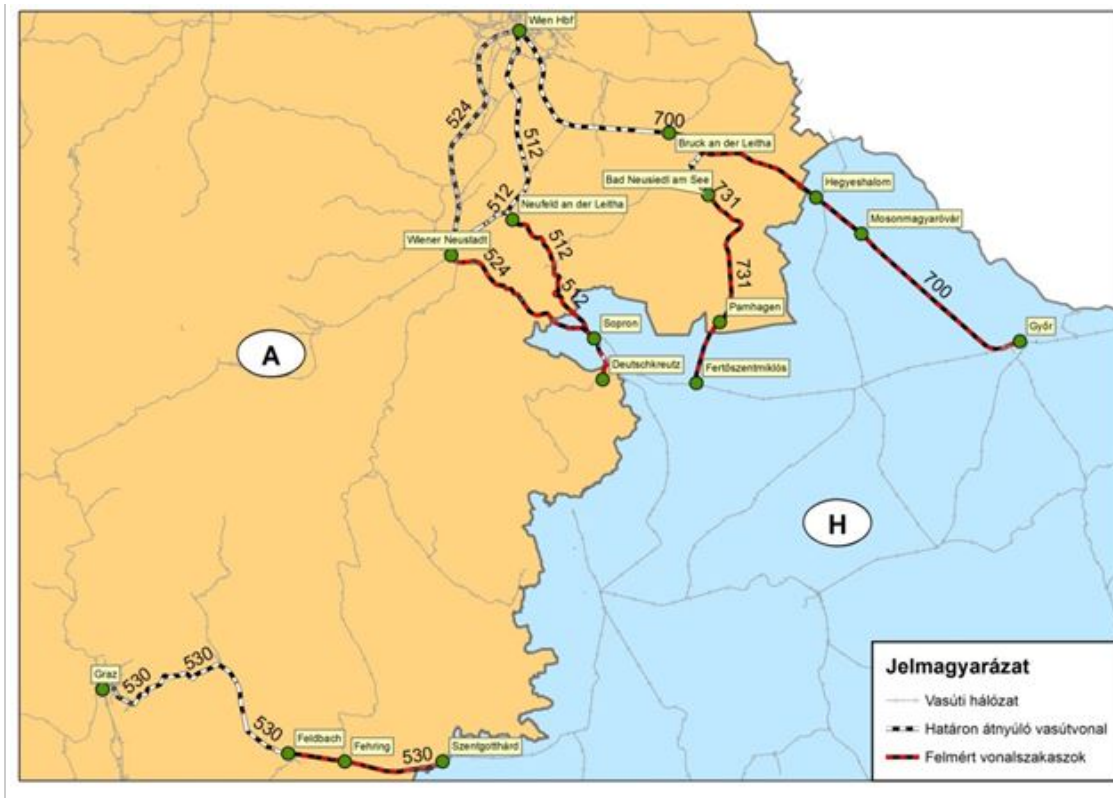
A felmérések a Közlekedéstudományi Intézet tervei alapján és irányításával valósultak meg, míg a közúti célforgalmi felmérés a Burgenlandi Közlekedési Koordinációs Központ (Land Burgenland Verkehrscoordination) hathatós közbenjárásának eredményeként a burgenlandi rendőrség közreműködésével zajlott.

A közforgalmú – vasúti – közlekedés területén 2013. májusban 16.608 utas, július hónapban 15.087 fő került megszámlálásra, míg a kérdezőbiztosok a határt átlépő utazók több mint 20%-ától tudakolták meg utazásuk főbb jellemzőit. A hét közúti határátkelőhelyen három mérési napon összesen 79.554 db 3,5 tonnánál kisebb teherbírású jármű került megszámlálásra, míg az aktív rendőri közreműködés és a kérdezőbiztosok lelkiismeretes munkája következtében a határon áthaladók több mint 13%-ának egyéni közlekedési szokásai váltak ismertté.

2. Vasúti felmérés

A tavaszi felmérésekre egy átlagos hétvégét megelőző hétköznapi tanítási napon (2013. május 24-én, pénteken), az ezt követő munkaszüneti napon (2013. május 26-án, vasárnap), valamint egy átlagos hétköznapi tanítási napon (2013. május 28-án, kedden) került sor (1.ábra).





1. ábra

A felmérés során vizsgált vasútvonalak és a felmérésbe bevont szakaszok

A nyári felmérésekre egy átlagos hétvégét megelőző tanszünetes hétköznapon (2013. július 12-én, pénteken), az ezt követő munkaszüneti napon (2013. július 14-én, vasárnap), valamint egy átlagos tanszünetes hétköznapon (2013. július 16-án, kedden) került sor.

Mindkét szezon esetében a pénteki és a keddi napokon a reggeli és a délutáni, míg vasárnap csak a délutáni csúcsidőszakban történt felmérés.

A kétirányú utasforgalom-felvételek adatai alapján átfogó kép alakult ki a két ország között közlekedő vasúti szerelvények utasforgalmának időbeni lefolyásáról, a megállóhelyenkénti fel- és leszálló utasszámokról, valamint a célforgalmi kikérdezések alapján az utazási szokásokról és az utasok szolgáltatási színvonallal kapcsolatos véleményéről.

A megállónkénti utasszámlálást, illetve a személyi interjú formájában lebonyolított utas kikérdezéseket a KTI által megbízott, a szerelvényen utazó számláló- és kérdezőbiztosok végezték. Szem előtt tartva, hogy a projekt célja a határon átnyúló ingázás vizsgálata, a felméréseket a reggeli és délutáni csúcsidőszakban végezték el a menetrendi adottságok és a vonatszerelvények fordulóterve alapján kialakított beosztás szerint (1. táblázat és 2. táblázat).

Menetrendi mező száma	Vasútvonal megnevezése	Mérésre kijelölt vonalszakasz	Felmérési időszakok		
			péntek	vasárnap	kedd
512	Deutschkreutz - Sopron - Ebenfurth	Deutschkreutz - Sopron - Neufeld a. d. Leitha	5:14 - 9:52 és 14:37 - 19:52	13:37 - 20:52	5:14 - 9:52 és 14:37 - 19:52
524	Deutschkreutz - Sopron - Wiener Neustadt - Wien	Deutschkreutz - Sopron - Wiener Neustadt	4:46 - 10:42 és 13:47 - 20:18	14:46 - 20:42	4:46 - 10:42 és 13:47 - 20:18
530	Szentgotthárd - Graz	Szentgotthárd - Fehring - Feldbach	5:32 - 9:47 és 13:00 - 20:02	14:06 - 21:47	5:32 - 9:47 és 13:00 - 20:02
700	Győr - Hegyeshalom - Wien	Győr - Hegyeshalom - Bruck a. d. Leitha	4:48 - 10:10 és 13:48 - 21:10	13:48 - 21:10	4:48 - 10:10 és 13:48 - 21:10
731	Fertőszentmiklós - Pomogy -	Fertőszentmiklós -	6:44 - 8:42 és	12:19 -	6:44 - 8:42

	Pamhagen - Neusiedl am See	Pomogy/Pamhagen - Bad Neusiedl am See	12:19 - 17:15	17:15	és 12:19 - 17:15
--	----------------------------	---------------------------------------	---------------	-------	------------------

1. táblázat

A tavaszi felmérésbe bevont vasútvonal-szakaszok és időintervallumok

Menetrendi mező száma	Vasútvonal megnevezése	Mérésre kijelölt vonalszakasz	Felmérési időszakok		
			péntek	vasárnap	kedd
512	Deutschkreutz - Sopron - Ebenfurth	Deutschkreutz - Sopron - Neufeld a. d. Leitha	5:14 - 9:52 és 13:37 - 19:52	13:37 - 20:52	5:14 - 9:52 és 13:37 - 20:52
524	Deutschkreutz - Sopron - Wiener Neustadt - Wien	Deutschkreutz - Sopron - Wiener Neustadt	4:46 - 10:42 és 13:47 - 20:18	14:46 - 20:42	4:46 - 10:42 és 13:47 - 20:18
530	Szentgotthárd - Graz	Szentgotthárd - Fehring - Feldbach	6:19 - 9:47 és 13:00 - 20:02	14:06 - 21:47	6:19 - 9:47 és 13:00 - 20:02
700	Győr - Hegyeshalom - Wien	Győr - Hegyeshalom - Bruck a. d. Leitha	4:48 - 10:10 és 13:48 - 21:10	13:48 - 21:10	4:48 - 10:10 és 13:48 - 21:10

2. táblázat

A nyári felmérésbe bevont vasútvonal-szakaszok és időintervallumok

A 2. táblázatból kiderül, hogy a 731-es számú vasútvonalról nem készült nyári adatfelvétel. Ennek oka a későbbiekben részletezett, különösen a határátmenetben alacsony utasforgalom, amely indokolatlanná tette a további vizsgálatok készítését.

A tavaszi időszak keresztmetszeti utasszámlálások felmért összefoglaló adatait a 3. táblázat, míg a nyári időszak adatait a 4. táblázat tartalmazza:

Határon átnyúló vasútközlekedés				
Adatfelvétel időpontja	Felmért vonat [db]	Utas [fő]	Határon áttutazók száma [fő]	Határon áttutazók aránya [%]
2013. 05. 24. péntek	94	7113	2514	35,3
2013. 05. 26. vasárnap	39	2151	657	30,5
2013. 05. 28. kedd	97	7344	2741	37,3

3. táblázat

A tavaszi keresztmetszeti utasszámlálás összefoglaló adatai

Határon átnyúló vasútközlekedés				
Adatfelvétel időpontja	Felmért vonat [db]	Utas [fő]	Határon áttutazók száma [fő]	Határon áttutazók aránya [%]
2013. 07. 12. péntek	95	6462	2582	40,0
2013. 07. 14. vasárnap	36	1840	662	36,0
2013. 07. 16. kedd	96	6826	2465	36,1

4. táblázat

A nyári keresztmetszeti utasszámlálás összefoglaló adatai

Főbb megállapítások

A két vasúti keresztmetszeti felmérési időszakban:

- összesen több mint 30 ezer utas került megszámolásra az öt, határt átlépő vasútvonalon,
- a májusban mért utasforgalom közel 10 %-kal csökkent nyáron,
- a határt átlépők aránya többnyire 35-40 % között mozgott, arányuk nyáron magasabb lett, mivel a tanszünetes belföldi forgalom csökkenése mind a két országban a határmenetnél nagyobb mértékű volt,
- a vonalszakaszok jelentős szerepet töltenek be az elővárosi közlekedésben is, mindkét országban. Főbb

utasvonzó központ:

- Magyarországon Sopron, Győr és Mosonmagyaróvár,
 - Ausztriában Wien, Wiener Neustadt. Neusiedl am See és Graz,
 - a keresztmetszeti adatok alapján Parndorf és Mattersburg is jelentős vonzerővel bírt,
 - a két elágazási pont, Fehring és Wulkaprodersdorf (pl. Eisenstadt csak utóbbi állomáson keresztül, átszállással érhető el Sopron és Deutschkreutz állomásokról),
- az utasforgalmi trendek és az utasvonzó központok terén nem történt változás nyáron,
 - valamennyi vasútvonalon: reggel Ausztria, délután Magyarország felé bonyolódik nagyobb utasforgalom, ami a Magyarországról Ausztriába ingázók nagy számára utal,
 - a mérések alapján az is kimutatható (a maximális utasterhelés és a vonatok átlagos utasszáma ismeretében), hogy a délutáni csúcsidezőszak forgalma egyenletesebb eloszlású.

A vasútvonalak forgalmát tekintve:

- a villamosítatlan és a legkevésbé korszerű szerelvényekkel üzemelő [Wien–] Wiener Neustadt–Sopron vasútvonal bonyolítja a legnagyobb forgalmat,
- az itt közlekedő Jenbacher típusú motorvonatok alacsony kapacitása különösen nagy problémát jelent a csúcsidezőszakban (zsúfolt személyvonatokkal szinte csak itt találkoztunk),
- nyáron az utasok száma a teljes szakaszon kismértékben emelkedett, ugyanakkor a határátmenetben csökkent, így a határt átlépő utasok aránya (a többi vasútvonaltól eltérően) alacsonyabb lett, mint tavasszal,
- a Wien–Ebenfurth–Sopron–Deutschkreutz vonalon kevesebb, ugyanakkor nagyobb befogadóképességű, korszerűbb ingavonat közlekedik, miközben összesen közel 30 %-kal kisebb a forgalom, mint a Sopron–Wiener Neustadt vonalon,
- a teljes szakaszon stagnált, a határátmenetben azonban nőtt az utasszám nyáron, így a határátlépő utasok aránya kismértékben emelkedett a májusi adatokhoz képest,
- a Győr–Hegyeshalom–Bruck an der Leitha [–Wien] vasútvonalon a belföldi utasok aránya az átlagosnál nagyobb, hiszen itt nemcsak az osztrák, hanem a magyar oldalon is számottevő belföldi forgalom zajlik
- a határátmenet forgalma a Wien–Sopron vonalhoz hasonlít, azonban a menetrendi kínálat szűkebb volta miatt a járatok átlagos kihasználtsági mértéke jellemzően másfélszerese a Sopront érintő két vasútvonalnak.
- nyáron a legnagyobb arányú (16 %-os) visszaesést tapasztaltuk a teljes szakaszon, a határátmenetben is lecsökkent az átlagos utasszám, igaz, valamivel kisebb mértékben,
- a Szentgotthárd–Fehring–Graz vasútvonal felmért szakaszán az összforgalom mind a teljes szakaszon, mind a határátmenetben a negyede a hegyeshalmi vonalénak, holott az ottanihoz hasonló vonatsűrűség biztosított,
- bár az itt közlekedő vonatok férőhely-kapacitása is kisebb, a kihasználtság százalékos értéke még így is jócskán elmarad az előbbi vasútvonalakétól,
- nyáron a legszélsőségesebb változást mind pozitív, mind negatív irányban a Szentgotthárd - Fehring vonalszakaszon láthattuk:
 - a belföldi forgalom közel 30 %-kal esett vissza
 - a határátmenetben alig történt változás, így a határt átlépők részaránya jelentősen megugrott, közel 50 %-ra,
- a Fertőszentmiklós–Neusiedl am See vasútvonalon májusban a határt átlépő utasok száma (átlagosan 5-10 fő) és aránya gyakorlatilag jelentéktelen volt az osztrák belföldi szakasz teljesítményéhez képest, ami elsősorban a magyar oldalon jelenleg fennálló rossz menetrendi kínálatnak és alacsony pályasebességnek köszönhető, így nyáron további felmérésre itt nem került sor a májusi tapasztalatok alapján.

A vasúti célforgalmi kikérdezés során a két felmérési időszakban összesen több mint 3000 utast kikérdezése történt meg, amely a teljes sokaságból 10 %-os mintát ad, míg a kört a határt átlépő utasokra szűkítve több mint 20 %-os a mintavételi arány.

A célforgalmi felmérés adatainak összehasonlítása során a következő eltérésekre derült fény:

- a nyári felmérés során szűrő kérdéssel lett ellenőrizve, hogy csak ténylegesen a két ország között közlekedő utasok legyenek kikérdezve,
- a határon átutazó, kikérdezett utasok száma közel azonos mértékű volt, így az adatbázisok nagy biztonsággal összehasonlíthatók,
- a nyári tanszünetes felmérés idején kimutatható a tanulás célú utazások drasztikus csökkenése (-19 %), miközben látogatás és turizmus céljából 15 %-kal többen utaztak, mint tavasszal,
- a kikérdezettek státuszára (fizikai vagy szellemi dolgozó, tanuló, vállalkozó, egyéb) vonatkozó kérdésnél júliusban a tanulók számának csökkenésével párhuzamosan nő a dolgozók és az egyéb státuszú utazók aránya,

- a nyári időszakra közel 10 %-kal növekedett a személygépkocsival rendelkezők aránya (véltetően a tanulók arányának csökkenése miatt),
- mindkét időszakra jellemző volt, hogy a személygépkocsikkal rendelkezők negyede elsősorban azért veszi igénybe a vasúti közlekedést, mert olcsóbbnak érzi az egyéni közlekedési módokkal szemben,
- sajnálatos módon ugyancsak mindkét időszakra jellemző, hogy meglehetősen alacsony arányban vannak azon utazók, akik a vasutat annak környezetbarát volta miatt választják.

3. Közúti felmérés

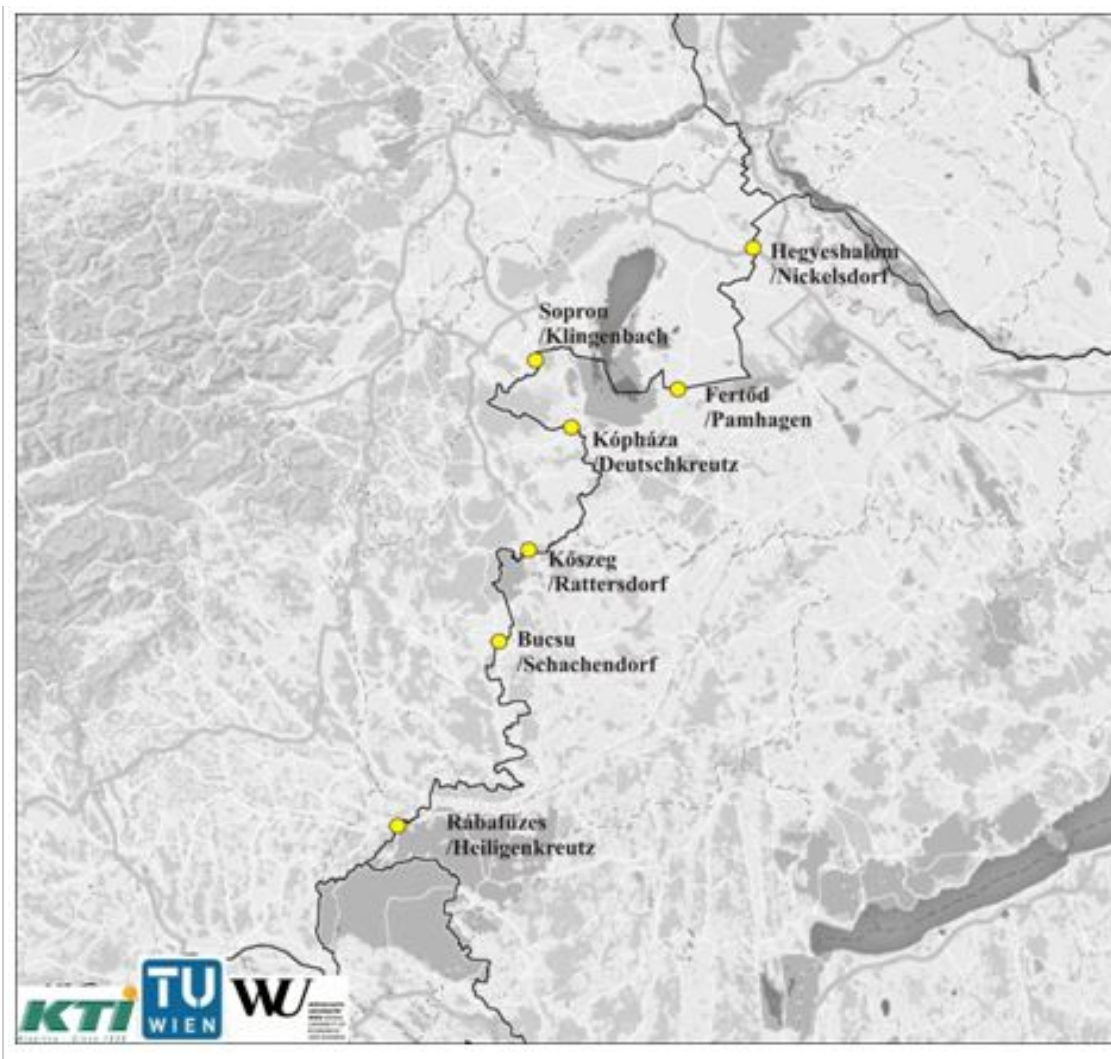
A közúti számlálás célja a határ menti lakosság mindennapi életének szerves részét képező határon átnyúló kishatármenti, agglomerációs közlekedés nagyságának és jellemzőinek feltárása. Az osztrák-magyar határátkelőhelyek közül a hét legforgalmasabb helyszínen

- Bucusu – Schachendorf,
- Fertőd – Pamhagen,
- Hegyeshalom – Nickelsdorf (1. sz. elsőrendű főút közúti határátkelőhelye),
- Kópháza – Deutschkreutz,
- Kőszeg – Rattersdorf,
- Ráabafüzes – Heiligenkreutz,
- Sopron – Klingebach

határátkelőknél történt adatfelvétel (a mérések pontos helyszíneit a *2.ábra* szemlélteti).

Ezek mindegyikén két típusú felmérés történt:

- az alapsokaságot biztosító keresztmetszeti számlálás;
- amely során a határátkelőhelyen mind a két irányban közlekedő járművek megszámlálásra kerültek járműkategóriánként, s ezen belül a személygépkocsik, kistehergépkocsik és mikrobuszok osztrák, magyar és egyéb csoportosításban;
- a téma szempontjából meghatározó jelentőséggel bír annak megismerése, hogy melyik határátkelőhelynek mekkora területi vonzása van, így ennek megismerésére az osztrák járművek közigazgatási beosztást is tartalmazó rendszámablájáról a kerületkódok is regisztrálásra kerültek;
- a felmérés időpontjai:
 - 2013. 10. 15. kedd 4:30-9:00 és 14:00-20:00 óra között (egyes határállomásokon 5:30-tól),
 - 2013. 10. 18. péntek 4:30-9:00 és 14:00-20:00 óra között (egyes határállomásokon 5:30-tól),
 - 2013. 10. 20. vasárnap 14:00 és 20:00 óra között
- a határon átmenő utazások jellemzőinek megismerését biztosító célforgalmi kikérdezés;
 - módszertana: rendőri intézkedéssel biztosított megállítási adatfelvétel, amely a határátkelőhelyek osztrák oldalán, osztrák rendőrök és magyar kérdezőbiztosok segítségével bonyolódott le, reprezentatív jelleggel, magyarországi irányban;
 - a megállított magyar, vagy osztrák személygépkocsik, kistehergépkocsik és mikrobuszok vezetőit a kérdezőbiztosok erre a feladatra összeállított adatfelvevő lap segítségével kérdezték ki,
 - a nyelvi nehézségek leküzdése és az elfogadható megbízhatóságú válaszok érdekében a felmérőlapok tartalma német nyelvre is lefordításra került;
 - a kikérdezés időpontjai:
 - 2013. 10. 15. kedd 6:00 és 9:00 óra, valamint 14:00 és 19 óra között
 - 2013. 10. 18. péntek 6:00 és 9:00 óra, valamint 14:00 és 19 óra között
 - 2013. 10. 20. vasárnap 14:00 és 19:00 óra között



2. ábra
A közúti határfelmérések helyszínei

A keresztmetszeti számlálás adatait foglalja össze határátkelőhelyenként, mérési naponként és a gépjármű honossága szerinti bontásban az 5. táblázat.

Határátkelőhelyek	2013. 10. 15. kedd				2013. 10. 18. péntek				2013. 10. 20. vasárnap				Összes felmért adat			
	HU	AT	Egyéb	Σ	HU	AT	Egyéb	Σ	HU	AT	Egyéb	Σ	HU	AT	Egyéb	Σ
Sopron - Klíngerbach	8071	4190	705	12966	8717	4991	843	14551	1929	3125	650	5704	18717	12306	2198	33221
Hegyeshalom - Nickelsdorf	3001	967	208	4176	3046	978	210	4234	610	547	230	1387	6657	2492	648	9797
Kőszeg - Rattersdorf	2376	712	431	3519	2387	815	327	3529	1124	621	69	1814	5887	2148	827	8862
Rábafüzes - Heiligenkreutz	1267	764	660	2691	1733	926	579	3238	622	543	228	1393	3622	2233	1467	7322
Fertőd - Pamhagen	2221	594	67	2882	2462	679	95	3236	506	381	128	1015	5189	1654	290	7133
Bucsú - Schachendorf	1754	565	249	2568	2067	821	255	3143	596	386	87	1069	4417	1772	591	6780
Kópháza - Deutschkreutz	1231	1072	316	2619	1214	1140	257	2611	417	732	60	1209	2862	2944	633	6439
Összesen	19921	8864	2636	31421	21626	10350	2566	34542	5804	6335	1452	13591	47351	25549	6654	79554

5. táblázat

Főbb megállapítások

A regionális forgalmat lebonyolító hét határátkelőhely felmért háromnapos keresztmetszeti forgalma 79.554 db jármű volt, melynek megoszlása:

- 59,5 %-a magyar,
- 32,1 %-a osztrák rendszámú.

A határátkelekhez használt járműtípusok megoszlására a személygépkocsival történő utazás dominanciája jellemző (88 %), míg a következő leggyakrabban használt jármű a kistehergépkocsi, amelynek részaránya mindössze 5,5 %-os.

A három mérési nap közül a pénteki munkanapi forgalom a legerősebb, amelynél a hivatásforgalom mellett jelentős egyéb (bevásárlás, látogatás) célú utazás is megjelent, így a munkanapi utazások jellemzőit a keddi felmérési adatok tükrözik. A vasárnap délutáni forgalomban nagyobb, a magyart is meghaladó osztrák forgalom mutatható ki.

Határátkelőhelyenként eltérő intenzitású a forgalom. Mindhárom mérési napon messze legnagyobb mértékű Sopron-Klingenbach határátkelőhelyé.

A közúti keresztmetszeti forgalom határátkelőhelyenkénti sajátosságai a következők:

- a legnagyobb részarányú magyar munkanapi forgalmú határátkelőhely Fertőd (77 %), Hegyeshalom (72 %), Kőszeg (68 %), és Bucsú (68 %),
- az osztrákok által kedvelt határátkelőhelyek Kópháza (a munkanapi forgalom 41 %-a), Sopron (32 %), Rábafüzes (28 %),
- jelentősebb harmadik országbeli járműforgalom a Rábafüzes (25 %), Kópháza (12 %), Kőszeg (12 %) határátkelőhelyeken bonyolódott le,
- a munkanapi órai forgalom minden határátkelőhelyen jelentős magyar hivatásforgalmat mutat,
- a határátkelőhelyek osztrák vonzásterülete eltérő:
 - Sopron határátkelőhelyé igen kiterjedt, legnagyobb arányban bécsi rendszámú gépkocsik keltek át a határon, de jelentős még Oberpullendorf és Eisenstadt irányú forgalom is,
 - Hegyeshalom határt osztrák oldalról legtöbbször bécsi és Neusiedl am See rendszámú gépkocsik vették igénybe,
 - Kőszeg határátkelő vonzáskörzete igen szűk, legjelentősebb Oberpullendorf,
 - Rábafüzes határ kiterjedt osztrák vonzáskörzettel rendelkezik, legjelentősebb Güssing és Jennersdorf járműforgalma,
 - Fertőd határátkelő sajátos osztrák vonzáskörzettel rendelkezik, a forgalom jelentős része a Magyarországon áthaladó osztrák-osztrák Oberpullendorf és Neusiedl am See közötti forgalom,
 - Bucsú határátkelő osztrák vonzáskörzete kiterjedt, legjelentősebb az Oberwart és Hartberg felől érkező forgalom,
 - Kópháza, a sajátos, kettős határt átlépő osztrák forgalom Fertődi határátkelő párja, ennek megfelelően vonzáskörzetének legjelentősebb települései Oberpullendorf és Neusiedl am See.

A közúti célforgalmi felmérés adatainak elemzése során a következő megállapítások születtek:

- A határon átutazó járművek kikérdezési aránya határállomásonként és kikérdezési időszakonként eltérő volt, de összességében elérte a 13 %-ot. A felmérések alatt 2.625 fő került kikérdezésre.
- Az utazási indokát vizsgáló kérdésből is kimutatható a munkanapokon munkába járó, hivatásforgalmi célú utazások magas aránya (54 %). A munkaszüneti felméréskor megnőtt a látogatás és turizmus céljából lebonyolított eljutások részaránya. Az utazási szokásjellemzőkben kisebb-nagyobb eltérések tapasztalhatók a mérési helyszínek adatai között.
- Az esetek közel 60 %-ában a kikérdezett járműben egyedül utaztak, ahol pedig többen, ott három esetből kettőnél azonos volt az utazási cél és közel hasonló arányban az egy háztartásba tartozás.
- A határon átutazók jellemzően egynapos utazást bonyolítanak le, munkanapokon közel 80 %-os arányban és közel kétharmaduk fizikai munkát végez, valamint a gyakoriságukra a hetente többszöri, rendszeres utazás jellemző.
- A munkanapokon, rendszeresen hivatásforgalmi jelleggel utazók általában az iparban vagy a szolgáltatásban dolgoznak, jellemzően kis- és nagyvállalatoknál vállalnak munkát.
- Mindkét mérési időszakra jellemző (munkanap és munkaszüneti nap), hogy a válaszadók háromnegyede

azért használja az egyéni közlekedést, mert a legtöbb esetben nincs más lehetősége.

- A határátkelőhelyek többségénél megfigyelhető a kétszeres határátlépők megjelenése, akik utazás végcélját rövidebb úton, a szomszédos országon keresztül érik el.

4. Munkahelyi felmérések

A projekt következő feladata az osztrák-magyar határ közelében elhelyezkedő munkáltatóknál a dolgozók utazási szokásainak felmérése és a környezetbarát közlekedési módok támogatására intézkedéscsomagok kidolgozása. Olyan öko-mobilitást ösztönözni hivatott javaslatok, intézkedések kidolgozására került sor, mellyel a releváns vállalatok elősegíthetik dolgozóik körében a környezetkímélő közlekedési eszközök használatát.

A munka során a projekt partnerek a saját országukban érintett munkáltatókkal vették fel a kapcsolatot és végezték el a méréseket.

A munkahelyi felmérésekbe a bécsi Közgazdaságtudományi Egyetemet (WU Wien), a győri Széchenyi István Egyetemet (SZE), továbbá a következő, az osztrák-magyar határhoz közel elhelyezkedő cégeket kerültek bevonásra:

- Unger Stahlbau, Oberwart (A)
- Seehotel, Rust (A)
- Sonnentherme, Lutzmansburg (A)
- ENERCON, Zurndorf (A)
- Designer Outlet, Parndorf (A)
- VELUX, Fertőd (H)
- UNIMAS, Sopron (H)

Az elvégzett kérdőíves felmérések két csoportra bonthatók:

- munkáltatói interjúk, melyek helyszíni bejárás keretében, személyes beszélgetések során készültek el, felmérve a vállalatok telephelyének közlekedési infrastrukturális adottságait és a munkavállalók mobilitását támogató intézkedéseket,
- munkavállalói kérdőívek, melyeket a kiválasztott alkalmazottak egyénileg, anonim módon töltöttek ki. Ezek háztartási vonatkozású adatokat tartalmaznak, valamint az összes információt rögzítik egy előre meghatározott nap (a magyar cégéknél 2014. február 11.) összes utazásával kapcsolatban.

Az egyetemekenél hasonló vizsgálatokra került sor. A vállalati felméréseknél ismertetett módon készültek el a személyes interjúk az egyes egyetemek képviselőivel, mindamellett, hogy a munkavállalói, papír alapú kérdőívek helyett elektronikus formájú, az egyetemisták számára gyorsabban kitölthető, lerövidített kérdéssor lett kialakítva.

Jelen cikkünkben a magyar cégeknél és a Széchenyi István Egyetemenél végzett felmérések eredményeit ismertetjük részletesen.

4.1. A győri Széchenyi István Egyetem (SZE)

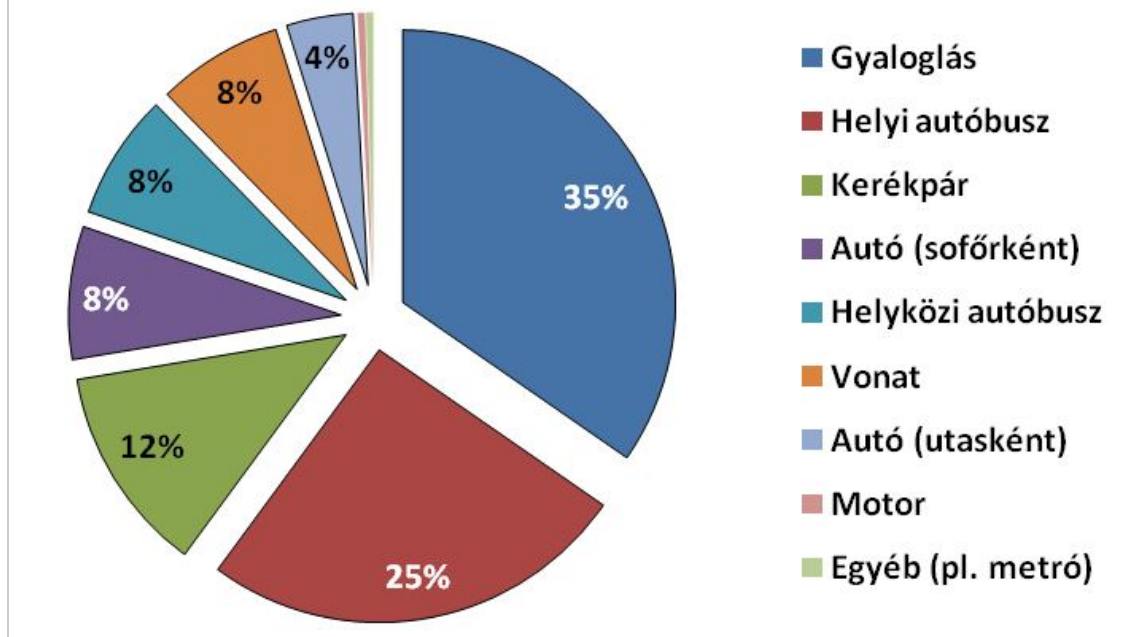
Az egyetem közel 10.000 hallgatója közül 105-en töltötték ki a kérdőívet. A válaszadók átlagéletkora 23.5 év, 58 %-a férfi, 42 %-a nő, többségük a hét legalább öt napján meglátogatja az egyetemet, ott átlagosan 5 órát tölt el naponta.

Az egyetemre történő eljutás átlagos ideje alig valamivel több, mint 30 perc, ugyanakkor a diákok túlnyomó többsége (elsősorban a Győrben lakók) ennél jóval rövidebb idő alatt jut be.

A diákok nagy arányban (a válaszadók 69 %-a esetében) legalább két közlekedési módot vesznek igénybe az egyetemre történő eljutásukhoz. A legtöbb esetben a gyaloglás, valamint a helyi és/vagy helyközi közlekedés kombinációja fordult elő. Az egyes közlekedési módok használatának mértéke 100 %-ra súlyozva a következő ábrán látható:



Közlekedési módok aránya



3. ábra

SZE ingázók közlekedési módválasztása

A válaszadók jelentős hányada, közel 72 %-a kihasználja az ingyenes CITY-busz nyújtotta lehetőségeket, tehát nem csak az ingázáshoz, hanem egyéb utazási okokból is igénybe veszik (a helyi buszt a válaszadók mindössze 55 %-a jelölte meg, mint az egyetemi eljutás során használt közlekedési módot).

A legelterjedtebb egyéni közlekedési eszköz a kerékpár, a válaszadók több mint kétharmada rendszeresen igénybe tudja venni (nem feltétlenül az egyetemre történő eljutásra). Bár a kerékpárhoz férnek hozzá a legtöbben, használata erősen szezonális - télen a hallgatók több mint 70 %-a nem, vagy csak nagyon ritkán teker, míg nyáron ez az arány megfordul, és közel ugyanennyien lesznek azok, akik gyakran, vagy szinte mindig kerékpárral járnak. A feltett kérdésből, hogy milyen esetben használnák gyakrabban a kerékpárt, jellemzően az derült ki, hogy a hallgatók szeretnék, ha tovább bővülne a biztonságos kerékpártárolók száma az egyetem környékén, és akár éjszaka is ott lehetne hagyni a biciklit aggodalom nélkül.

A napi ingázás során a legfontosabb szempontnak – érthető okokból – a kiszámíthatóság bizonyult, ezt a rugalmasság és az időmegtakarítás szorosan követi. A jutányos ár és a komfort csak ezek után következik, a többi csupán másodlagos tényezőnek tűnt. Ezek között is különösen kevés szavazatot kapott a hatékony időöltés (olvasás, tanulás), azonban ez összefüggésben lehet azzal, hogy a válaszadók nagy többsége 10-20 percen belül megérkezik az egyetemre, és ilyen rövid eljutási idő esetén nincs nagy jelentősége annak, hogy az milyen tevékenységgel telik el. Ennek bizonyára fontosabb szerep jut a hosszabb távú utazások esetén. (Ez abból is látszik, hogy a hatékony időöltést fontosnak tartók átlagos eljutási ideje majdnem 70 perc.)

Javasolt intézkedések:

- a városban a közforgalmú közlekedési szolgáltatók (MÁV/GYSEV/Volán) közlekedési szövetségének kialakítása az önkormányzat bevonásával, melynek keretében összehangolt, az igényekhez mért menetrendek alakíthatóak ki, valamint egységes tarifarendszer működtethető,
- egyetemi buszjárat üzemeltetése,
- fedett kerékpártárolók számának növelése, kamerás megfigyelőrendszer kialakítása,
- telekocsi rendszer működtetése az egyetem belső intranet felületén,
- a CITY busz üzemidejének meghosszabbítása az esti órákra,
- egyetemen belül öko-mobilitási kampányok lefolytatása.

4.2. UNIMAS Kft.

Az UNIMAS Gépgyár és Kereskedelmi kft. Sopron északkeleti ipari övezetében működik, három műszakos munkarend szerint. A munkavállalók szinte kivétel nélkül mind magyarok, csupán két vezető beosztású munkatárs rendelkezik osztrák lakhellyel. A vállalat német és osztrák gépipari cégek beszállítójaként ismert.

A munkahely személy- és tehergépkocsival könnyen megközelíthető, ugyanis közvetlenül a Sopron-Ágfalva

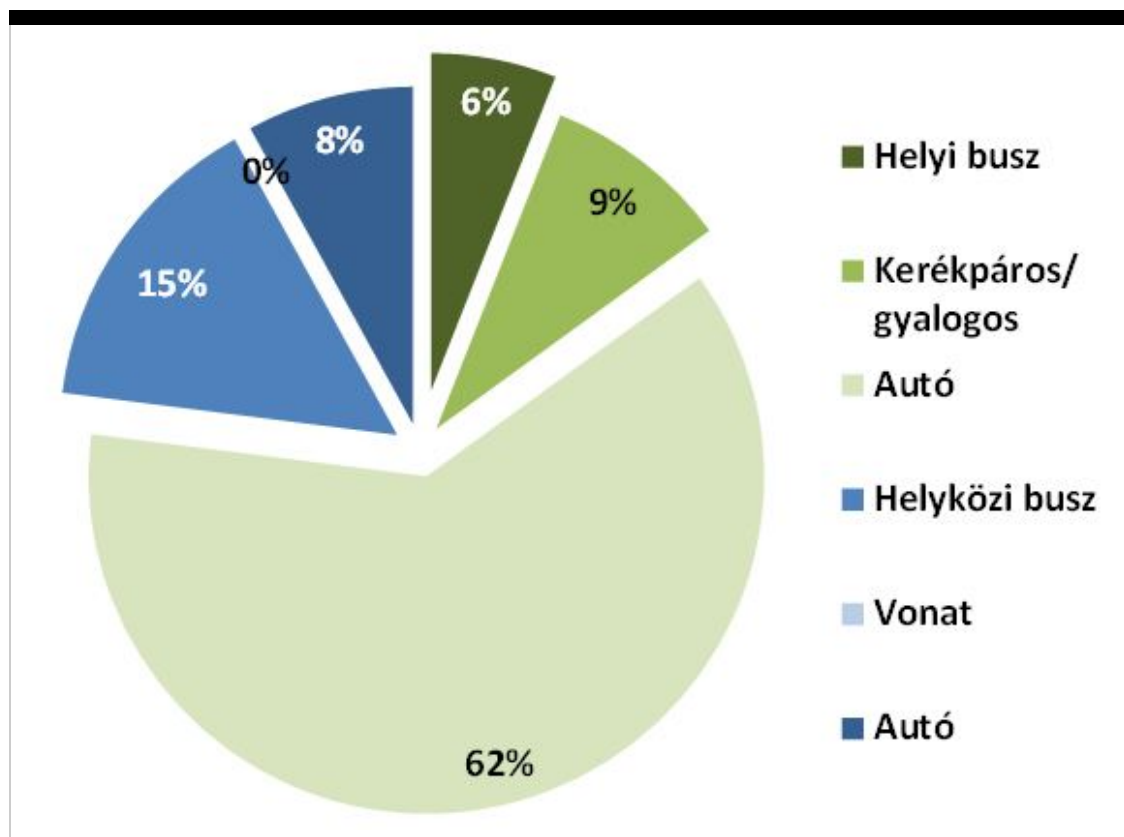
országút mellett helyezkedik el, és ahhoz saját bekötőúttal kapcsolódik. A vállalat tulajdonában van céges autó, és többnyire ezeket használják a szolgálati utakhoz.

A helyi és helyközi autóbusz megállóhelye közvetlenül a gyárkapu előtt található. Bár az elérési távolság nagyon kedvezően alakul, a város felé vezető oldalra nem megoldott a gyalogosok biztonságos átjutása a főúton, ráadásul ugyanitt nemcsak fedett utasváró, hanem járdaszegély sincs kiépítve. Szerződéses járatokat a vállalat nem közlekedtet, azonban a helyközi, 21-es jelzésű Ágfalva–Sopron autóbuszok menetrendjét és a műszakváltások időpontját összehangolták.

A vállalat vasúti ellátottsága rosszabb: hiába vezet a Sopron–Wiener Neustadt vasútvonal közvetlenül a telek északi határa mellett, a legközelebbi vasútállomás az Unimas Kft-től 3,2 km-re található, a belváros peremén.

A telephely kerékpáros megközelíthetősége kedvező, ugyanis a várost nyugat-keleti irányban átszelő, Ágfalváról induló, jó minőségű kerékpárút az Ágfalvi úttal párhuzamosan halad végig, kapcsolatot biztosítva a belvárosi területekkel.

A soproni lakhelyű munkavállalók (az összes alkalmazott háromnegyede) 75-80 %-a rendszerint autóval, 10 %-a helyi közlekedéssel jár dolgozni, és csupán a fennmaradó 10-15 % érkezik többnyire gyalog vagy kerékpárral. A fennmaradó 30 munkavállaló a környező településekről ingázik, akik közül 19-en helyközi autóbuszsal, 11-en személygépkocsival érkeznek. Időnként kerékpárt használ a munkába járáshoz néhány ágfalvi lakos, hiszen a telephely kerékpárral ugyanolyan távolságra (3 km-re) található Sopron és Ágfalva központjától is.



4. ábra

UNIMAS ingázók közlekedési módválasztása

A munkavállalói felmérés kitöltött kérdőívei alapján a válaszadók (közel 20 %) irányonként átlagosan közel 29 percet töltenek a munkába járással, az átlagosan megtett távolság pedig 13 km. Az autóbuszsal és gyalogosan érkezők összesen öten vannak, kerékpárral négy, míg személygépkocsival 14 válaszadó járt munkába e napon, és az adatokból kitűnik, hogy 8 km-nél található a lélektani határ - ez alatt a kerékpáros, e fölött pedig az autóval történő munkába járás volt túlsúlyban.

A válaszadók kivétel nélkül azt állították, hogy a munkába járást a teljes szakaszon meg tudnák tenni autóval, döntő többségük (75 %) valóban ezt a közlekedési módot is választja, csupán ketten érkeztek a munkába kerékpárral és egy fő autóbuszsal a felmérési napon. A munkavállalók nagy arányban férnek hozzá a kerékpárhoz, de jelenleg csak elenyésző hányaduk használja ezt a közlekedési módot. A felmért napon kerékpárral munkába érkezők középkorúak voltak (37 ill. 50 évesek). A kerékpárral közlekedők az alacsonyabb jövedelemkategóriába tartoznak, míg a busszal közlekedők eloszlása áll a legközelebb az átlagos jövedelemhez. Az egyes közlekedési eszközök használati gyakoriságánál kiderül, hogy az e-bike, az elektromos autó és a

vállalati busz teljesen hiányzik a palettából, de a válaszadók 80 %-a a vasutat se használja, legfeljebb csak nagyon ritkán.

A munkába járók a függetlenséget tartják a legfontosabbnak a közlekedési mód kiválasztásakor (83 %), amelyet jelenleg a személygépkocsi és rövidebb távolságok esetén a kerékpár tud a legjobban biztosítani. Ugyanakkor a biztonság, mint szempont alig marad el ettől (80 %), ami éppen e két közlekedési eszköz esetében rendelkezik a legrosszabb mutatókkal. Fontos szerepe van továbbá az időmegtakarításnak és a kényelemnek (76 ill. 67 %), a költségmegtakarítás és a környezetvédelem azonban kevesebb embert érdekel. Összességében elmondható, hogy a szempontok rangsorolása alapján, a biztonsági tényezőt leszámítva egyértelműen az autóval történő közlekedés tudja a leginkább teljesíteni a válaszadó munkavállalók elvárásait, akik gyakorlatilag éppen az „autózásra szabott” kívánalmakat fogalmazták meg.

Javasolt intézkedések:

- kerékpáros közlekedés támogatása – fedett kerékpártárolók kialakítása, kerékpáros átkelőhely kialakítása a főúton, kerékpáros költségtérítés megvalósítása,
- a helyi autóbusszal közlekedők utazási költségtérítési rendszerének kialakítása az önkormányzattal közösen kidolgozott esetleges adókedvezmény alapján,
- a városban tarifaközösség kialakítása az érintett közlekedési vállalatok bevonásával, és így a helyközi utazók kedvezményes utazásának biztosítása a helyi járatokon is,
- telekocsi rendszer működtetése a vállalaton belül.

4.3. VELUX Kft.

A VELUX Magyarország Kft. három telephelyen található meg: értékesítő vállalata Budapesten, míg gyártó vállalata Fertődön és Fertőszentmiklóson, több mint 100.000 négyzetméternyi alapterületen működik. A vállalat két gyártói telephellyel rendelkezik - az egyik Fertődön található a 8518. sz. mellékúton, a másik Fertőszentmiklóson található a 85. sz. másodrendű főút mellett. Mindkét telephely saját bekötőúttal kapcsolódik a közúthoz. Jelen mobilitási vizsgálat tárgyát a cég fertői telephelye képezte.

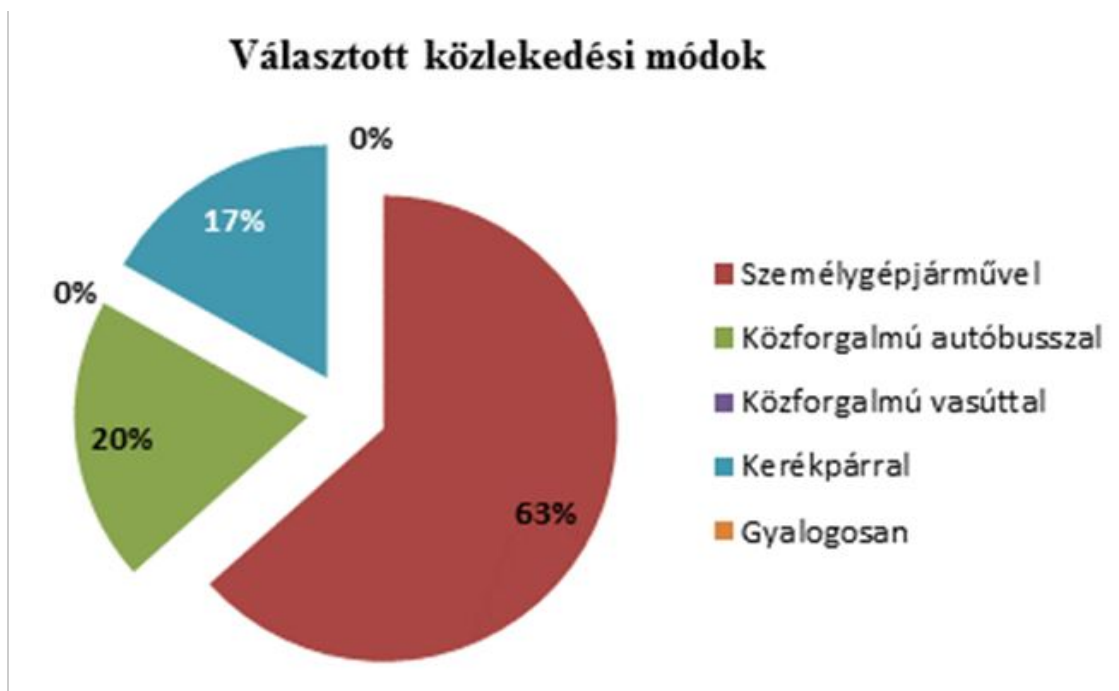
A fertői telephely a fentiekből következően könnyen megközelíthető személy-, illetve tehergépjárművel. A fertői telephelyen és a fertőszentmiklósi telephelyen is több céges gépjármű található. A szolgálati utakhoz leginkább ezeket a személygépjárműveket használják, de ritkán előfordul a közforgalmú közlekedés használata is.

A fertői és a fertőszentmiklósi telephely közforgalmú autóbusszos ellátottsága példaértékű, köszönhetően a cég és a Kisalföld Volán Zrt. között létrejött együttműködési megállapodásnak, melynek keretében egyes menetrend szerinti járatok műszakiszolgáltató jelleggel közlekednek, így az adott műszak munkakezdési és befejezési idejéhez igazodik a releváns buszjáratok menetrendje. A járatok kihasználását segítő, mindkét telephelyen létesült VELUX porta elnevezésű, és a telephely bejárata közelében kialakított autóbussz megállóhely. A cég szerződéses autóbusszjáratot nem közlekedtet.

A telephely vasúti ellátottsága az autóbusszos közlekedésnél valamennyivel kedvezőtlenebb. Ugyan a fertői telephelyhez a Fertőszéplak-Fertőd elnevezésű vasút megállóhely (amely a Fertőszentmiklós-Pamhagen/Pomogy) vasútvonalon helyezkedik el) viszonylag közel, 400 m távolságra található és a vasúttálmáshoz vezető gyalogos/kerékpáros közlekedési lehetőség megfelelő, de a vasúti infrastruktúra elhanyagolt állapotú, valamint a megállóhelyet érintő vonatok menetrendje nem felel meg a műszakváltások időpontjának.

A fertői telephely közvetlen szomszédságában halad el a Fertő tavi kerékpárút hálózat fertői szakasza, melyről a telephely közvetlen csatlakozással megközelíthető mind kerékpáros, mind gyalogos módon. A fertői telephelyen 40 db kerékpár elhelyezésére alkalmas fedett kerékpár tároló található, mely megfelelő megoldást biztosít a kerékpárral közlekedők számára. Mindemellett a telephely nagyságára való tekintettel, a telephelyen belül való közlekedés céljából a cég több szolgálati kerékpárral is rendelkezik.

A munkavállalói kérdőívet a fertői telephelyen dolgozók 4 %-a töltötte ki. A kijelölt napra vonatkozó utazási lánc tekintetében az utazások 63 %-a személygépjárművel történt, amelyből 13 % utazást, mint utas bonyolítottak le. A hivatali utazások 100 %-ban személygépjárművel történtek, melynek 33 %-ában az utazást utasként valósították meg. A személygépjárművel történt összes utazások 75,5 %-a kapcsolódott munkába járáshoz, 13,3 %-a hivatali út volt, a többi bevásárlás, gyermek bölcsődébe szállítása és szabadidős tevékenység. Közforgalmú autóbusszos közlekedéssel az utazások 20 %-a bonyolódott, mindegyik esetben a munkába járáshoz kapcsolódóan. Kerékpárral az utazások 17 %-a bonyolódott, az előzőekben említettekhez hasonlóan, mindegyik esetben a munkába járáshoz kapcsolódóan.



5. ábra
VELUX ingázók közlekedési módválasztása

A kérdőíveken megadott utazások adatai alapján az összes utazás átlagos távolsága 13,67 km, az átlagos utazási idő pedig 25,8 perc. A kérdőíveken megadott utazások adatai alapján az utazási lánc során átszállás jellemzően nem jelent meg.

Azon válaszadók, akiknek a teljes utazás során lehetősége van személygépjármű használatára, 72 %-ban valóban személygépjárművel utaztak az utazás teljes szakaszán (67 % mint sofőr, 6 % mint utas). A fennmaradó 17 % közforgalmú autóbusszal, 11 % kerékpárral utazott a teljes utazási szakaszon. Akik csak bizonyos szakaszokon férnek hozzá személygépjárműhöz, azok jellemzően nem használják ezt a közlekedési módot - legtöbbször autóbusszal (57 %) vagy kerékpárral (14 %) közlekedik.

A válaszadók többsége rendelkezik kerékpárral (79 %), ténylegesen mégis csak kis hányaduk (~27 %) használja azt munkába járás céljára. A megadott utazások adatai alapján a kerékpárral munkába érkezők egy kivétellel középkorúak voltak.

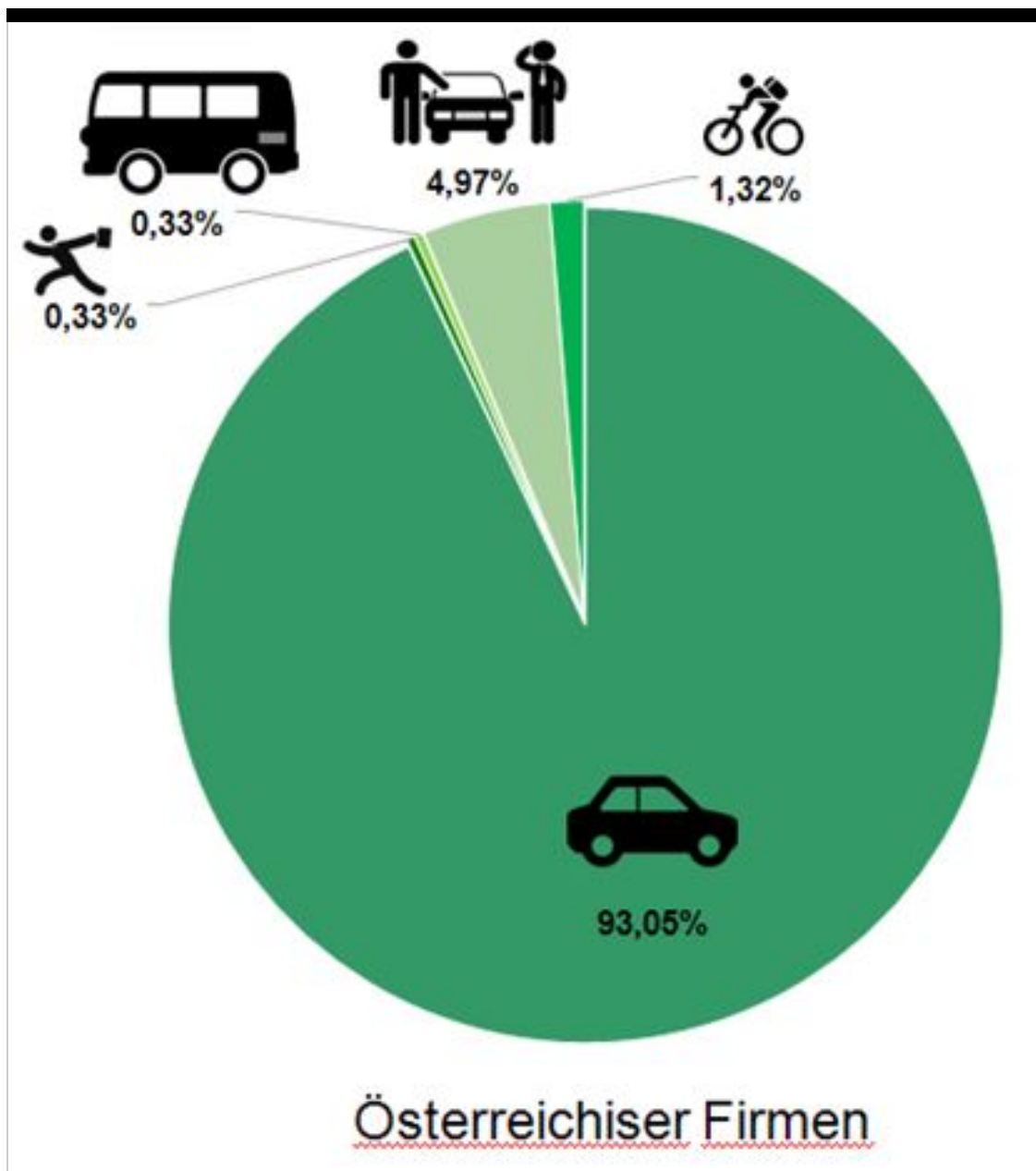
A munkába járók a biztonságot tartják az egyik legfontosabbnak a közlekedés során (86 %), de ennek ellentmond, hogy a legtöbben a személygépjárművel való közlekedést választották, amely közismerten az egyik legveszélyesebb közlekedési mód. Hasonló mértékben fontos szempont az időmegtakarítás (87 %), valamint a költségmegtakarítás (86 %). Ezeket fontossági sorrendben a függetlenség (72 %), a környezetvédelem (67 %), a kényelem (45 %) és végül a szórakozás (25 %) követi. A kritériumok fontosságának súlyozása nem támasztja alá a kérdőíveken feltüntetett utazások során alkalmazott közlekedési mód-választást. Két szempont van, amely párhuzamban áll a nagyarányú személygépjármű használattal: az időmegtakarítás és a függetlenség. Ellentmond ugyanakkor ennek a módválasztásnak a 86 %-kal megjelenő költségmegtakarítás és biztonság, valamint a 67 %-kal szereplő környezetvédelem, mint módválasztási kritériumok.

Javasolt intézkedések:

- telekocsi rendszer támogatása a vállalaton belül,
- vállalati autóbusz közlekedtetése,
- kerékpáros közlekedés támogatása nyugat-európai példák alapján,
- a vasúti közlekedés használata érdekében egyeztetések a vasúttársasággal (menetrend),
- a távmunka, mint a fenntartható mobilitást szolgáló foglalkoztatási forma lehetőségeinek vizsgálata és alkalmazása,
- öko-mobilitási kampányok a környezetbarát közlekedési módok népszerűsítésére.

5. Osztrák munkahelyi felmérés legfontosabb adata

Összehasonlításképpen felvillantjuk az osztrák partnerek által elvégzett burgenlandi munkahelyi felmérések eredményét, amely a hazai módválasztási arányoknál - környezetvédelmi szempontból - kedvezőtlenebb képet mutat:



6. ábra

Az osztrák vállalatoknál történt felmérés összegző adata a közlekedési módválasztásra vonatkozóan, az ingázók körében

Az ábrából látható, hogy a személygépjármű használat olyan mértékű, amely mindenképpen beavatkozást igényel. Az arányok megváltoztatására az alábbi javaslatok születtek:

- a burgenlandi közforgalmú autóbusz közlekedés reformja - járatsűrítés és az igényekhez való igazítás, a magyarhoz hasonló munkába járási támogatás kidolgozása és bevezetése,
- a kerékpáros közlekedés vonzóbbá tételéhez szükséges intézkedések megvalósítása – kerékpáros utak kialakítása, biztonságossá tétele, kerékpáros közlekedés támogatása.

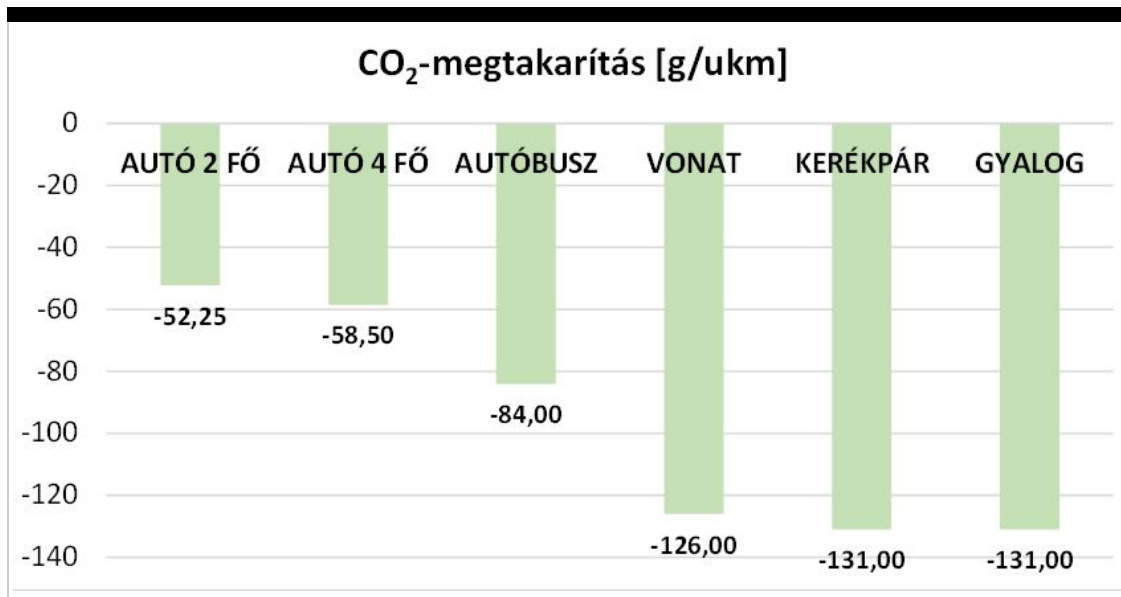
6. Összefoglalás

Összességében elmondható, hogy az osztrák-magyar határtérségben jelentős a határon átmenő ingázók száma, azon belül is a Magyarországról Ausztriába munkába járók aránya.

Mivel 60-90 % közé tehető az ingázók között a személygépjárművet használók aránya, környezetünk védelme, valamint energiatakarékossági szempontból sürgető olyan megoldások kidolgozása, amely az egyéneket a környezetbarát közlekedési módok választása felé tereli, legyen az bár közforgalmú közlekedés, vagy kerékpár használat.

A következő ábrán látható, hogy az egyes közlekedési módok választásával mennyi CO₂-kibocsátás takarítható meg ahhoz képest, ha egy személygépkocsiban egyedül utazik az adott illető. Látható, hogy már két együtt

utazó is majdnem ugyanakkora kibocsátást tud megtakarítani, mint négy személy. A legnagyobb lehetőség a gyaloglásban, a kerékpározásban és a vonattal (teljes kihasználtság esetén, villamos vonatással) történő utazásban rejlik, hiszen e közlekedési módok használata esetén gyakorlatilag nem képződik többlet szén-dioxid. A menetrend szerinti autóbuszok használatának környezetre gyakorolt jótékony hatása közepes mértékű (84 g/ukm).



7. ábra

A szén-dioxid kibocsátásának csökkentési lehetőségei

A projekt során az egyes vállalatok részére kidolgozott öko-mobilitási intézkedési javaslatok megvalósítására eddig nem került sor. A projekt partnereknek nincs a kezükben olyan eszköz, amellyel az egyes döntéshozók felé nyomást tudnának gyakorolni a munkába járási közlekedési szokások megváltoztatására vonatkozó javaslatok végrehajtása tekintetében. Magyarországon egyelőre még nem került meghirdetésre olyan támogatás, amely ezen intézkedések megvalósítását elősegítené. Osztrák oldalon ugyan rendelkezésre áll támogatási forrás – a tapasztalatok szerint azonban a vállalatok nagy többsége mégsem él ezzel a lehetőséggel. A projekt megvalósítása során több olyan esemény megrendezésére is sor került, amely hangsúlyozta a lehetőségeket és a javaslatok fontosságát. A projekt eredményei valószínűsíthetően később fognak beérni, a szemléletmód váltáshoz több időre van szükség, mint amennyi a projekt megvalósítására rendelkezésre áll.

Adatok

Megjelent itt

4. szám

2014. ősz



Szerző

Németh András

Okleveles közlekedésmérnök.

Serbán Viktor

Okleveles közlekedésmérnök.

Szűcs Hajnalka

Okleveles közlekedésmérnök.

Trepper Endréné

Okleveles rendszerszervező, okl. közlekedési üzemmérnök.

Témakörök

Városi közlekedés

Kulcsszavak

Befogadva

2014. december 18.

Hozzászólás

* Név

* Email

Honlap

Hozzászólás

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Témakörök

© Copyright **Útügyi Lapok** 2013 • Minden jog fenntartva.



Klimatikus hatások figyelembevétele a behajlási adatsorok kiértékelése során*

Szerző(k) **Tóth Csaba és Szentpéteri Ibolya**

Kivonat

Útpályaszerkezeteink állapotát számos paraméterrel jellemezhetjük és minősíthetjük, ennek ellenére a teherbíró-képesség maradt az egyik legfontosabb jellemzője. A teherbíró-képesség definiálására több elméleti megközelítést és gyakorlati eljárást fejlesztettek ki, a pályaszerkezet teherbíró-képességére leggyakrabban a függőleges terhelés okozta behajlásból következtek. Napjainkban a dinamikus ejtősúlyos berendezések (falling weight deflectometer, FWD) alkalmazása egyre gyakoribb, és már szélesebb körben használják, mint korábban elfogadott és elterjedt Benkelman-gerendát.

Az FWD készülékek Magyarországon a 90-es években jelentek meg. Közismert, hogy nemcsak a terhelés alatti behajlást, hanem a terhelés tengelyétől különböző távolságra lévő pontok behajlását is rögzíti a berendezés. Ennek gyakorlati jelentősége a pályaszerkezet diagnosztikában általánosan is ismert és elfogadott nemzetközi szinten. Emiatt az új és még fejlesztés alatt álló magyar megerősítés méretezési előírást is erre az eszközre építik és megkövetelik a behajlási teknő rögzítését, szemben a korábbi gyakorlattal.

A behajlási teknő, és az azt leíró alaktényezők nemcsak pályaszerkezet teherbírásától és a terhelő erő nagyságától függenek, hanem a mérési körülmények is jelentős szerepet játszanak, pl.: meteorológiai hatások. Ezalatt főként a hőmérséklet hatása értendő, de a mérés előtti csapadékviszonyok sem hanyagolhatók el, amelyek közvetlenül fejtik ki hatásukat az altalaj nedvességtartalmára. Ezek a hatások meglehetősen környezet specifikusak, ezért célszerű egy etalon szakasz alapos vizsgálatát elvégezni arra vonatkozólag, hogyan lehet ezen tényezők hatását megszüntetni. Jelen cikkben egy magyar autópálya szakasz többéves behajlásmérési eredményeinek és meteorológiai adatainak elemzését végeztük el, mellyel vizsgáltuk, hogy a megerősítés előírás tervezet autópályák esetén is alkalmazható-e.

*A cikk a Road and Rail Infrastructure III, Split, Horvátország, 2014 konferencián „Effects of climatic factors on the shape of deflection bowl.” címmel elhangzott előadás átdolgozott magyar nyelvű változata.

1. Évszaki szorzók alkalmazása a behajlási adatok kiértékelése során

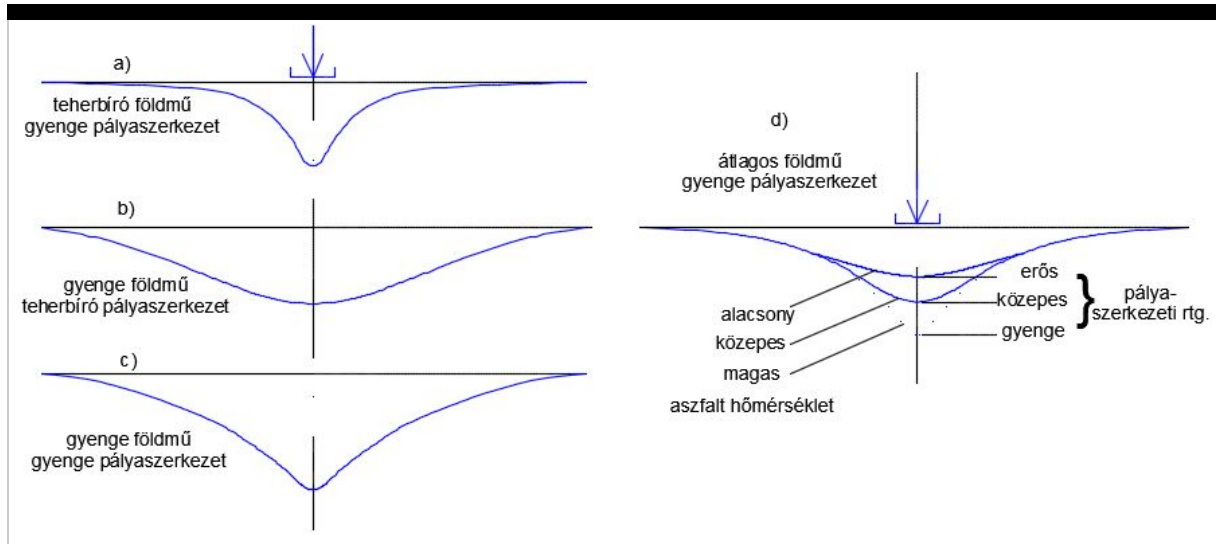
A hajlékony útpályaszerkezetek egyik fontos - ha nem a legfontosabb - állapotjellemzője a teherbíró-képesség. E fogalom alatt azonban olyan elméleti határértéket értünk, amelynek elérésekor következik be a rendeltetésszerű használatra alkalmatlan állapot, amiből következik, hogy a gyakorlatban ez az érték közvetlenül nem mérhető. Noha napjainkra már több mérési módszer is létezik, amelyek segítségével következtetni tudunk a pályaszerkezet aktuális teherbíró-képességére, a legelterjedtebb módszer - már csak egyszerűsége okán is - a behajlásmérés, azaz a pályaszerkezetnek a kerékterhelés hatására bekövetkező függőleges irányú besüllyedése. A behajlás A. C. Benkelmannak köszönhetően régóta egyszerűen meghatározható paraméter és a fordított kapcsolat a teherbíró-képesség és a behajlás között is közismert. Azonban már a Benkelman gerenda megalkotója is tisztában volt azzal, hogy a pályaszerkezet állapota egyetlen pontban mért behajlásértékkel korlátozottan jellemezhető, sőt akár félrevezető is lehet, így célszerűbb lenne a pályaszerkezet görbületének, azaz a teljes behajlási vonalnak a rögzítése.

A mérési módszerek fejlődésével, a Falling Weight Deflectometerek megjelenésével ez a probléma kiküszöbölhetővé vált és ma már széles körben elterjedt a teljes behajlási vonal rögzítése. Napjainkra már könyvtárnyi irodalma van az így nyert adatok kiértékelésének és egyre több, a behajlási teknő paramétereken alapuló pályaszerkezet diagnosztikai eljárás lát napvilágot. A pályaszerkezet erőjátéka és a behajlási vonal közötti kapcsolat egzakt tanulmányozását azonban két külső körülmény nagyban nehezíti.

Az egyik paraméter a pályaszerkezeti rétegek merevségeinek markáns hőmérsékletfüggése. A mért behajlási teknő alakját jelentősen befolyásolja az aszfaltrétegek pillanatnyi hőmérséklete. Ezen hatás kiküszöbölésére

ugyan számos összefüggés áll rendelkezésre, azonban a probléma komplexitása nem teszi lehetővé univerzális képlet megalkotását. Minden útszakasz a maga klimatikus környezetébe helyezve egyedi korrekciót igényelne, így az általánosított összefüggések csak csökkenteni tudják a hőmérsékletnek a mérésre gyakorolt hatását, de teljesen kiküszöbölni nem.

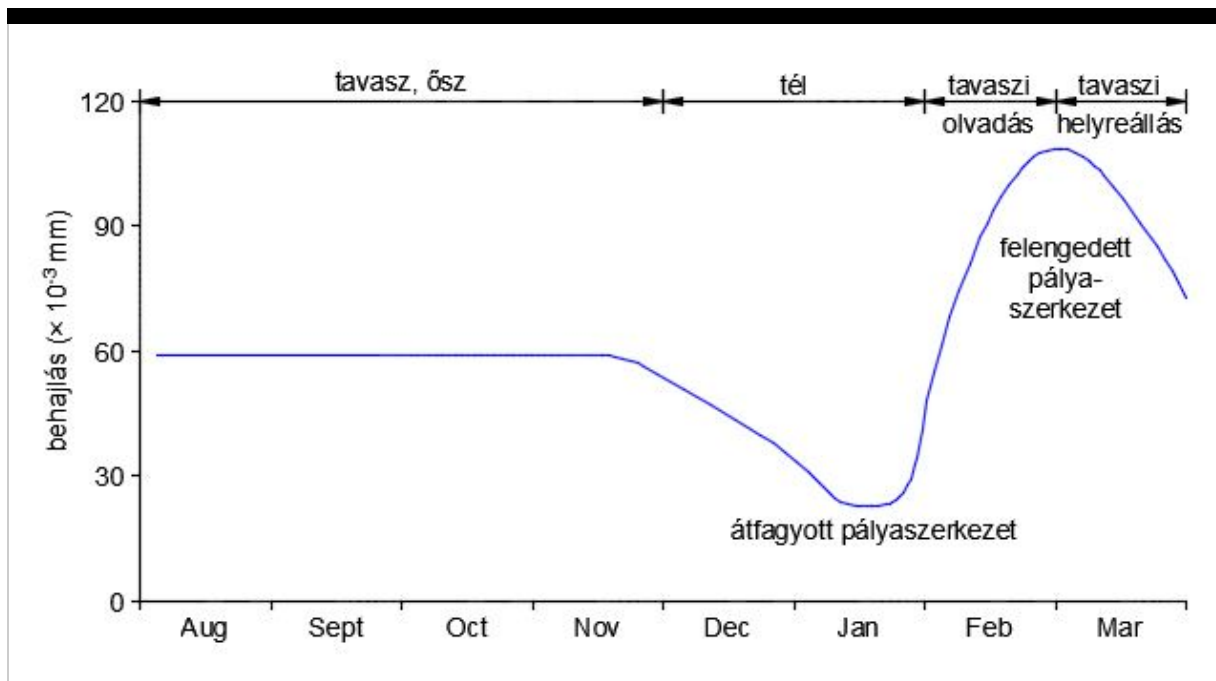
A másik jelentős hatás, aminek figyelembevétele indokolt, az a pályaszerkezetet alátámasztó földmű állapota. A behajlásmérés a pályaszerkezet és a földmű együttes állapotát vizsgálja, ezáltal a földmű állapotváltozása - pl.: elnedvedés hatására bekövetkező teherbíróképesség-csökkenése - befolyással bír a mért behajlási adatokra. Ezen két domináns hatásnak a behajlási vonalra gyakorolt következményét szemlélteti az 1. ábra.



1. ábra

A hőmérséklet és a pályaszerkezet állapotának hatása a behajlási teknőre [Jung, 1988]

A földmű állapotok behajlásra gyakorolt hatása már a statikus behajlásmérések kezdete óta közismert, a 2. ábrán szemléltetett hatásmechanizmust feltételezve.



2. ábra

A földmű állapotának a pályaszerkezet behajlására gyakorolt hatása

Ugyan földrajzi elhelyezkedésenként különböző ez a hatás, de pl.: az európai klimatikus viszonyok között

jellemzően a tévégi hóolvadás és a tavaszi esőzések nyomán áll elő az a periódus, amikor az elnedvesedést követően előálló gyenge földmű teherbírás miatt mérhetőek a legnagyobb behajlásértékek. Ezt az időszakot a pályaszerkezet hátralévő élettartama szempontjából kritikusnak, ezen behajlás adatokat a szerkezetek szempontjából mértékadónak tekintjük. A szakirodalomban ez a kritikus időszak ún. „tavaszi behajlás” néven is ismert. A 60-70-es években a behajlásmérések jellemzően ennek megfelelően erre az időszakra is koncentráltak, később azonban a mérési időszak a nyári és őszi hónapokra is kiterjedt. Ennek köszönhetően azonban megjelent az évszaki korrekció szükségessége, amely segítségével például a nem kritikus nyári hónapokban végzett méréseket meg tudták feleltetni a mértékadó tavaszi értékeknek.

A jelenleg érvényes magyar szabályozás [ÚT 2-1.202; 2005] szerint a behajlásméréseket lehetőleg az elnedvesedés miatti legkedvezőtlenebb tavaszi időszakban, a megerősítést megelőző év tavaszán, március-május hónapokban kell végrehajtani. Az egyéb időpontokban végrehajtott behajlásmérések eredményeit erre a legkedvezőtlenebb időszakra kell átszámítani. Az átszámítási tényező meghatározását egy 1989-es előírás rögzíti (forrás: MSZ 2509-4), mely szerint, egy hasonló felépítésű pályaszerkezeten hasonló talaj- és hidrológiai viszonyoknak megfelelő helyen legalább egy éven keresztül havonta mért behajlásértékek alapján lehet meghatározni úgy, hogy a március 1 – június 15. között mért értéket osztjuk a felmérés időszakában mért értékekkel.

Ha ez nem lehetséges, akkor annak közelítő értékét a következők figyelembevételével, az 1. táblázatból lehet venni. Az évszaki szorzókat a talaj fajtájától függően a mérés időpontját figyelembe véve kapjuk meg. Az évszaki szorzók értéke a mértékadó időszakban 1,0. A szorzók a száraz (K, kedvező) vidékekre, a nedves (NK, nem kedvező) vidékekre 100 mm-nél vastagabb meleg aszfaltkeverékekből épült rétegek esetén érvényesek, egyéb esetekben a 1. táblázat zárójeles értékei használhatók.

Talajcsoport	A behajlásmérés hónapja				
	április	május	június, július	augusztus, szeptember	október, november
I-II.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
III.			1,1	1,1	1,2
IV-V.		1,1	1,3 (1,4)	1,5 (1,6)	1,5 (1,6)
VI-IX.	1,1	1,0	1,1 (1,2)	1,2 (1,4)	1,3 (1,5)

1. táblázat

Az évszaki szorzók értékei a magyar szabályozás szerint

Az elmúlt évtized klimatikus viszonyaiban megfigyelt változások azonban felvetették annak igényét, hogy a magyar szabályozás ezen elemét aktualizálni szükséges. Ennek szellemében egy új, Karoliny Márton által kidolgozott módszer szerint a mértékadó földmű állapot korrekcióját a mérést megelőző időszak csapadékviszonyai alapján javasolt elvégezni a 2. táblázatban szereplő korrekciós értékekkel, azaz a behajlásmérés értékeit a megelőző két hónap (60 nap) csapadékviszonyainak és a talajfajtának függvényében a 2. táblázatban szereplő szorzókkal meg kell növelni.

Hosszú távú földműkorrekció behajlás szorzói					
Talajcsoport az e-UT 06.02.11 szerint	A behajlásmérést megelőző 60 nap csapadékmérleg negatív eltérés a sokévi átlagtól				
	nincs vagy pozitív eltérés	10 % alatt	20 % alatt	30 % alatt	több, mint 30 %
I-II.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
III.			1,1	1,1	1,2
IV-V.		1,2	1,4	1,5	1,6
VI-IX.		1,1	1,3	1,4	1,5

2. táblázat

Jelen cikkben annak vizsgálatára teszünk kísérletet az alábbiakban, hogy az FWD eredményekből becsült földmű modulus és a mérést megelőző csapadékviszonyok között milyen szoros kapcsolat figyelhető meg. Egy autópálya szakasz forgalmi sávjain mért behajlási idősor segítségével azt vizsgáljuk, hogy a mérést megelőző időszak meteorológia viszonyai és a mért adatok között milyen összefüggések találhatók.

2. A földmű állapotra FWD mérések alapján adható becslések

A hajlékony útpályaszerkezetek terhelés hatására történő viselkedése még napjainkban is jó pontosságú közelítéssel vizsgálható a Boussinesq-féle egyenletekkel. A pályaszerkezet egyenértékű felületi modulusa így a jól ismert összefüggés alapján az alábbi (1. egyenlet) [Ullidtz, 1998]:

$$E_{eq} = \frac{f(1 - \mu^2)\sigma_0 a}{d_0} \quad (1)$$

ahol,

E_{eq} - egyenértékű felületi modulus [MPa],

f - korrekciós tényező, értéke a terhelő erő feltételezett eloszlásától függ [-],

μ - Poisson tényező [-],

a - a terhelő tárcsa sugara [mm],

d_0 - a terhelő tárcsa alatt mért behajlás [mm].

Természetesen az összefüggés számos pontosítása ismert, így például az észti pályaszerkezet méretezési irányelv [Talvik; 2009] az egyenértékű felületi moduluszt az alábbiak szerint korrigálja:

$$E_{eq2001-52} = C * E_{eq}^2 * T^t * M_i * H_j \quad (2)$$

ahol,

$E_{eq2001-52}$ - egyenértékű felületi modulus [MPa],

T - burkolathőmérséklet [°C],

C, e, t - empirikus konstansok,

M_i - évszaki szorzó,

H_j - töltés magasságtól függő korrekció ($j = <0,5$ m; $0,5 - 1$ m; > 1 m).

Az összefüggés (2. egyenlet) újszerűségét értelmezésünkben az jelenti, hogy az egyenértékű felületi modulus korrekciója során az „ M_i ” faktor mellett, amely az évszaki hatást hivatott figyelembe venni, megjelenik a „ H_j ” faktor is, azaz észti kutatások szerint a töltés magassága is szignifikáns hatást gyakorol a pályaszerkezet teherbíró-képességére.

Általánosan elfogadott összefüggés azonban, hogy a terhelés középpontjától „ r ” távolságban számított modulus nagysága azonos a terhelés középpontja alatt „ $z = r$ ” mélységben lévő réteg modulusával.

$$E_{eq(r)} = \frac{(1 - \mu^2)\sigma_0 a^2}{r x d_r} \quad (3)$$

ahol,

$E_{eq(r)}$ - felületi modulus „ r ” távolságban [MPa],

μ - Poisson tényező [-],

a - a terhelő tárcsa sugara [mm],

d_r - a terhelő tárcsától „ r ” távolságra mért behajlás [mm],

r - a mérés távolsága a terhelés középpontjától [mm].

Ezen állítás elfogadása teremti meg tehát annak lehetőségét, hogy az FWD berendezések segítségével rögzített behajlási teknő különböző paramétereit alapján a felszín alatti rétegek állapotára vonatkozóan becsléseket tehesünk.

Számos elmélet ismert a földmű modulussal kapcsolatos becslések elvégzésére, mi jelen munkánk során az alábbi - svéd kutatásokon alapuló [Christiansen – Holst – Baltzer; 2010]- alábbi összefüggést használtuk:

$$E_f = \frac{52000}{d_{900}^{1,5}} \quad (4)$$

ahol,

E_f - földmű modulusa [MPa],

d_{900} - a terhelő tárcsától 900 mm-re mért behajlás [mm]

3. A vizsgált autópálya-szakasz földmű modulusainak időSORA

Karoliny a behajlásmérési eredmények klimatikus hatások okozta évszaki ingadozását az *1. táblázatban* szereplő évszaki szorzók helyett a *2. táblázat* korrekciós tényezőivel javasolja figyelembe venni. Ezen értékek megalapozottságának alátámasztására azonban meglehetősen kevés mérési eredmény áll rendelkezésre, ezért egy más célból keletkezett méréssorozat eredményeit e tekintetben vizsgáltuk meg.

Négy éven keresztül, félévenként egy autópálya-szakasz dinamikus behajlási eredményeit vetettük össze az adott időszak csapadékviszonyaival. Az FWD mérések forgalmi sávonként (üzemi, haladó és előző) történtek, 100 méterenkénti gyakorisággal, forgalmi sávonként 45 darab keresztaszalványban. A 7 alkalommal végzett mérések időpontja 2-2 alkalommal novemberre illetve decemberre esett, továbbá 1-1 esetben három egymást követő évben május, június és július hónapban is történtek mérések. Az autópálya átlagos napi egységterhelése 5-5500 Et között mozgott, a vizsgálat időszaka alatt a haladó sávon jellemzően 6 millió 100 kN egységterhelésű forgalmi terhelés futott le.

Az útszakaszhoz közeli meteorológia állomás adatai szerint a vizsgált 5 éves időszak alatt majd 3000 mm csapadék esett. A területen az utóbbi 5 év alatt hullott csapadékmennyiség időbeli megoszlása, havi bontásban a *3. táblázatban* látható.

Év/hó	2009	2010	2011	2012	2013	Átlag	Szumma
1	53,6	82,9	22,9	30,9	58,8	49,82	249,10
2	48,2	71,5	15,0	22,9	84,5	48,42	242,10
3	48,8	20,9	43,5	0,4	92,8	41,28	206,40
4	1,8	71,7	20,3	18,5	19,9	26,44	132,20
5	41,1	160,6	40,9	23,6	106,8	74,60	373,00
6	84,5	83,9	59,0	95,0	61,5	76,78	383,90
7	34,9	87,8	57,6	98,3	0,1	55,74	278,70
8	46,8	77,9	5,3	1,1	39,0	34,02	170,10
9	14,4	95,5	1,1	48,5	24,7	36,84	184,20
10	28,3	24,7	14,9	77,0	42,2	37,42	187,10
11	89,2	73,3	0,0	15,4	42,7	44,12	220,60
12	43,6	121,7	69,9	48,9	1,1	57,04	285,20
Összesen	535,2	972,4	350,4	480,5	574,1	582,52	

3. táblázat

Havi összegzett csapadék mennyiség [mm]

Látható, hogy jellemzően kiemelkedő csapadékos hónap nem található. A vizsgált időszakra összegzett mennyiség maximuma júliusra esik, bár az öt év alatt egyszer sem ez a hónap volt a legcsapadékosabb. Ez némiképp ellentmond a várakozásaink, hiszen a szakmai közhiedelmeink április-május hónapot tartják a legcsapadékosabbnak és ez tükröződik vissza az 1. táblázat értékeiben is. Érdekes anomália továbbá, hogy a 2012 legcsapadékosabb hónapja 2013-ban már a legszárazabb volt. Ezen eredményeik nem igazolták a kritikus tavaszi időszak létét, így indokolható az 1. táblázat átdolgozásának szükségessége. Megjegyezzük azonban, hogy az adatok az ún. hagyományos csapadék adatokat tartalmazták és a télvégi hóolvadás hatását nem vettük figyelembe, ami közvetve szintén befolyásolja a pályaszerkezetet alátámasztó földmű teherbíróképességét. Mi azonban a behajlás méréseket május és december között végeztük, így ez a hatás nem befolyásolja az alábbi eredményeinket.

A 3. fejezetben bemutatottak szerint számos lehetőség áll rendelkezésre, ha a behajlási teknő segítségével a pályaszerkezet alatti rétegek teherbíró-képességére akarunk becsléseket megfogalmazni. Mi a vizsgálatok során a svéd összefüggést alkalmaztuk (4. egyenlet), amely terheléstől mért a 900 mm-re rögzített behajlás értékét használja fel. Figyelembe véve, hogy más összefüggések ezen a szenoron mért értéket szintén használják, vagy az ezzel korreláló 1200 mm távolságban mért behajlást, ezért azt gondoljuk, hogy az így meghatározott összefüggések a földmű modulus és a megelőző csapadék adatok között más földmű modulus becslő képletek alkalmazása esetén is igazolhatóak lennének.

A 4. egyenlet segítségével forgalmi sávonként és keresztaszvénenként meghatároztuk a becsült földmű modulus értékeket. Ezt követően sávonként képeztük az adatok átlagát és szórását, majd az alábbi összefüggéssel határoztuk meg az adott sávra, adott időpontban jellemző mértékadó földmű modulusot.

$$E_m = E_{atl} - u * E_S \quad (5)$$

ahol,

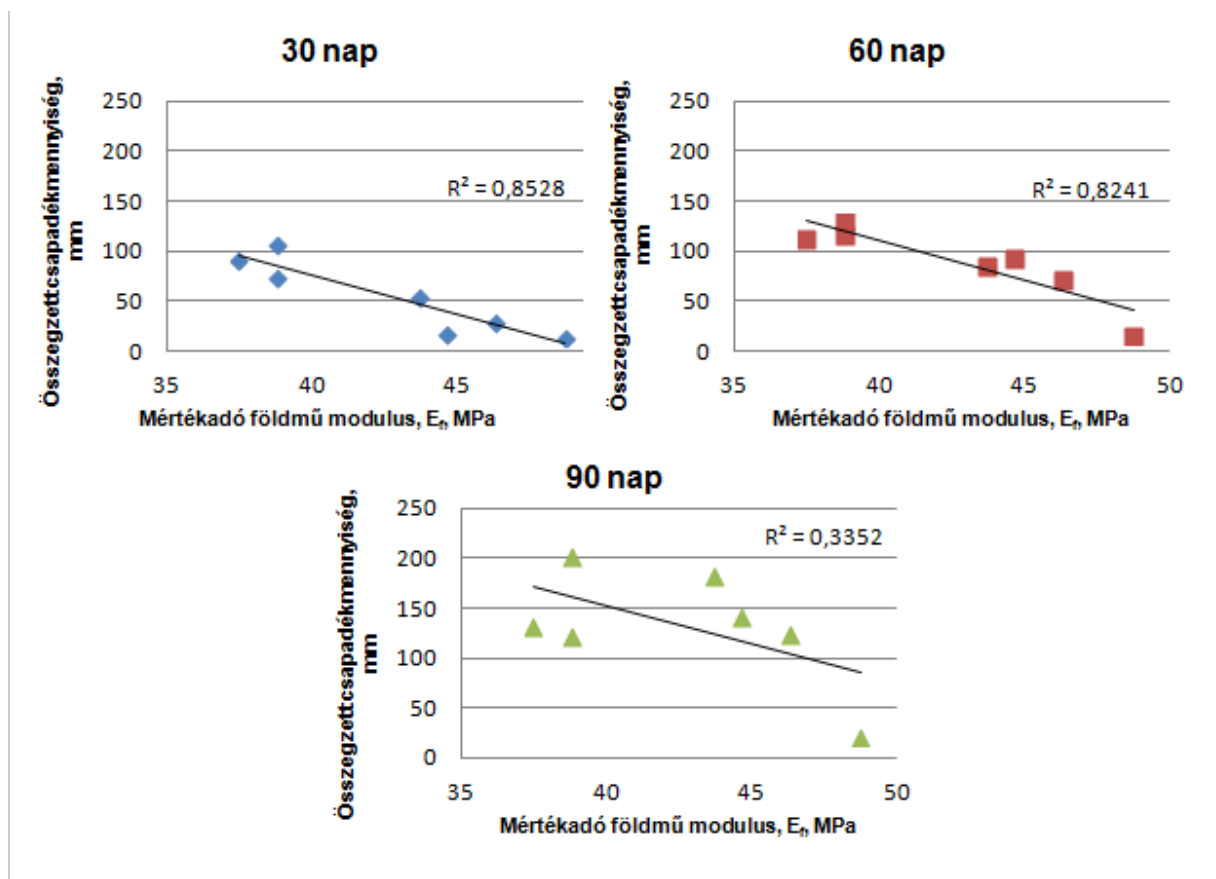
E_m - mértékadó modulus [MPa],

E_{atl} - mért modulusok számtani átlaga [MPa],

u - 95 %-os valószínűségi szint esetén 1,64,

E_S - modulusok szórása [-].

Ezt követően elvégeztük a mérést megelőző 30, 60 és 90 nap csapadék adatainak összegzését és vizsgáltuk az adatpárok közötti kapcsolat erősségét. Az alábbi ábrák a kapcsolat erősségét szemléltetik. Az előző sáv esetén a becsült földmű modulus mind a 30, mind a 60 napos csapadék mennyiséggel szoros korrelációt mutatott, a 90 napos értékek esetén ez a határozott kapcsolat már nem volt kimutatható.



3. ábra

Az előző sáv földmű modulusa és a csapadékmennyiség kapcsolata

A 30 napos csapadékmennyiség és földmű modulus kapcsolata az üzemi sáv esetén még szintén kimutatható volt, azonban a 60 és 90 napos adatok esetén már nem volt egyértelmű. A középső, haladó sáv esetén a kapcsolat már a 30 napos csapadék adatokkal sem volt kimutatható.

Az adataink szerint a behajlási teknő alapján meghatározható földmű modulus és a mérést megelőző napok összegzett csapadék mennyisége között csak bizonyos feltételek mellett mutatható ki szoros kapcsolatot. A 4. táblázat adatai a földmű modulus és a megelőző összegzett csapadék mennyiség adatok közötti korreláció erősségét mutatják (R^2).

Időtartam/sáv	Előző sáv	Haladó sáv	Üzemi sáv
30 nap	0,85	0,21	0,64
60 nap	0,82	0,12	0,38
90 nap	0,34	0,00	0,08

4. táblázat

A földmű modulus és az összegzett csapadék közötti regressziós együttható

Az eredmények alapján látható, hogy mind a három sávban megfigyelhető tendencia volt, hogy a mérést megelőző 30 napos időszak esetén volt a legszorosabb kapcsolat, ami a 60 nap esetén romlott és a legkedvezőtlenebb értékek a 90 napos időszak esetén keletkeztek. Fontos megállapításnak tartjuk továbbá, hogy a legmagasabb korreláció az előzősáv esetén volt megfigyelhető, kisebb erősségű a kapcsolat a leálló (üzemi) sáv esetén. Mindkét sáv egyik burkolatszélével közvetlenül csatlakozik zöldfelülethez, ami értelemszerűen segíti a csapadék közvetlen bejutását ezen forgalmi sávok alá és segíti kifejteni annak kedvezőtlen hatását. A leálló sáv esetén ezt a burkolatszél- zöldsáv kapcsolatot befolyásolja a padka állapota, mérete, esésviszonyai, a rézsű felület, a töltés magasság, a meglévő vízvezető árok távolsága, stb. Véleményünk szerint ezen tényezők együttesen befolyásolják az üzemi sáv padka felőli elnedvesedését.

mértékét, ezáltal gyengébb korrelációt okozna a földmű modulus és a csapadékmennyiség között, mint az előzősáv esetén. A haladósáv helyzete e tekintetben speciális, hiszen közvetlenül nem érintkezik zöldfelülettel, ezáltal olyan kis mértékben reagál a mérést megelőző csapadékviszonyokra, hogy már a 30 napos összegzett csapadékmennyiséggel sem korrelál a becsült modulus. Ezen megállapítás jelentőségét növeli, hogy burkolat-megerősítés méretezés során ezen sáv forgalmi terhelését tekintjük mértékadónak, így ezen sávon mért behajlási értékek nem kellően kidolgozott korrekciókkal történő változtatása nem az évszaki hatást fogja korrigálni, sokkal inkább csak torzítja a teherbírási eredményeket.

4. Összegzés

A jelenleg érvényes magyar burkolat-megerősítési eljárás átdolgozás alatt áll és ennek kapcsán vizsgálat tárgyát képezte, hogy a behajlási eredmények ún. tavaszi értékre történő átszámítása történhet a konkrét hónapokhoz tartozó faktorokkal. A meteorológiai adatok és a felhalmozódott szakmai tapasztalatok azt mutatják, hogy ezen megközelítés torzító hatása jelentős is lehet.

Egy új megközelítés szerint a pályaszerkezet teherbíró-képességének évszaki ingadozását a mérést megelőző összegzett csapadék mennyiséggel lenne célszerű korrigálni, amely a földmű modulus befolyásolásán keresztül fejti ki hatását. Az ezzel kapcsolatos vizsgálatok azonban kistöltés magasságú, 2*1 sávós, jellemzően kifizorgalmú alsórendű utakon történtek. Cikkünkben azt vizsgáltuk, hogy egy töltésen vezetett, jellemzően jól működő vízelvezetésű autópálya-szakasz esetén a javasolt korrekciók alkalmazhatók-e.

Eredményeink szerint azon elméleti megközelítés, hogy a megelőző összegzett csapadék mennyiség és a mértékadó földmű modulusok között szoros kapcsolat lehet, igazolható, bár vizsgálataink szerint a kapcsolat a 30 napos csapadékmennyiség esetén szorosabb, mint a tervezetben javasolt 60 napos esetben. A magas töltésen vezetett, többsávós pályák esetén azonban a vélelmezett vízmozgás másként alapul, mint azt az alsórendű utak viselkedése alapján vártuk. Javaslatunk szerint a javasolt korrekció gyorsforgalmi utak haladó sávjának méretezése során nem alkalmazható, ezekre külön korrekció dolgozandó ki.

5. Irodalom

Christiansen, A.S., Holst, M.L. & Baltzer, S.: Pavement Performance Models, Nordic Cooperation Program, Report No.2, 2010.

F. W. Jung: Numerical Deflection Basin Interpretation and temperature Adjustment in Non-Destructive Testing of Flexible Pavements, 1988

Ott Talvik, Andrus Aavik: Determination Of Limit Values For Fwd Deflection Basin Parameters (Sci, Bdi, Bci) For Pavement Condition Assessment. Proceedings of the XXVII International Baltic Road Conference August 24 – 26, 2009 Riga, Latvia

Per Ullidtz: Modelling Flexible Pavement Response and Performance, 1998

ÚT 2-1.202:2005 [e-UT 06.03.13] Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése

Adatok

Megjelent itt

4. szám
2014. ősz



Szerző

Tóth Csaba

Adjunktus, BME Út és Vasútépítési Tanszék.

Témakörök

Útépítés

Kulcsszavak

behajlás • csapadék • évszaki tényező • földmű modul

Befogadva

2014. december 18.

Hozzászólás

* Név

* Email

Honlap

Hozzászólás

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Témakörök



Megrendelői diszpozíció az útfelújítási munkáknál

Szerző(k) **Karoliny Márton**

Kivonat

Az útfelújítási – megerősítési munkák során a jelenlegi gyakorlatban számos esetben fordul elő, hogy a tervezés közben jelentkeznek olyan problémák, amelyek az egész projekt sikerére is hatást gyakorolhatnak. A megerősítésre vonatkozó szabályozástervezet pedig lényegesen összetettebb, mint az eddigi gyakorlat. A szerző gyakorlati példán keresztül igazolja, hogy az országos közutak esetében a rendszeres állapotfelmérési mérések és még néhány nyilvános forrás felhasználásával könnyen megalkotható az a technológiai jellegű diszpozíció, ami alapján a tervező már megalapozottabban képes munkáját végrehajtani.

1. Bevezetés

A megrendelői diszpozíciónak az útépitési – útfelújítási munkák esetében alapvető jelentősége van. A diszpozíció természetesen sok területre terjedhet ki, jelen írásban a „technológia” (nagyon nehezen definiálható, mégis általánosan használt) témakörébe tartozó diszpozíciós előírásokkal foglalkozom.

Egy új út – útszakasz – esetében ez a diszpozíció viszonylag egyszerűen megállapítható, hiszen új építés esetében:

- egyrészt az érvényes szabályozások alapul vétele viszonylag természetes,
- másrészt az engedélyezési tervet jellemzően megelőzik különböző szinten végrehajtott tanulmányok.

Mindezek alapján a végső diszpozíció meghatározásához jellemzően kellő idő és részletes előzetes információk állnak rendelkezésre. Alapvető kérdés, hogy egy felújítási munka tervezésénél is a Megrendelő világos képpel rendelkezzen arról, hogy mit akar és mik a korlátai. A korlátokat elsősorban a felújítandó szakasz műszaki tulajdonságai (állapotadatai), de nem kis mértékben a pénzügyi és a megvalósításra vonatkozó jogi környezet (engedélyeztetés, műszaki szabályok stb.) jelentik. A nehézségeket tovább fokozza az, hogy a Megrendelő számára már évtizedek óta nem áll rendelkezésre kellő idő a diszpozíciók megfogalmazására.

A továbbiakban megkísérlem konkrét példán keresztül bemutatni, hogy az országos közutak esetében meglévő nagyon értékes állapotadatok alapján hogyan lehet viszonylag gyorsan a realitásokat is figyelembe vevő Megrendelői „technológiai” diszpozíciót kialakítani.

2. Rendelkezésre álló információk, illetve információs források

A hazai országos közúthálózaton nemzetközi mércével is nagyon jó állapotértékelési rendszer működik, immáron sok – sok éve. Az elektronikus technika pedig olyan új lehetőségeket kínál, amelyeket célszerű felhasználni. A továbbiakban ismertetem ezeket az információs forrásokat.

2.1. OKA adatok

Az országos közúti adatbank (OKA) felépítéséről, tartalmáról számos publikáció ad információt, pl.: a Közúti és Mélyépítési Szemle korábban megjelent címszáma [2004]. Megfigyelhető, hogy az OKA adatait főleg a „vezetői tájékoztató” (azaz viszonylag nagymértékben tömörített) szinten hivatkozzák. Ezen tömörítések természetesen nagyon hasznosak, ugyanakkor kissé elterelik a figyelmet arról, hogy az alacsonyabb szinten gyűjtött és feldolgozott adatok „projektszinten” nagyon jól felhasználhatók. A cikk témája az ezen szinten használható adatokkal függ össze.

2.2. KUAB behajlásmérések

Az OKA adatbázis tartalmazza az útszakaszra érvényesnek tekinthető behajlásmérési adatokat. Sajnos – ez kevésbé ismert – de az alapul szolgáló KUAB típusú berendezéssel mért értékek feldolgozásánál [e-UT 09.02.34] nem használnak évszakszorítókat, továbbá a nagyon sok adatot szolgáltató berendezés információiból csak a központi behajlást értékelik.

Ugyanakkor a mérési fájlok rendelkezésre állnak, azaz lehetséges az összes mért adattal dolgozni, de kétségtelen, hogy ezekhez a hozzáférés alapvetően személyes kapcsolatokon keresztül lehetséges.

Megjegyzendő, hogy egy korábbi innovációs feladat során [Karoliny – Markó – Primusz – Tóth; 2009] a 2005. évvel bezárólag a KUAB mérési fájlok adatbázisba lettek szervezve jó felhasználhatósággal, célszerű lenne ezen adatbázis életre keltése és frissítése.

2.3. Forgalomszámlálási adatok

Hazánkban a rendszeres forgalomszámlálásoknak sok évtizedes hagyománya van és az évente rendszeresen végzett számlálások adatai nyilvánosak és hozzáférhetőek a [Magyar Közút Zrt. honlapján](#). Itt jegyzem meg, hogy a hozzáférhetőség ugyan létezik, de azok a formátumok, amelyek nyilvánosak, kevésbé „felhasználóbarátok”, a minősítésre később még visszatérek.

2.4. UTADAT alkalmazások

Jó néhány éve elérhető – szintén nyilvánosan – az [UTADAT honlapján](#) az országos közúthálózat különböző céllal használható hálózati térképe és tematikus háttértérképei. A nagyon hasznos honlap esetleges továbbfejlesztésével a címbeli feladatok is gyorsabban, könnyebben lennének végrehajthatók.

2.5. Földtani térképek

Korábban a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), ma a Magyar Földtani és Geofizikai Intézetnek rendkívül értékes földtani térképkiadványai vannak nyilvánosan, [elektronikus formában](#) is elérhetően.

A földtani terminológia ugyan lényegesen összetettebb, mint a szakmánkban használatos talajosztályozás [e-UT 06.02.11], de némi időráfordítással jól transzformálható (ismereteim szerint a Magyar Közút Zrt.-nél foglalkoznak a kölcsönös megfeleltetéssel).

A térképeknek az a különlegesen fontos tulajdonsága, hogy megtalálhatóak rajtuk az országos közúthálózat szakaszai, azaz viszonylag egyszerűen be lehet azonosítani egy szakasz földtani – talajmechanikai – tulajdonságait.

2.6. Google alkalmazások

A Google térkép alkalmazásnak van egy hasznos lehetősége, az utcakép, aminek segítségével egy útszakaszon számítógépes „helyszíni szemlét” lehet tartani, mert a képek viszonylag frissek (1 – 2 éven belüliek) és elég jó a minőségük. Kétségtelen, nem adja a valós helyszíni szemle élményét, viszont sokkal gyorsabb és visszakereshető.

2.7. Meteorológiai adatok

Egy szakasz állapotának megítéléséhez - főleg a behajlásmérések feldolgozásánál - célszerű, ha rendelkezésre állnak az aktuális és a múltbeli meteorológiai adatok. Az OMSZ-től ezek kissé bonyolultan szerezhetőek be, de egy nemzetközi egyezménynek köszönhetően nyilvánosak és elérhetőek a [NOAA honlapján](#) (National Oceanic and Atmospheric Organisation, USA) honlapján a hazai adatok is.

3. Az alkalmazott eljárás alapja

Az alkalmazott eljárás alapja a „Fenntartható utak” című, a Magyar Közút és a Magyar Útügyi Társaság közös akciójában elkészült munkabizottsági jelentés [munkabizottsági jelentés](#) 2. illetve 3. sz. mellékletében ismertetett, a meglévő útpályaszerkezetek megerősítésére vonatkozó módszer [MK – MAÚT; 2013].

A módszer egyrészt mechanikai alapokra helyezi a megerősítés méretezését, másrészt a hazánkban alkalmazott összes megerősítési módszerre kitér, ezáltal lehetőséget ad a különböző lehetséges módszerek gazdasági összehasonlítására. A megrendelői „technológiai” diszpozíció funkciója abban van, hogy a lehetséges

módszerek közül kizárja az adott projektben nyilvánvalóan nem alkalmazható módszereket.

4. Az útszakasz állapotának jellemzése

A továbbiakban a rendelkezésre álló adatok alapján értékelem a szakasz állapotát.

4.1. A szakasz általános leírása

Az útszakasz az 52. sz. főút 25+250 – 30+000 km. szelvényei közé esik, alapvetően kelet – nyugati irányú, a szakasz nyomvonala gyakorlatilag egyenes. A szakasz teljes mértékben külsőségi, lakott településen nem halad át, nincs csomópontja országos közúttal. A szakasz magassági vonalvezetése közel vízszintes, a terephez képest maximum 1 – 2 m távolságban.

Jól felismerhető, hogy a kiépítésnél a földmunka döntően keresztz szállítós volt, azaz a szükséges töltésképzőt a viszonylag nagyméretű csapadékelvezető árkokból való kitermeléssel biztosították. Az árkok alapvetően szikkasztóárkok, a terep hosszirányban érdemi vízvezetést nem tesz lehetővé, a szakasz egyetlen keresztvezést tartalmaz vízfolyással, ez egy mesterséges levezető árok.

4.2. „Helyszíni szemle” (Google)

A Google alkalmazásával tartott „helyszíni szemle” megállapításai röviden a következők:

- a szakaszon a műszelvény szélesség jellemzően nagy,
- a koronaszélesség viszont hiányos (valószínűleg a kiépítési koronaszélesség 8,0 m lehetett, az eredeti burkolatszélesség „növelése” a padkaszélességet csökkentette, ez helyenként kritikusan kevés (500 – 800 mm),
- a szakaszon részben profilmarás (keréknyom megszüntetés) látható, vannak felületi bevonatos szakaszok és a forgalmi sáv szélességénél keskenyebb aszfaltjavítások,
- a nem mart és nem aszfaltozott felületeken szélletörés és reflexiós repedések láthatók.

4.3. Földtani viszonyok

A MÁFI vonatkozó térképszelvénye (Izsák) szerint a területen löszös homok az uralkodó földtani képlet, ezt iszapként értékelhetjük.

4.4. Meglévő pályaszerkezet felépítése és szélessége

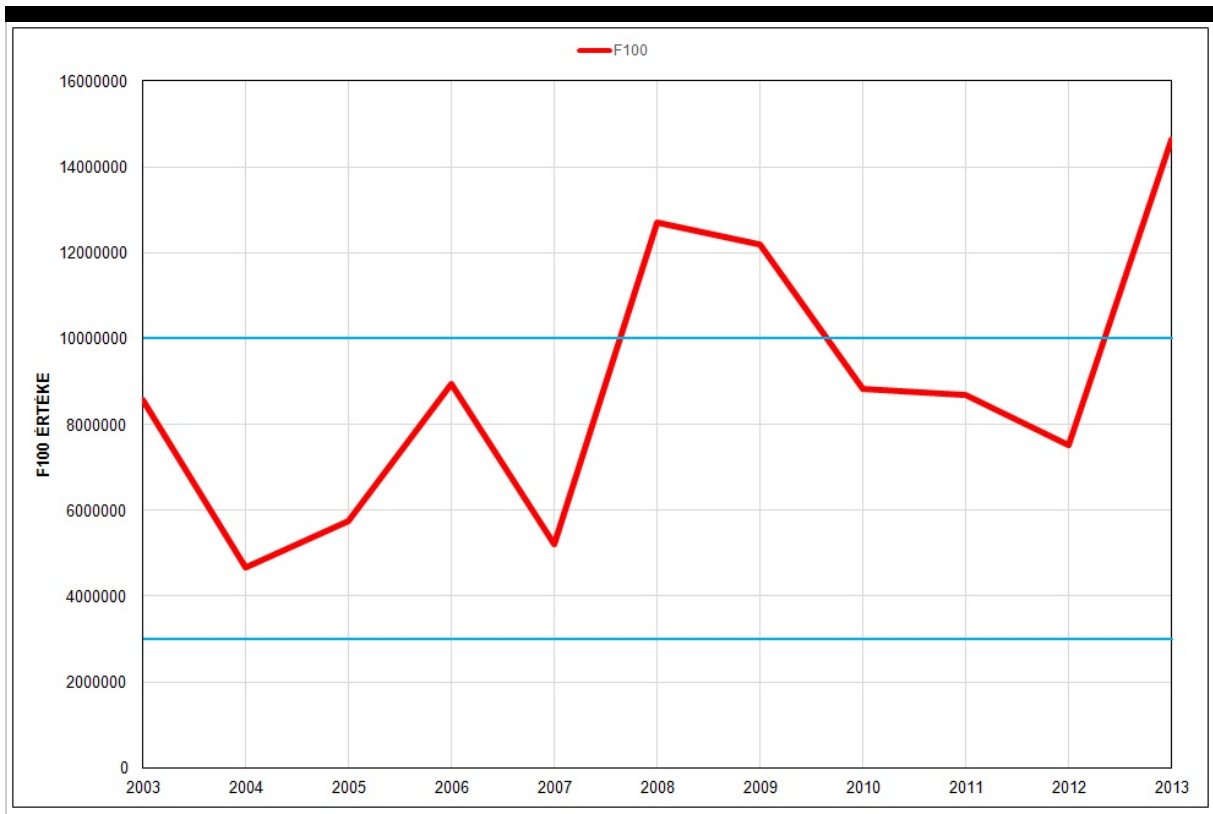
Az út kiépítése, betonburkolattal, az 1934 – 1940 évek közé tehető, az akkori technológiával maximum 6,0 m szélességgel. Megjegyzendő, hogy az ilyen típusú információk főleg az 1970 – 1985 között keletkezett megyei úthálózat-történeti kiadványokban találhatók.

A ma látható aszfaltburkolat valószínűleg az 1970 – 80 évek között keletkezett, később felületi bevonatot is kapott. A 150 mm vastag betonburkolaton az összes aszfaltvastagság 120 – 130 mm. A feltárások alapján valószínűsíthető, hogy az aszfaltozás során a meglévő rakott terméskő padkát aszfaltozták le, esetlegesen helyi betonszélesítések történhettek.

A megrendelői igény a meglévő 7,0 m szélesség megtartása, ami abból a szempontból problematikus, hogy a mintaszámítás alapján létesítendő aszfaltrétegek vastagsága (figyelembe véve a kopóréteg eltávolítását is) a 45°-os szabály szerint vagy padkára aszfaltozást, vagy szélesítést igényelne. Az első nyilván szakmailag nem kívánatos, a második pedig a meglévő padkaszélesség miatt a meglévő szabályok betartásával gyakorlatilag lehetetlen.

4.5. A méretezési forgalom

Érvényes szabályozásunk tartalmaz egy számítási eljárást, továbbá előírja, hogy a legutolsó forgalomszámlálási adatokat kell használni. Miután a megerősítés méretezése a szükséges aszfaltvastagságot az F100 folytonos függvényében adja meg, fontosabb esetekben célszerű több forgalomszámlálási időpontot is megvizsgálni. A kérdéses szakaszra vonatkozóan ezt megtettem, az eredményeket az 1. ábrán látható diagramon ábrázoltam.



1. ábra
F100 értéke a megelőző 10 évben

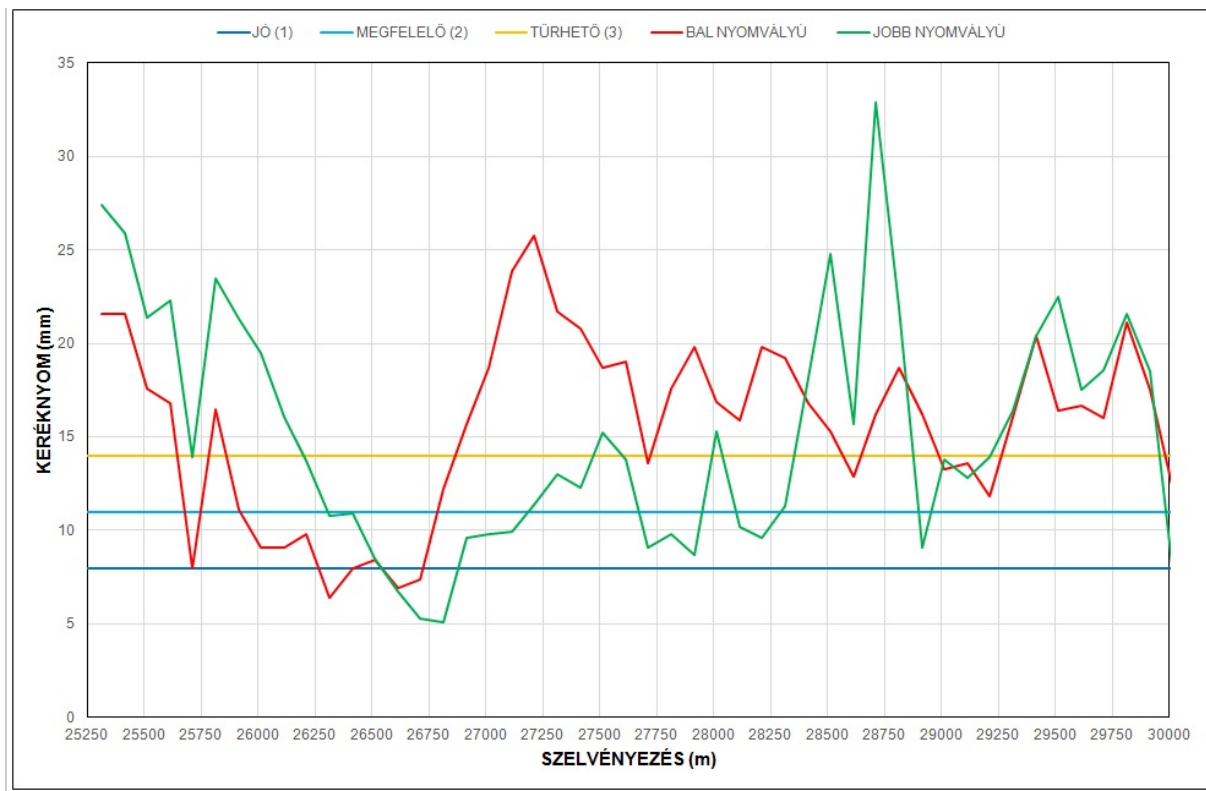
Jól látható, hogy a különböző évek forgalmi megnevezésében nagymértékben ingadoznak (a szakaszon mért adatok állnak rendelkezésre). Itt tértek vissza a forgalomszámlálási adatoknál tett megjegyzésekre, a nyilvános pdf formátum nagymértékben megnehezíti a hosszabb idősorok vizsgálatát, lehet, hogy az excell formátum használata célszerűbb lenne.

4.6. Felületi tulajdonságok

A felületi tulajdonságok közül az OKA adatbázisból a keréknyom, a felületi egyenletesség és a ROAD MASTER szubjektív állapotfelvétel adatokat értékeljük ki.

4.6.1. Keréknyom

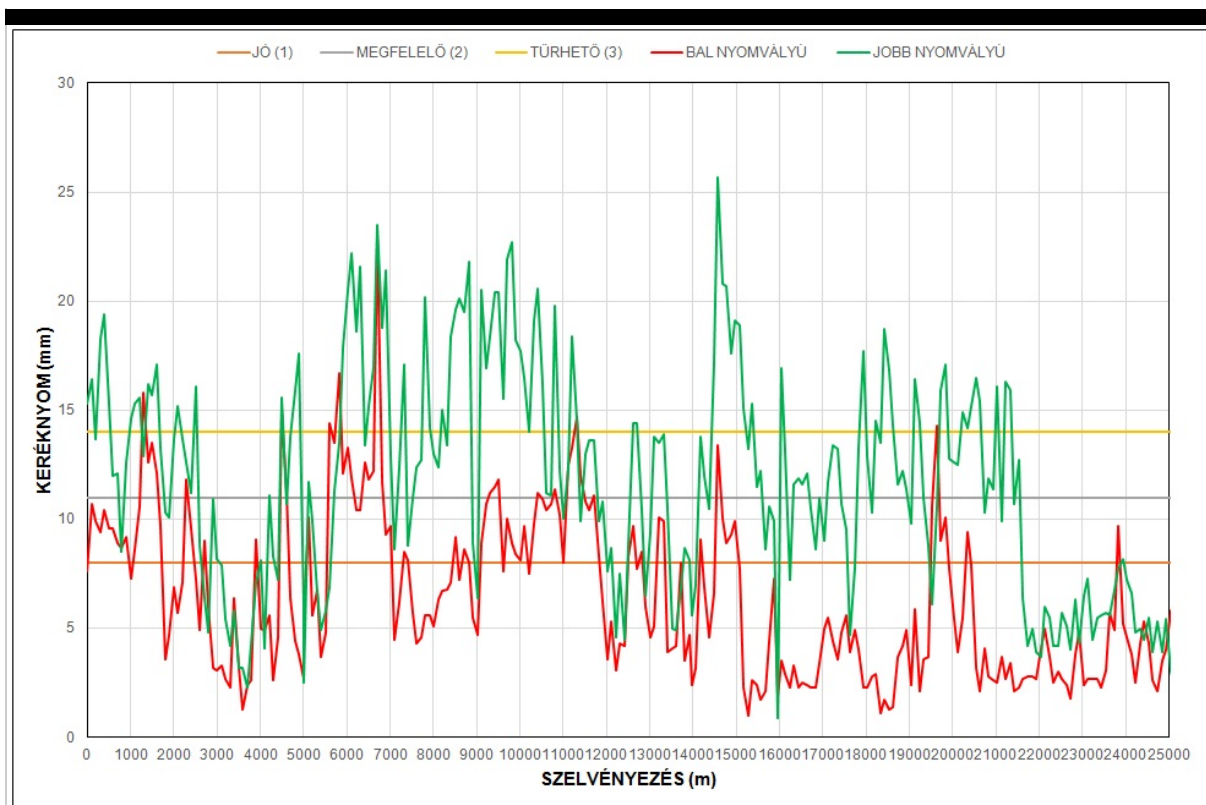
A szakaszra érvényes keréknyomértékeket az OKA adatbázisából közlöm. Megjegyzendő, hogy a nagyon jó mérési tulajdonságokat mutató RST felmérés [e-UT 09.02.24] adataiból a keréknyommérés adatok zavarba ejtőek (a mértékadó és az OKA vezetői szintű kiértékeléseiben szereplők), ezért a forgalmi sáv jobb és bal oldalán értelmezhető adatokkal számolok. Azt is kell tudni, hogy a rendszeres állapotfelmérések során jellemzően a jobb oldal adatait rögzítik, ez hálózati szinten célszerű, projektszinten okozhat hibát, de a lehetséges hiba kockázata viszonylag csekély.



2. ábra

Felületi tulajdonságok kiértékelése 1/A

Az értékeket a 2. ábrán tüntettem fel, jól felismerhető, hogy a szakasz döntő részén az elfogadhatónál nagyobbak a keréknyomok. Mindezekből lehet következtetéseket levonni a meglévő aszfaltrétegek deformációs hajlamára, de ezt kellő óvatossággal kell megtenni.



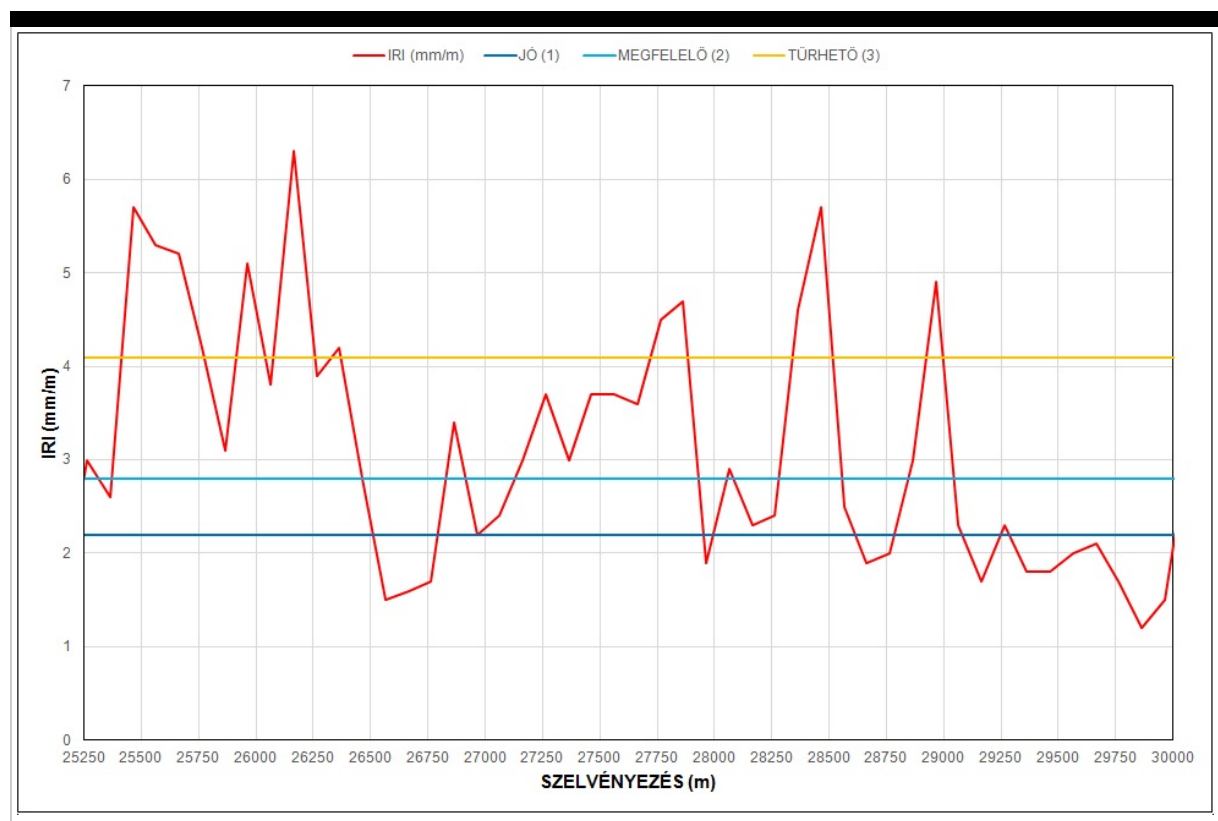
3. ábra

Felületi tulajdonságok kiértékelése 1/B

Egy másik útszakaszon (3. ábra), a jobb és bal oldali nyomvályú mélység vizsgálatánál világosan kitűnik, hogy a két oldal között szignifikáns az eltérés. A jól megfigyelhető különbség a „jobb” (a burkolatszélhez közelebbi) oldalon mutat jóval nagyobb nyomvályút. Nyilvánvaló, hogy az utóbbi esetben nem a meglévő aszfaltréteg deformációs hajlama miatt van nagy nyomvályú, ennek oka valószínűleg a burkolatszélhez közeli alacsonyabb földmű teherbíró-képesség, ami meglehetősen gyakori jelenség. Összefoglalva – visszatérve az értékelendő szakaszra – és figyelembe véve a korábbi profilmarásokat is, valószínűleg a meglévő aszfaltrétegek deformációs hajlama rossz.

4.6.2. Felületi egyenletesség

A felületi egyenletességet szintén az RST mérés alapján jellemezzük az IRI (International roughness index) értékkel, mm/m, vagy m/km dimenzióval. Az érték nagymértékben meghatározza az útszakaszra eső közlekedésüzemi költséget [Nemzeti Úthálózat; 2008].

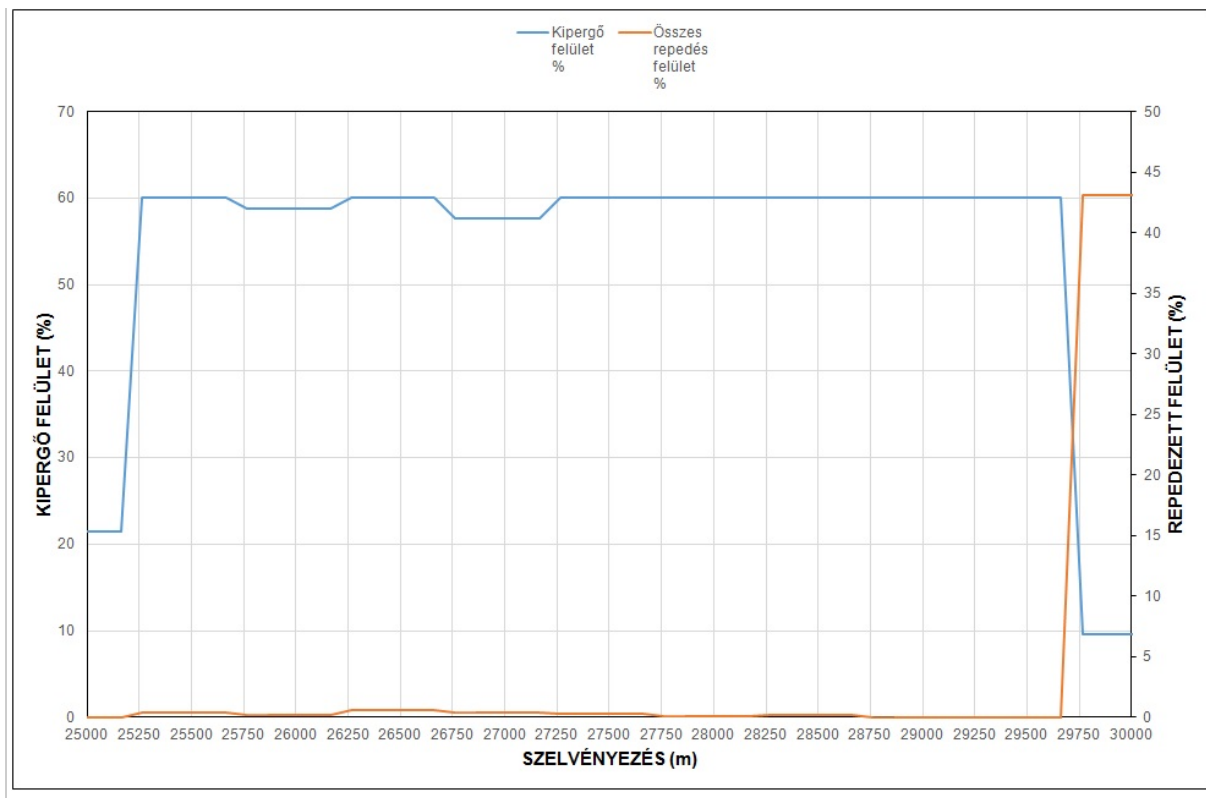


4. ábra
Felületi tulajdonságok kiértékelése 2.

Megvizsgálva a szakaszra vonatkozó értékeket (4. ábra), megállapítható, hogy azok gyakorlatilag a teljes hosszon nem felelnek meg a „jó” állapotúnak, de sok helyen meghaladják a „tűrhető” határértéket is.

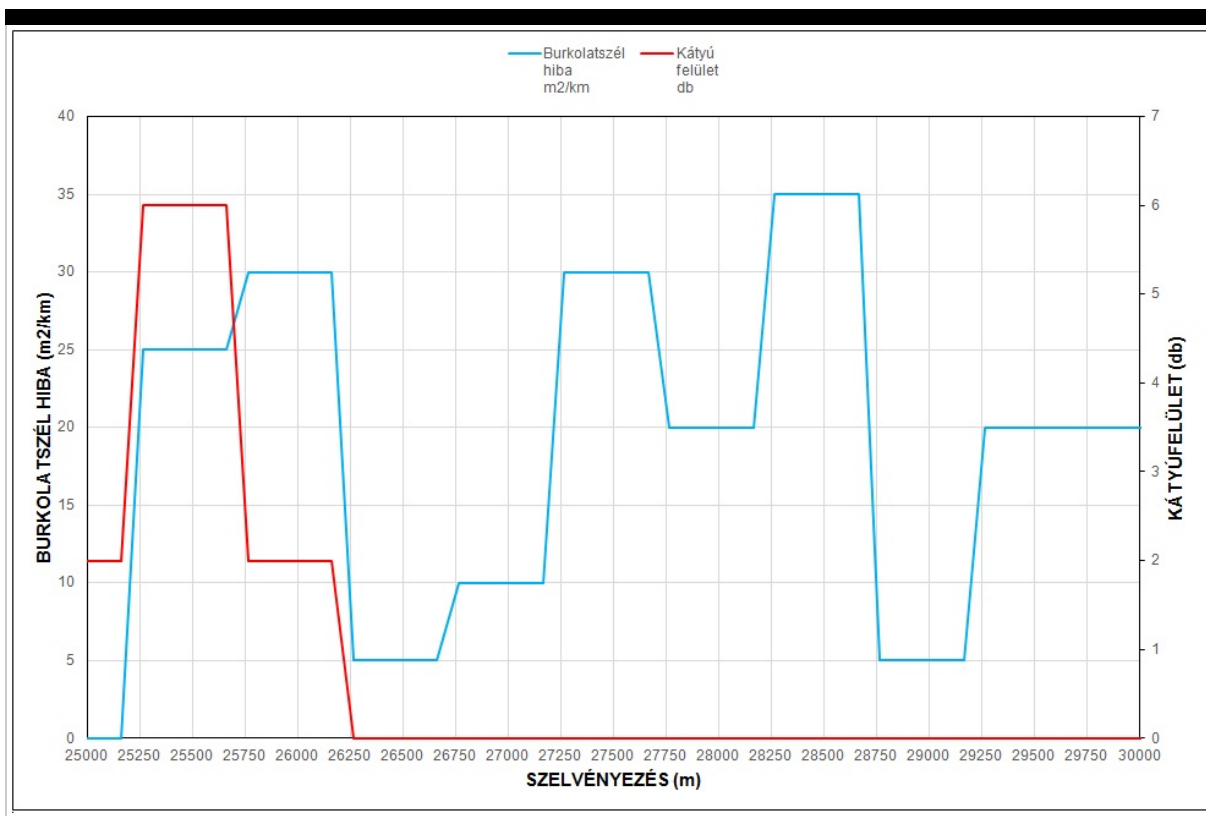
4.6.3. Felületépség

A felületépséget az ún. „ROAD MASTER” [e-UT 09.02.26] szubjektív állapotfelvétel alapján értékelem ki. Az 5. ábrán a felületen látható, a szerkezeti problémákra utaló meghibásodások értékeit tüntettem fel. Jól felismerhető, hogy a szakaszon kátyú (kátyúhely) megközelítőleg egy km-es részen figyelhető meg. A burkolat szélletörés viszont kritikusan sok, ez valószínűleg összefügg a szélesítés minőségével.



5. ábra
Felületi tulajdonságok kiértékelése 3.

A felület a teljes szakaszon kipergő, a repedések mennyisége az utolsó 250 m – t leszámítva elfogadható mennyiségű (6. ábra).



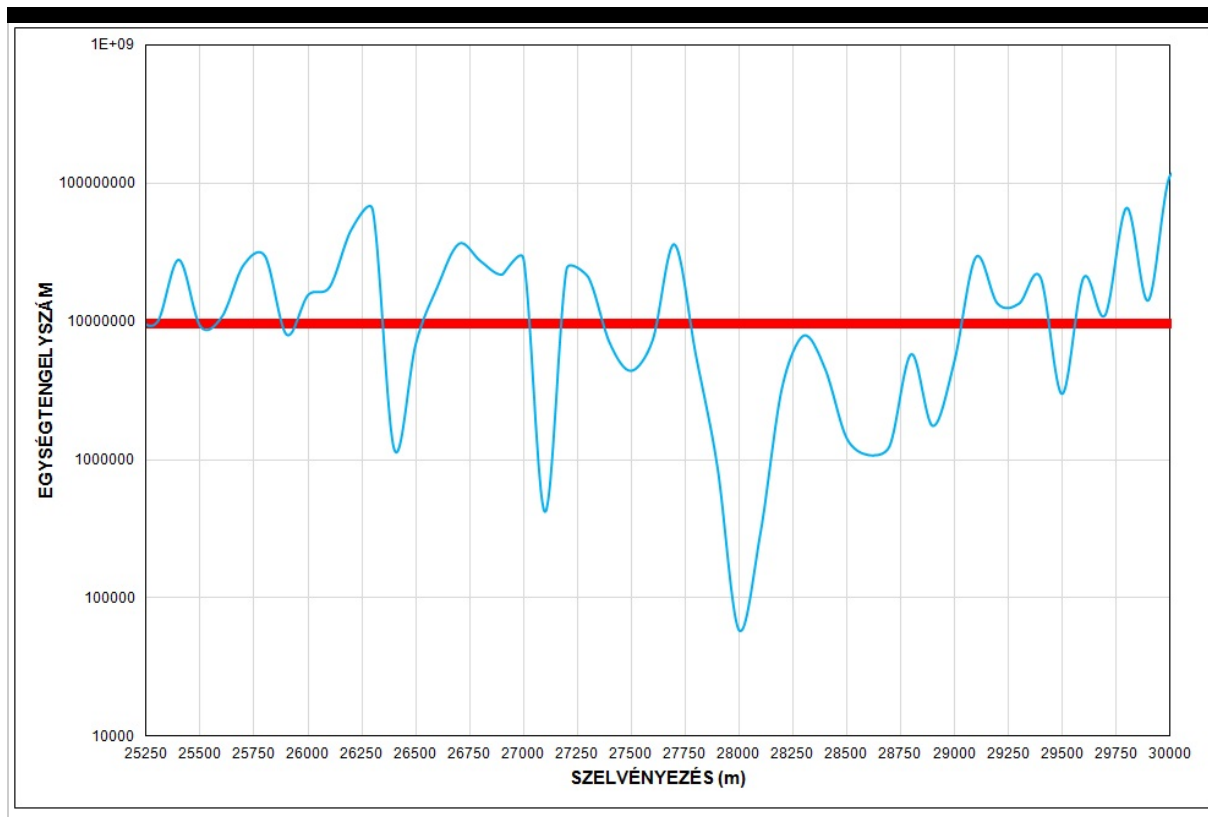
6. ábra
Felületi tulajdonságok kiértékelése 4.

4.7. Pályaszerkezet merevségi tulajdonságai

A szakaszon rendelkezésre állt egy 2001. évi KUAB behajlásmérés, ennek feldolgozásával lehet becsléseket adni a pályaszerkezet merevségi tulajdonságaira.

4.7.1. Közelítő hátralévő élettartam

A Fenntartható utak című kézirát [MK – MAÚT; 2013] részletes előírást ad a behajlásmérések feldolgozásához, ennek alapján minden mérési ponton számítható (megfelelő meteorológiai korrekcióval) az érvényesnek tekinthető egyenértékű felületi modulus. Az anyag ezen értékek függvényében ad egy képletet, amivel a közelítő hátralévő élettartam meghatározható, ezt ábrázoltam a 7. ábrán.



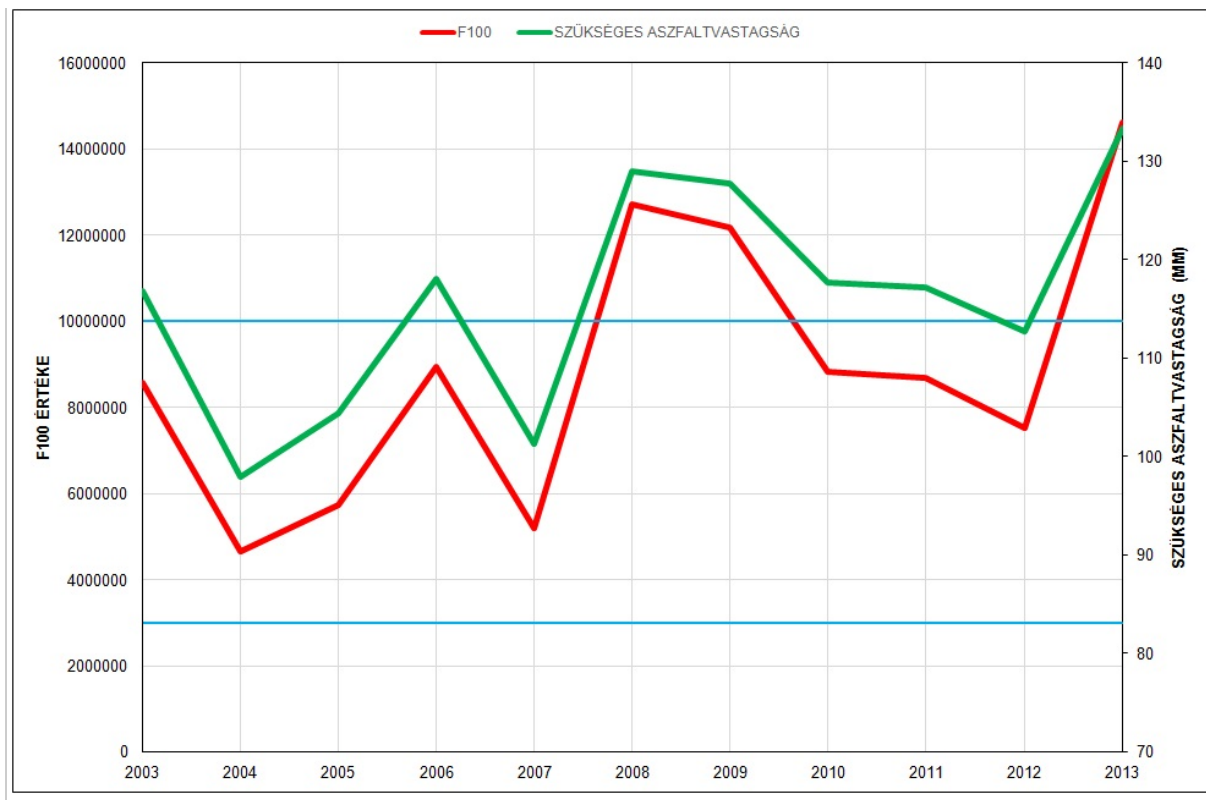
7. ábra

Közelítő hátralévő élettartam és a számított F100 érték

Jól megfigyelhető, hogy a szakasz jelentős részén a hátralévő élettartam elmarad a tervezési forgalom értékétől.

4.7.2. Közelítő szükséges erősítő aszfaltvastagság

A feldolgozott behajlásértékekből az anyag leírása szerint számítható a szükséges erősítő aszfaltvastagság, ezt az 1. ábrán megjelenített nehéz forgalmi adatokkal kiszámítottam (8. ábra).



8. ábra
F100 értéke a megelőző 10 évben

Jól látható, hogy a szükséges aszfaltvastagság milyen mértékben függ a nehéz forgalom nagyságától, bizonyítva a forgalom meghatározásánál szükséges óvatosságot. A szakaszra a legutolsó adatok alapján számított F100 értékhez mintegy 110 – 120 mm vastagság tartozik.

5. Következtetések a diszpozíció megállapításához

A továbbiakban az eddig megszerzett és bemutatott információk alapján levonom azokat a következtetéseket, amely alapján a technológiai diszpozíció létrehozható.

5.1. Alkalmazható megerősítési módszerek

A felhasznált és sokat hivatkozott anyagban a következő megerősítési módszerek vannak tárgyalva.

Megerősítő módszer megnevezése	Módszer alkalmazható változatai	Alkalmazást kizáró körülmények
Megerősítés ráépítéssel	Ráépítéssel, szabályozásoknak megfelelő aszfaltkeverékek alkalmazásával	A meglévő aszfaltrétegek nem megfelelő aszfaltmechanikai tulajdonságai, a meglévő burkolatfelület profilhelyességének olyan hibája, amelyek teljes felületű kiegyenlítő réteggel nem szüntethetők meg
	Ráépítéssel, szabályozásoknak megfelelő aszfaltkeverékek alkalmazásával, a meglévő aszfaltrétegek részbeni, vagy teljes eltávolításával	A maradó aszfaltvastagság nem lehet 0 - 60 mm között
	Ráépítéssel, szabályozásoknak megfelelő aszfalt és más	Nincsenek

	pályaszerkezeti keverékek alkalmazásával	
Megerősítés helyszíni újrahaznosítással	Helyszíni meleg újrahaznosítással, Remix plusz eljárással	A pályaszerkezet aszfaltrétegei alkalmasak az újrahaznosításra, az újrahaznosítás vastagságán felül maradó aszfaltvastagság nem lehet 0 - 60 mm között
	Helyszíni meleg újrahaznosítással, Admix eljárással	
	Helyszíni hideg újrahaznosítással, anyagpótlás nélkül	Minimálisan 150 mm. Hidegen újrahaznosítható réteg(ek) a meglévő pályaszerkezetben, az újrahaznosítás vastagságán felül maradó aszfaltvastagság minimum 60 mm, vagy teljesen el kell távolítani az aszfaltot
	Helyszíni hideg újrahaznosítással, anyagpótlással	Az újrahaznosítás vastagságán felül maradó aszfaltvastagság nem lehet 0 - 60 mm között
Megerősítés (élettartam növelés) lokális javításokkal	Lokális javítással, új kopóréteg nélkül	A meglévő aszfaltrétegek nem megfelelő aszfaltmechanikai tulajdonságai, a meglévő burkolat felületi egyenletességének, profilhelyességének nem megfelelőisége (IRI>5 mm/m, keréknyom > 10 mm)
	Lokális javítással, új kopóréteg felületi bevonat	
	Lokális javítással, új kopóréteg vékonyaszfalt (max. 25 mm vastagság)	A meglévő aszfaltrétegek nem megfelelő aszfaltmechanikai tulajdonságai, a meglévő burkolat felületi egyenletességének, profilhelyességének nem megfelelőisége (IRI>10 mm/m, keréknyom > 15 mm), az alkalmazandó aszfaltkeveréken felül teljes felületen kiegyenlítő réteg szükséges

1. táblázat
Megerősítő módszerek

Mindenek előtt le kell szögezni, hogy a meglévő kopóréteg nem alkalmas fogadófelületnek, mert felületi tulajdonságai rosszak. Az eddigiekben nem volt említve, de általános tapasztalat, hogy a meglévő felületek nem profilhelyesek (nem csak a keréknyomra gondolok) hanem átlagos oldalesésük szinte mindig távol áll a „szabályostól”. Megjegyzendő, hogy ez leggyakrabban már tervezés közben, a keresztaszalványok kialakításánál „derül ki” és általában kiegyenlítő réteg alkalmazásával oldják meg a problémát. Ez minőségi kockázatokat okoz, ezért kerülendő.

Elvileg az RST mérőkocsi képes lenne az oldalesésre vonatkozó adatokat is szolgáltatni, ezáltal még a tervezés előtt a valós helyzet megismerhető lenne, de jelenleg ilyen feldolgozásokat nem végeznek. Jelen esetben az állapotadatok és a vizuális felvétel alapján mérnöki becsléssel az mondható, hogy mivel a kopóréteg amúgy sem alkalmas fogadófelületnek, az eltávolítás egyben profiljavításra is felhasználható.

Vizsgáljuk meg ezek után, hogy melyik megerősítési módszer vizsgálata lehetséges a tervezés során, azaz milyen legyen az erre vonatkozó diszpozíció:

- a ráépítés kizárható az előbb elmondottak alapján,
- az eltávolítás utáni ráépítés alkalmazható, itt megjegyzendő, hogy a szükséges erősítő vastagság közelítő számítása olyan vastagságot ad, ami nagyon közel van ahhoz a vastagsághoz (140 mm) ami esetében a fogadófelület alatti aszfaltok deformációs hajlama már nem vizsgálendő,
- a helyszíni meleg újrahaznosítás Remix Plusz eljárással (ezt általában a meglévő kopórétegek esetében használják) kizárható, mert jellemzően nem tudja a deformációs tulajdonságokat javítani, jelen esetben pedig biztosan van ilyen probléma,
- a helyszíni meleg újrahaznosítás Admix eljárással a kopóréteg eltávolítása után elvileg alkalmazható, a tervezés során kell az alkalmazhatóságot megvizsgálni, anyagvizsgálatokkal
- a helyszíni hideg újrahaznosítás ÚT 2-3.707 [e-UT 05.02.52] Bontott útépitési anyagok újrahaználata I. Pályaszerkezet helyszíni hideg újrahaznosítása című útügyi műszaki előírás szerint csak A – E forgalmi terhelési kategóriában alkalmazható, itt lényegében e fölött vagyunk,

- a lokális javításokkal történő megerősítés a rossz felületi tulajdonságok miatt kizárható.

Látható, hogy a feldolgozott információk alapján viszonylag gyorsan és kellő pontossággal kizárhatók azok a megerősítési módszerek, amelyek az adott esetben nem megfelelőek.

5.2. Burkolatszélesség

A jelenlegi hivatalos burkolatszélesség 7,0 m, amit a közútkezelő szeretne megtartani.

Itt a következő problémákkal állunk szembe:

- a jelenlegi pályaszint a megerősítés után kb. 100 mm – rel lesz magasabb, ez azt jelenti, hogy az alsó aszfaltréteg szélessége minimum 7,2 m, azaz a padkára kell aszfaltozni,
- feltételezve, hogy a jelenlegi szélesítés teherbíró-képessége megfelelő (a ROAD MASTER adatok és a vizuális felmérés ezt kérdéssé teszi) ilyen kis szélesítés műszakilag nem oldható meg, célszerűen süllyesztett szegélyépítéssel lehet a problémát megoldani (erre ma már nagyon gyors és variábilis eljárások is léteznek, lásd az 9. ábrát),
- ha a jelenlegi szélesítés teherbíró-képessége nem megfelelő, akkor egy súlyos geometriai korlátba ütközünk, mert jelenlegi gyakorlatunk minimum 700 mm szélesítést ír elő, ez alatt a további rétegek szélessége pedig legkevesebb 1000 mm, ez viszont azt jelenti, hogy nem marad padka, azaz földműszélesítés lenne szükséges, ez pedig mindenképpen építési engedély köteles tevékenység, annak minden jogi nehézségeivel.

Itt látszik igazán a diszpozíció előkészítésének fontossága, mert az adott esetben, akár szegélyt építünk, akár földművet szélesítünk, ennek anyagi és idő szükséglete jelentős, ami a projekt sorsát is befolyásolhatja.



9. ábra
Munka közben

5.3. Újrahasznosítás

A felújítási projekteken – mint itt is láthattuk – gyakran keletkezik bontott, mart aszfalt. Ennek sorsa hivatalosan jellemzően az, hogy a közútkezelő telephelyére szállítják be, majd utána valamire használják.

Felfogásom szerint célszerű lenne a bontott – mart aszfaltot minél nagyobb mértékben a projekten „belül” felhasználni, műszaki, gazdasági és a jogkövetésre vonatkozó célszerűség miatt.

A burkolatszélesség problémáját a konkrét projekten elemezve felmerült egy olyan hasznosítási lehetőség, hogy a lemart kopóréteg anyagából hidegaszfaltot előállítva, abból mindkét oldalon egy 300 mm széles gerendát készítve az anyag nagy részét felhasználva a szélességi problémát is mérsékelni lehet. Természetesen egyéb lehetőségek is vannak, itt most elsősorban a figyelmet szerettem volna felhívni a kérdésre.

6. Összefoglalás

Az írásban bemutattam, hogy lényegében írásztal mellett lehetséges megalapozni egy olyan technológiai diszpozíciót, amivel a felújítási munkák tervezése megalapozottabbá válhat, csökkenhetnek a minőségi kockázatok és nem utolsósorban a megerősítés tervezéséhez szükséges idő és vizsgálati mennyiség is csökkenthető.

7. Szakirodalom

Közúti és Mélyépítési szemle, 2004 július

ÚT 2-2.122 [e-UT 09.02.34] Dinamikus teherbírásmérés (KUAB). Mérési eredmények feldolgozása

Szoftverfejlesztések az útgazdálkodás témakörében dr. Markó Gergely, Primusz Péter, Karoliny Márton, Tóth Csaba, TPA konferencia, 2009 május, előadás, kézirat.

ÚT 2-1.222 [e-UT 06.02.11] Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai

Magyar Közút Zrt – Magyar Útügyi Társaság: Fenntartható utak. Kézirat, 2013

ÚT 2-2.116 [e-UT 09.02.24] RST-mérés és –értékelés

Nemzeti Út-, hídfelújítási Program 2009-2020; Nemzeti Úthálózat 2020 Konzorcium, 2008

ÚT 2-2.118 [e-UT 09.02.26] Burkolatfelület állapotának minősítése Roadmaster rendszerrel

Adatok

Megjelent itt

4. szám

2014. ősz



Szerző

Karoliny Márton

Okleveles építőmérnök, szakmérnök, mérnök-közgazdász. A MAUT Útpályaszerkezetek szakbizottság elnöke, jelenleg aktív, szakmai tanácsadással foglalkozó nyugdíjas.

Témakörök

Útépités • Útgazdálkodás

Kulcsszavak

diszpozíció • felújítás • megerősítés

Abstract

In current practice, it occurs during the road reconstruction and overlay works in many cases that design problems appear, that might impact on the success of the whole project. The draft of overlay design method is significantly more complex than the current practice. The author of this paper demonstrates with practical examples, that the technological disposition can be created easily using regular condition measurements and some public source in the case of national public roads. On this basis the designer is able to perform his work more grounded.

Hozzászólás

* Név	<input type="text"/>
* Email	<input type="text"/>
Honlap	<input type="text"/>
Hozzászólás	<input type="text"/>
<input type="button" value="Hozzászólás elküldése"/>	

[Bejegyzések](#)

[Galéria](#)

[Impresszum](#)

[Interjúk](#)

[Könyvajánló](#)

[Nemzetközi szemle](#)

[Témakörök](#)

