

# Európai tendenciák és együttműködés az ITS rendszerek területén – hazai eredmények és kihívások

Szerző(k) **Dr.-habil. Lindenbach Ágnes**

## Kivonat

*A cikk bemutatja az európai- és a hazai közlekedéspolitika lényeges célkitűzéseinek megvalósításában az intelligens közlekedési rendszerek / szolgáltatások szerepét. A megfogalmazott / kitűzött ITS vízió elérését támogatja az ITS stratégia.*

*Az ITS Direktíva keretét ad a következő évek munkájának az intelligens közlekedési rendszerek / szolgáltatások területén. A prioritással rendelkező intézkedésekre vonatkozóan folyamatosan jelennek meg az EU Bizottság részéről az előírások, felhatalmazáson alapuló rendeletek formájában, amelyek meghatározzák a tagállamok feladatait.*

*A regionális / európai együttműködés Magyarország számára az EU csatlakozásunk után indulhatott meg; aktív partnere volt hazánk a korábbi CONNECT és EasyWay projekteknek, jelenleg pedig a CROCODILE konzorcium tagja – a cikk áttekintést ad ezekről a projektekről.*

*A jövő feladatai az ITS Direktíva megvalósítása, a társfinanszírozásra a jövőben elsősorban a CEF projektek keretében lesz lehetőség.*

## 1. Az európai közlekedéspolitika céljai 2050-ig

A közös európai cél az, hogy létrejöjjön egy versenyképesebb és teljes mértékben integrált közlekedési hálózat, amely összeköti a különböző közlekedési módokat és mélyreható változásokat tesz lehetővé mind a személyközlekedés, mind pedig a teherszállítás területén.

2011. márciusban az EU Bizottság nagyratörő tervet vázolt fel az új európai „Fehér Könyv” a „Közlekedés 2050-ig” dokumentum elfogadásával [1].

*A versenyképes közlekedési rendszerek kiépítése létfontosságú Európa számára, hogy talpon tudjon maradni a világ más részeivel szemben, gazdaságilag növekedni tudjon, munkahelyeket teremtsen és javítsa az állampolgárok mindennapi életének minőségét.*

A dokumentummal egy átfogó stratégia született egy *versenyképes európai közlekedési rendszer* kiépítése érdekében, amely növeli a mobilitást, jelentős csökkenést tesz lehetővé a közlekedésből származó emisszió terén, segít elérni a halálos áldozatoktól csaknem teljesen mentes közúti közlekedést, továbbá felszámolja a jelentősebb akadályokat a kulcsfontosságú területeken.

Az intelligens közlekedési rendszerek / szolgáltatások alkalmazása hozzájárulhat a kitűzött célok eléréséhez, így a stratégiai dokumentum célul tűzi ki egy multimodális, kiváló minőségű információs szolgáltatásokat biztosító az egyéb utak és a városi úthálózat üzemeltetőivel együttműködő TEN-T alaphálózat létrehozását 2030-ig.

A közúti közlekedésbiztonság területén a 2001. évi „Fehér Könyv” célkitűzéseit [2] folytatva (mely szerint 2001. és 2011. között a halálos balesetek szenvedettek számát felére kell csökkenteni) 2020-ra a felére csökkenteni a halálos áldozatok számát, és célul tűzni ki a nullához való közelítést 2050-re („zero vision”).

A közúti közlekedés káros-anyag kibocsátása területén az a célkitűzés, hogy összességében 60%-kal csökkenjen a közlekedésből származó emisszió a század közepéig (ne legyenek hagyományos üzemanyaggal működő autók a városokban; 40%-ban alacsony szénhidrogén-tartalmú üzemanyagok használata a légközlekedésben; a közepes távolságú, városok közötti személy- és teherforgalom 50%-ának átirányítása közútról vasútra és vízi közlekedésre).

## 2. Hazai közlekedéspolitika - Nemzeti Közlekedési Infrastruktúra-fejlesztési Stratégia

Magyarország gazdaságában kiemelt szerepet játszik az ipari termelés és export, ezért a gazdasági növekedés egyik feltétele a közlekedési hálózat állapotának és a szolgáltatások színvonalának a javítása. A közlekedés az ország GDP-jének 6,2 %-át állítja elő és mintegy 260 ezer embernek ad munkát, közvetve pedig mind a 10 millió magyarországi lakos életkörülményeit befolyásolja. Az EU2020 iparpolitikai közleménye szerint az ipar versenyképessége nagymértékben a közlekedési infrastruktúra-szolgáltatások minőségén és hatékonyságán múlik [3].

Az EU Bizottság 2014-2020 közötti költségvetési periódusa/tervezési időszaka hazai közlekedési tartalmú operatív programjainak előkészítése megkezdődött.

A 2014-től rendelkezésre álló szabad források dinamikus felhasználásához a *Kormány és az EU Bizottság* által elfogadott operatív programokra van szükség; az EU Bizottság részéről történő elfogadás feltétele az operatív programok alapjául szolgáló, de az operatív kérdéskörökön túlmutató, *átfogó ágazati stratégia / nemzeti közlekedési terv* megléte.

A „*Nemzeti Közlekedési Infrastruktúra-fejlesztési Stratégia*” 2014. évben elkészült.

A  *fő cél* a gazdasági szempontból hatékony, versenyképes, a társadalmi igényeknek megfelelő, korszerű, biztonságos és a környezetet kevésbé terhelő közlekedés megteremtése. A stratégia kulcsterületei az alábbiak [4]:

- El kell érni, hogy a közlekedési rendszer a gazdasági növekedést a hatékonyság folyamatos javításával szolgálja.
- Meg kell határozni a gazdasági növekedést közép- és hosszú távon legjobban szolgáló közlekedésfejlesztési területeket.
- Felzárkózást támogató fejlesztéspolitikát kell folytatni, biztosítani kell az esélyegyenlőséget és a kiegyenlített alapellátást.
- A közlekedési rendszer fejlesztését gazdasági és műszaki értelemben is fenntarthatóság orientált stratégia keretében kell megvalósítani, a közszolgáltatók eladósodását meg kell állítani, a nemzeti vagyont meg kell őrizni.
- Csökkenteni kell a közlekedés környezeti terhelését és energiafüggőségét.
- Jelentősen csökkenteni szükséges a közlekedés baleseti áldozatainak számát.
- Javítani kell a közlekedési szolgáltatások színvonalát a korszerű és költségkímélő informatikai eszközök alkalmazásával.
- Összekapcsolt, együttműködő utazási és szállítási láncokat kell létrehozni.

A *célok elérésének eszközei* között pedig a magas színvonalú, korszerű technológián alapuló kiszámítható, biztonságos és pontos szolgáltatásnyújtás; a meglévő közlekedési hálózatok, hálózati elemek biztonságos és hatékony kihasználása, minőségének megőrzése és fejlesztése; valamint a magas szintű szaktudás, a *korszerű technológia* alkalmazása szerepelnek.

### 3. A jövő intelligens közlekedési rendszereinek „víziója” – az intelligens közlekedés rendszerek / szolgáltatások stratégiája

Az intelligens közlekedési rendszerek/szolgáltatások jelentős mértékben hozzájárulhatnak az alapvető közlekedéspolitikai célkitűzések megvalósításához.

A közúti közlekedési rendszer kívánatosnak elképzelt jövőbeli állapotát, a jövő harmonizált alkalmazásait az alábbi átfogó „*ITS vízió*” mutatja be az alábbiak szerint:

„A fenntartható közlekedési rendszer lehetővé teszi az európai közúti személy- és áruforgalomban részt vevők számára a biztonságos (balesetmentesség), hatékony (késések elkerülése) és tiszta (környezetbarát) utazást. A felhasználókat mindenhol és mindenkor segítik az összehangolt és akadálymentes ITS szolgáltatások az utazás valamennyi fázisában (utazás előtt, utazás közben).”

A fenti „*ITS vízió*” elemei a „*jól informált utas*” (utazási információs szolgáltatások) víziója, a „*jól üzemeltetett úthálózat*” (forgalmi menedzsment rendszerek) víziója, a „*hatékony és biztonságos áruszállítás*”, valamint a „*kapcsolódó kiváló minőségű infokommunikációs infrastruktúra*” víziója.

Az „*ITS vízió*” elérését szolgálja az *ITS stratégia*, melynek tartalmaznia kell azokat a prioritással rendelkező

alkalmazási területeket, amelyek illeszkednek az európai tendenciákhoz és a hazai követelményekhez – figyelembe véve az úthálózat-fejlesztés koncepcióját, a forgalomfejlődés trendjét, a közlekedéspolitikai alapvető célkitűzéseit, valamint az úthasználók (járművezetők és más közlekedők) igényeit.

Az intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások alkalmazásának területén a *hazai közúti közlekedésben* – kapcsolódva az egyéb közlekedési al-ágazatokhoz, illetve közlekedési módokhoz – lehetőség van a „*kitörésre*”, ezt összefoglalóan *egyértelműen támogatják* a következők:

- a jelenlegi európai tendenciák, az új európai Közlekedéspolitikai „White Paper” [1]; az EU Bizottság 2009. évi „*ITS Intézkedési Terve*” [5] és 2010. évi „*ITS Direktívája*” [6] az ITS rendszerek gyorsabb – az általános közlekedéspolitikai célok megvalósítását segítő – elterjesztésére;
- az EU Bizottság 2014. évtől is rendelkezésre álló pénzügyi támogatásai az intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások területén, elsősorban az EasyWay projekt lezárását követő „átmeneti”, a 2013-2015 évben művelendő új, regionális ITS témájú projektben való közreműködéssel; valamint a 2014-2020 évek közötti időszakban indított új ITS témájú projektekkel (már a magasabb támogatási lehetőségeket biztosító CEF projektek keretében);
- a kormányzati szándék mellett a magánszolgáltatók növekvő érdeklődése, valamint a hálózatüzemeltetők, illetve az úthasználók igényei az intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások minél szélesebb körű alkalmazására.

A tervezett magyarországi „*ITS stratégiának*” is – az átfogó „*Nemzeti Közlekedési Infrastruktúra-fejlesztési Stratégia*” dokumentumhoz illeszkedő módon – ezt a kitörési lehetőséget kell tükröznie. Az átfogó „*ITS stratégiának*” kapcsolódási pontokkal kell rendelkeznie más közlekedési al-ágazatokkal is, emellett mind a műszaki, mind pedig a nem műszaki jellegű feladatokat is tartalmaznia kell.

## 4. Az ITS Direktívához kapcsolódó feladatok

### 4.1. Az 2010/40/EU direktíva jelentősége

Az Európai Parlament és Tanács 2010/40/EU irányelve (2010. július 7.) az intelligens közlekedési rendszereknek a közúti közlekedés területén történő kiépítésére, valamint a más közlekedési módokhoz való kapcsolódására vonatkozó keretről” (vagyis „ITS Direktíva”) legfontosabb célkitűzése az intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások koordinált fejlesztésének és alkalmazásának felgyorsítása a közúti közlekedés területén (valamint a közúti közlekedésnek egyéb közlekedési módokkal való kapcsolódásában) [6].

Ez az irányelv keretet hoz létre az intelligens közlekedési rendszerek (ITS) uniós, különösen a tagállami határokon átnyúló, összehangolt és egységes kiépítésének és használatának támogatására, és meghatározza az e célból szükséges általános feltételeket.

Az irányelvet a közúti közlekedés területén valamennyi ITS-alkalmazásra és szolgáltatásra, valamint azoknak a más közlekedési módokkal való kapcsolódási pontjaira kell alkalmazni, a nemzetbiztonsági kérdések vagy a védelmi érdekek szempontjából szükséges megfontolások sérelme nélkül.

Az ITS Direktíva 2. és 3. cikkelyében meghatározta az intelligens közlekedési rendszerek alkalmazásához kapcsolódó *kiemelt területeket és intézkedéseket*. A Direktíva rendelkezik a kiemelt területekhez kapcsolódó intézkedésekre vonatkozó előírások, valamint adott esetben a szükséges szabványok kidolgozásáról is.

A kiemelt területek alkalmazási területének részletezése a 2010/40/EU irányelv 1. számú mellékletében található. Az 2010/40/EU irányelv 2. cikkely szerinti *négy kiemelt területe*, és az irányelv 3. cikkely szerinti *hat kiemelt intézkedése* az alábbiakban foglalhatók össze [6] [7]:

I. A közúti, forgalmi és utazási adatok optimális felhasználása:a

- a) Az EU egészére kiterjedő multimodális utazási információs szolgáltatások;
- b) Az EU egészére kiterjedő valós idejű forgalmi információs szolgáltatások;
- c) A valamennyi felhasználó számára díjmentesen hozzáférhető, közúti közlekedési biztonsággal kapcsolatos „általános közlekedési információk” biztosítása;

II. A forgalmi és teherszállítási forgalmi menedzsmenthez kapcsolódó ITS szolgáltatások folyamatossága.

III. A közúti biztonsággal kapcsolatos ITS alkalmazások:

- d) A kölcsönösen átjárható, az EU egészére kiterjedő intelligens segélyhívó szolgáltatás;
- e) A tehergépjárművek és a haszongépjárművek számára védett és biztonságos parkolóhelyekre irányuló információszolgáltatás;
- f) A tehergépjárművek és a haszongépjárművek számára védett és biztonságos parkolóhelyekre irányuló foglalási rendszerek biztosítása;

IV. A jármű összekapcsolása a közlekedési infrastruktúrával.

#### 4.2. Az ITS Direktíva kiemelt intézkedéseire vonatkozó előírások rendeletek

A következő években az intelligens közlekedési rendszereknek / szolgáltatásoknak az „ITS Direktíva” ad keretet. Kiemelt jelentőségű az ún. *előírások / rendeletek* megjelenése, amelyek alkalmazása kötelező lesz minden tagállam számára, amennyiben az adott kiemelt területnek számító ITS rendszert / szolgáltatást valósít meg.

Az ITS Direktíva legfontosabb rendelkezései az *előírásokra / rendeletekre* a következő:

A (4) cikkely szerint a rendelet: követelményeket, eljárásokat és egyéb vonatkozó szabályokat tartalmazó rendelkezéseket meghatározó, kötelező erejű intézkedés.

A 6 (1) cikkely felszólítja a Bizottságot, hogy az ITS rendszerek és szolgáltatások fejlesztése és alkalmazása tekintetében érvényesülő kompatibilitás, kölcsönös átjárhatóság és folyamatosság biztosításához szükséges előírásokat/ specifikációkat fogadjon el a kiemelt intézkedések vonatkozásában.

A 6 (4) cikkely szerint adott esetben és az előírás hatályától függően a rendeletnek tartalmaznia kell legalább egyet a következő rendelkezéstípusok közül:

- a) *funkcionális rendelkezések*, amelyek leírják a különböző érdekeltek szerepét és a közöttük folyó információáramlást;
- b) *technikai rendelkezések*, amelyek előírják a funkcionális rendelkezések végrehajtásához szükséges technikai eszközöket;
- c) *szervezési rendelkezések*, amelyek meghatározzák a különböző érdekeltek eljárási kötelezettségeit;
- d) a *szolgáltatásra* vonatkozó rendelkezések, amelyek tartalmazzák a szolgáltatások különböző szintjeinek és tartalmának a leírását az ITS alkalmazások és szolgáltatások vonatkozásában.

Az előírások elfogadását megelőzően az EU Bizottság egy *költség-haszon* elemzést is magában foglaló hatásvizsgálatot végez.

A 7 (1) cikkely felhatalmazása értelmében az EU Bizottság *felhatalmazáson alapuló rendeleteket* fogad el az előírások /specifikációk tekintetében.

Az eddig elkészült, és megjelent felhatalmazáson alapuló rendeletek az alábbiak:

A Bizottság 305/2013/EU felhatalmazáson alapuló rendelete ( d ) kiemelt intézkedés):

A Bizottság *305/2013/EU* felhatalmazáson alapuló rendelete (2012. november 26.) „A 2010/40/EU európai parlamenti és tanácsi irányelvnek az EU egészére kiterjedő, kölcsönösen átjárható, harmonizált e-segélyhívó szolgáltatások tekintetében való kiegészítéséről” címmel 2013. április 3.-án jelent meg az Európai Unió Hivatalos Lapjában (III. kiemelt terület; *d.) kiemelt intézkedése*)[8]. A rendelet az Európai Unió Hivatalos Lapjában való kihirdetését követő 20. napon lépett hatályba, azaz 2013. április 23-án. Ez a rendelet a hatálybalépése időpontját követően (azaz 2013. április 23-tól) kiépített infrastruktúrára alkalmazandó. A hatálybalépése időpontjában már meglévő infrastruktúrára 2014. április 23-tól alkalmazandó.

A Bizottság 885/2013/EU felhatalmazáson alapuló rendelete ( e ) kiemelt intézkedés)

A Bizottság *885/2013/EU* felhatalmazáson alapuló rendelete (2013. május 15.) az intelligens közlekedési rendszerekre vonatkozó 2010/40/EU európai parlamenti és tanácsi irányelvnek a teher- és haszongépjárművekkel igénybe vehető biztonságos és védett parkolóhelyekre vonatkozó információszolgáltatásnyújtás tekintetében történő kiegészítéséről 2013. szeptember 18-án jelent meg az Európai Unió Hivatalos Lapjában (III. kiemelt terület; *e.) kiemelt intézkedése*) [9]. A rendelet az Európai Unió Hivatalos



Lapjában való kihirdetését követő huszadik napon, azaz 2013. október 8-án lépett hatályba. Ezt a rendeletet a következő időpontoktól kell alkalmazni: 2015. október 1-jétől az e rendelet hatálybalépése előtt kiépített szolgáltatások nyújtása tekintetében, 2013. október 1-jétől az e rendelet hatálybalépése után kiépítésre kerülő szolgáltatások nyújtása tekintetében.

#### A Bizottság 886/2013/EU felhatalmazáson alapuló rendelete ( c ) kiemelt intézkedés)

A Bizottság 886/2013/EU felhatalmazáson alapuló rendelete (2013. május 15.) a 2010/40/EU európai parlamenti és tanácsi irányelvnek a közúti biztonsággal kapcsolatos, minimális általános forgalmi információk lehetőség szerinti, a felhasználók számára térítésmentes biztosításához szükséges adatok és eljárások tekintetében való kiegészítéséről 2013. szeptember 18-án jelent meg az Európai Unió Hivatalos Lapjában (I. kiemelt terület; c.) *kiemelt intézkedése*) [10]. A rendelet az Európai Unió Hivatalos Lapjában való kihirdetését követő huszadik napon, azaz 2013. október 8-án lépett hatályba. Ezt a rendeletet 2013. október 1-jétől kell alkalmazni. A hatálybalépés időpontjában már meglévő információs szolgáltatásokra azonban 2015. október 1-jétől alkalmazandó.

#### A Bizottság 962/2015/EU felhatalmazáson alapuló rendelete ( b ) kiemelt intézkedés)

A Bizottság 962/2015/EU felhatalmazáson alapuló rendelete (2014. december 18.) a 2010/40/EU európai parlamenti és tanácsi irányelvnek az EU egészére kiterjedő valós idejű forgalmi információs szolgáltatások nyújtása tekintetében történő kiegészítéséről 2015. június 23.-án jelent meg az Európai Unió Hivatalos Lapjában (I. kiemelt terület; b.) *kiemelt intézkedés*) [11]. A rendelet az Európai Unió Hivatalos Lapjában való kihirdetését követő huszadik napon, azaz 2015. július 13-án lépett hatályba. Ezt a rendeletet 2017. július 13-tól kell alkalmazni.

### **4.3. Az „ITS Direktívában” foglalt kötelezettségek teljesítése**

Az EU Bizottság 2010/40/EU „ITS Direktíva” által előírt jelentési kötelezettség értelmében Magyarország 2012. augusztus 27-én „Nemzeti ITS jelentésben” számolt be az elkövetkezendő ötéves időszakra szóló nemzeti ITS intézkedésekről. A jelentés szerint az alábbi projektek tervezettek:

*I. prioritási terület:* A közúti, forgalmi és utazási adatok optimális kihasználása – utazási információs szolgáltatások (TIS):

- Közlekedési adattárház létrehozása adat-portállal az utazási / közlekedési információs szolgáltatások felépítéséhez.
- Utazási időket meghatározó/kijelző rendszerek telepítése – M0 és fővárosi bevezető szakaszok (korábbi fejlesztések folytatása, különböző adatforrásokat felhasználó és üzemeltetők együttműködésén alapuló rendszer fejlesztése Budapest térségében).

*II. prioritási terület:* A forgalmi és teherszállítási menedzsmenthez kapcsolódó ITS-szolgáltatások folyamatossága – forgalmi menedzsment szolgáltatások (TMS):

- Átfogó forgalmi menedzsment megvalósítása / forgalmi menedzsment tervek elkészítése a teljes autópályahálózatra vonatkozóan (beleértve a határon átnyúló forgalmi menedzsment megoldásokkal, kapcsolódással a városi forgalmi menedzsmenthez) az autópályák hatékony, biztonságos üzemeltetése érdekében.
- A közhasznú közlekedés nyílt, egységesített adatbázisának létrehozása (városi területek, közösségi hálózat főbb útvonalai mentén) magas színvonalú utas-tájékoztató szolgáltatások létrehozása érdekében.

*III. prioritási terület:* A közúti biztonsággal kapcsolatos ITS-alkalmazások:

d) jelű kiemelt intézkedés: A kölcsönösen átjárható, az EU egészére kiterjedő intelligens segélyhívó szolgáltatás:

- eCall egységes európai vészhívó rendszer hazai ütemezett megvalósítása.

e) jelű kiemelt intézkedés: A tehergépjárművek és a haszongépjárművek számára védett és biztonságos parkolóhelyekre irányuló információszolgáltatás: >

- Az M1 autópálya parkolás-irányítási rendszer teljes kiépítése, pilot foglalási rendszerek létrehozása.

A következő években az ITS Direktíva kiemelt intézkedési területeire vonatkozóan megjelent felhatalmazáson alapuló rendeleteknek megfelelő rendszerek / szolgáltatások kiépítése lesz a legfontosabb feladat.

## 5. Európai együttműködés az intelligens közlekedési rendszerek / szolgáltatások alkalmazása és fejlesztése területén

A 2004. évtől Magyarország – mint EU tagállam – számára európai társfinanszírozásnak komoly jelentősége volt. A röviden bemutatásra kerülő CONNECT, az EasyWay és a CROCODILE projektek keretében elkészült hazai fejlesztések egyedülállóak, hiszen korábban sohasem került sor átfogó, széleskörű, egy átfogó stratégiához illeszkedő fejlesztésekre (azelőtt eddig csupán „szigetszerű” megoldások születtek, különböző időszakokban megvalósított, egymással nem kompatibilis fejlesztések keretében). A projektben való közreműködéssel olyan – az út-/autópálya-hálózaton valóban szükséges – hazai fejlesztések voltak megvalósíthatók, amelyek *európai kontextusban interoperábilis szolgáltatások* megvalósítását tették lehetővé, biztosítva ezáltal az úthálózat magasabb szolgáltatási szintjének elérését [7].

Lényeges szempont volt, hogy az európai együttműködés lehetővé tette a magyar szakemberek számára a sikeres európai gyakorlatok/megvalósítások megismerését.

### Regionális együttműködés – CONNECT projekt

Az Európai Unió fontos célkitűzései között szerepelt a transeurópai közlekedési hálózatok (TEN-T) egységesítése, az azonos műszaki és szolgáltatási színvonal, valamint a megfelelő kapacitások biztosítása.

2005. és 2009. között az euró-regionális CONNECT projekt (Coordination and stimulation of innovative ITS activities in Central and Eastern European Countries) adott keretet a hazai ITS fejlesztéseknek. A projekt résztvevői a közép-kelet-európai régió új EU-tagállamai (Lengyelország, Csehország, Szlovákia, Szlovénia, valamint Magyarország), továbbá Ausztria, Németország és Olaszország, illetve ezen országok üzleti hatóságai, autópálya-üzemeltetői, rendszerszolgáltatói voltak. Tanulmányok, megvalósítási tanulmányok kerültek kidolgozásra, pilot-projektek és tényleges megvalósítások készültek el a CONNECT projekt keretében [7] [12] [13].

Kiemelt jelentőségű munkák – megvalósult projektek:

- forgalmi monitoring kiépítése az autópálya-hálózat kritikus szakaszain;
- forgalomszabályozó- és információs rendszer kiépítése az autópálya-hálózaton;
- forgalomirányító központ migrációja /fejlesztése;
- az autópálya forgalomirányító központ és a fővárosi forgalomirányító központ együttműködésének fejlesztése (DATEX alapú adatcsere felépítése);
- a közlekedési/utazási információs rendszerek kiépítése, RDS-TMC felépítése, multimodális információs rendszerek kiépítése;
- együttműködés megkezdése osztrák és szlovák partnerekkel a határon átnyúló forgalmi menedzsment területén;
- horizontális tevékenységként elkészült egy átfogó ITS-stratégia a közúti közlekedés területén, és megkezdődött a hazai ITS „rendszer-felépítési terv” kialakítása.

### Európai együttműködés kiszélesítése – EasyWay projektek

Mivel az intelligens közlekedési rendszerek témaköre az EU Bizottság kiemelt prioritása volt az euró-regionális projektek lezárása után is, a 2007-2012 évek között az *EasyWay projektekben (I. fázis 2007. és 2009. között, II fázis: 2009. és 2012. között)* 27 európai ország működött együtt *hozzáadott értéket képviselő ITS szolgáltatások megvalósításán* az európai TERN hálózaton [7] [12] [13].

Az *EasyWay projekt két fázisában* a hazai projektpartnerek folytatták az euró-regionális CONNECT projekt keretében megkezdett munkát, a projekt egyes fázisaiban az alábbi munkák készültek el:

*Megvalósult kiemelkedő jelentőségű munkák az EasyWay I. fázisában:*

- elkészült a jövőbeli szolgáltatások alapját képező „adat-portál” pilot-projektje;
- létrejött a fővárosi multi-modális információs rendszer alapja;
- folytatódott az autópálya-hálózat forgalomszabályozó- és információs rendszereinek kiépítése (prioritás M0 környéki);
- tovább épült a fővárosi- és az autópálya forgalomirányító központok együttműködése;
- a határon átnyúló forgalmi menedzsment folytatása (M1 utópálya vonatkozásában);
- a tehergépjárművezetők parkolási információs rendszerének megvalósítása.

*Megvalósult kiemelkedő jelentőségű munkák az EasyWay II. fázisában:*

- forgalomszabályozó- és információs rendszerek további kiépítése az autópálya-hálózat kritikus szakaszain, budapesti bevezető szakaszain (mérőhálózat kiterjesztésével, forgalomszabályozó- és információs rendszerek további kiépítésével);
- a fővárosi- és az autópálya forgalomirányító központok közötti együttműködés folytatása;
- utazási információs rendszerek további kiépítése;
- a teherszállítási információs szolgáltatások kiépítésének folytatása, veszélyes / túlsúlyos / túlméretes áruk menedzsmentje;
- közúti adatok „adatportáljának ” továbbfejlesztése;
- új partner csatlakozásával (Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ) átfogó, egységes közúti adatnyilvántartás (KIRA) alapjainak kiépítése.

#### Európai korridorprojektek – CROCODILE

Kiemelt fontosságú volt a megkezdett közös európai munka folytatása, így a hazai ITS fejlesztéseinek 2015. év végéig a tervezett CROCODILE projekt adott keretet. Az EU Bizottság 2013. december 11-én jelentette meg nyílt felhívását, melyben az egyik kiemelt szakmai terület az *ITS rendszerek / szolgáltatások területe* volt. A CONNECT régió tagállamai „CROCODILE - *Cooperation of Road Operators for Consistent and Dynamic Information Levels*” névvel készítették elő egy ITS témájú projektet.

A projekt keretében Ausztriából, Bulgáriából, Csehországból, Görögországból, Horvátországból, Lengyelországból, Magyarországról, Németországból, Olaszországból, Romániából, Szlovákiából, Szlovéniából dolgoznak együtt a partnerek a közös célok megvalósításán, a határon átnyúló forgalom javítása érdekében. A hazai kedvezményezett a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, a projektek megvalósítói a Magyar Közút Nonprofit Zrt. és a Budapest Közút Zrt.

CROCODILE projekt ITS tevékenységeinek középpontjában az ITS Direktívának megfelelően európai dimenziójú, interoperábilis, a végfelhasználóknak/ közlekedőknek nyújtott szolgáltatások állnak – mint a *közúti forgalombiztonsággal kapcsolatos, minimális általános forgalmi információk* (c) jelű kiemelt intézkedés); valamint a *tehergépjárművek számára rendelkezésre álló parkolóhelyekre vonatkozó információk* (e) jelű kiemelt intézkedés).

*Az egyes kiemelt területeken az egyes projektek az alábbiak voltak:*

Határon átnyúló koordinációs tevékenységek, együttműködési megállapodások:

- az elkészült forgalmi menedzsment tervek felülvizsgálata, új tervek előkészítése a szomszédos országokkal közösen.

Adatgyűjtés, adatfeldolgozás az ITS Direktíva c) és e) kiemelt területeire vonatkozóan:

- a meglévő forgalmi adatgyűjtő és adatfeldolgozó infrastruktúra továbbfejlesztése.
- adatgyűjtő- és monitoring hálózat fejlesztése közlekedésbiztonsággal kapcsolatos forgalmi információk továbbításához TEN-T korridorok által érintett fővárosi útszakaszokon.

Adatokhoz való hozzáférés:

- nemzeti DATEX II „csomópont” létrehozása;
- forgalomterelések dinamikus adatbázisa valós idejű adatbázis létrehozása;
- nyílt, szabványos adatkommunikáció feltételeinek megteremtése és adatok hozzáférhetőségének biztosítása;

Információs szolgáltatások biztosítása:

- közlekedési információs szolgáltatások biztosítása a meglévő információs csatornák (pl. mobil oldal, - applikáció) fejlesztésével;
- M1 parkolás-irányítási rendszer bővítése;
- internet alapú közlekedési információs szolgáltatás megvalósítása.

**6. Aktuális feladatok az intelligens közlekedési rendszerek / szolgáltatások hazai megvalósítása területén**

A CROCODILE projektben részt vevő tagállamok – a projekt eredményességét és sikerességét látva – a projekt folytatása mellett döntöttek, így 2015. tavaszán CROCODILE 2 néven projekt-javaslatot nyújtottak be a Bizottsághoz, melyet a Bizottság elfogadott.

A CROCODILE 2 korridor együttműködést biztosít a minisztériumok, az ügyi adminisztrációk és a közlekedési információs szolgáltatásokat biztosító rendszer-szolgáltatók között, a CROCODILE projekt logikus folytatásaként. A projektpartnerek Ausztriából, Ciprusról, Csehországból, Németországból, Görögországból, Olaszországból, Lengyelországból, Romániából, Szlovéniából dolgoznak majd együtt a határon átnyúló forgalom/ közlekedés javítása érdekében – harmonizált és összehangolt ITS alkalmazások ezen országok főúthálózatán történő megvalósításával. A projektben *Magyarország* Bulgáriával, Szlovákiával és Horvátországgal együtt *megfigyelőként* vesz részt. A CROCODILE 2 projektben kiemelt téma a Nemzeti Hozzáférési Pontok (National Access Point) létrehozása.

A jövőben a TEN-T forrásokon kívül más európai költség-forrás feltárása szükséges, így a következő évek feladata lesz a rendelkezésre álló EU források (TEN-T és egyéb források) optimalizált felhasználása az „*ITS Intézkedési Terv*” [5] és az „*ITS Direktíva*” [6] hazai megvalósításához, figyelembe véve a „*Nemzeti Közlekedési Infrastruktúra-fejlesztési Stratégia*” [4] közlekedéspolitikai célkitűzéseit.

Új finanszírozási lehetőség a CEF (Connecting Europe Facility), melynek első pályázati felhívása 2014. második felében megjelent, a második felhívása pedig 2015. november 5-én jelent meg (a projekt-javaslatok benyújtási határideje 2016. február 16.). Ebben az utóbbi felhívásban lehetőség van arra, hogy az ún. kohéziós országok (Magyarország is ide tartozik) magasabb támogatás mellett valósítsák meg az ITS rendszerek / szolgáltatások területén szükséges projektjeiket.

A CEF közlekedési kohéziós felhívása az ITS projektek megvalósításához 85%-os társfinanszírozást ígér, nagyon fontos lenne élni ezzel az egyedülálló lehetőséggel – folytatva az ITS rendszerek/szolgáltatások megvalósítása terén megkezdett és már végrehajtott munkát.

#### **Felhasznált irodalmak:**

[1] Európai Bizottság: Fehér Könyv - Útiter az egységes európai közlekedési térség megvalósításához – Úton egy versenyképes és erőforrás-hatékony közlekedési rendszer felé, Brüsszel, COM(2011) 144 végleges, 2011. március 28.

[2] Európai Bizottság: White paper: European transport policy for 2010: time to decide, COM(2001) 370 final, Brüsszel, 2001. szeptember 12.

[3] Nemzeti Fejlesztési Minisztérium Integrált Közlekedésfejlesztési Operatív Program (IKOP), Budapest, 2013 szeptember. (tervezet)

[4] Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ: Nemzeti Közlekedési Infrastruktúra-fejlesztési Stratégia, Budapest, 2014. augusztus

[5] Európai Bizottság: A Bizottság Közleménye: Cselekvési terv az intelligens közlekedési rendszerek alkalmazásának európai bevezetésére Brüsszel, COM(2008) 886 végleges, 2008. december 16.

[6] Európai Parlament és a Tanács: Az Európai Parlament és a Tanács 2010/40/EU irányelve (2010. július 7.) a az intelligens közlekedési rendszereknek a közúti közlekedés területén történő kiépítésére, valamint a más közlekedési módokhoz való kapcsolódására vonatkozó keretről”, Brüsszel, 2010. július 7.

[7] Dr. Lindenbach Ágnes: Intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások Magyarországon az európai tendenciák tükrében – alkalmazások és feladatok. Európai tükrök, Budapest, 16. évfolyam 5. szám, 2011. május, 59-66. p.

[8] Európai Bizottság: Bizottság 305/2013 számú EU felhatalmazáson alapuló rendelete (2012.11.26.) a 2010/40/EU európai parlamenti és tanácsi irányelvnek az EU egészére kiterjedő, kölcsönösen átjárható, harmonizált e-segélyhívó szolgáltatások tekintetében való kiegészítéséről, Brüsszel, 2012. november 26.

[9] Európai Bizottság: Bizottság 885/2013/EU felhatalmazáson alapuló rendelete (2013. május 15.) az intelligens közlekedési rendszerekre vonatkozó 2010/40/EU európai parlamenti és tanácsi irányelvnek a teher- és haszongépjárművekkel igénybe vehető biztonságos és védett parkolóhelyekre vonatkozó információs szolgáltatásnyújtás tekintetében történő kiegészítéséről, Brüsszel, 2013. május 15.

[10] Európai Bizottság: A Bizottság 886/2013/EU felhatalmazáson alapuló rendelete (2013. május 15.) a

2010/40/EU európai parlamenti és tanácsi irányelvnek a közúti biztonsággal kapcsolatos, minimális általános forgalmi információk lehetőség szerinti, a felhasználók számára térítésmentes biztosításához szükséges adatok és eljárások tekintetében való kiegészítéséről, Brüsszel, 2013. május 15.

[11] Európai Bizottság: A Bizottság (EU) 2015/962 felhatalmazáson alapuló rendelete (2014. december 18.) a 2010/40/EU európai parlamenti és tanácsi irányelvnek az EU egészére kiterjedő valós idejű forgalmi információs szolgáltatások nyújtása tekintetében történő kiegészítéséről, Brüsszel, 2014. december 18.

[12] Dr. Lindenbach Ágnes: „Stratégia az intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások hazai fejlesztéséhez I. rész: Az intelligens közlekedési rendszerek aktuális tendenciái, kiemelt jelentőségű stratégia dokumentumok, prioritással rendelő alkalmazási területek”, Közúti és Mélyépítési Szemle, Budapest, 58. évfolyam, 9. szám, 2008. szeptember, 1-8. p.

[13] Dr. Lindenbach Ágnes: „Stratégia az intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások hazai fejlesztéséhez II. rész: Az intelligens közlekedési rendszerek további prioritással rendelő alkalmazási területei”, Közúti és Mélyépítési Szemle, Budapest, 58. évfolyam, 10. szám, 2008. október, 18-29. p.

## Adatok

Megjelent itt

**6. szám**

2015. ősz



## Szerző

**Dr.-habil. Lindenbach Ágnes**

okl. építőmérnök, egyetemi tanár, PTE Műszaki és Informatikai Kar

## Témakörök

Témakörök

## Kulcsszavak

direktíva • ITS • közlekedéspolitika • prioritás

## Befogadva

2015. december 7.

---

## 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](#)

[Szakolvasó](#)

[Témakörök](#)

---

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



# Aszfaltkeverékek energiatartalmának vizsgálata

Szerző(k) **Nádasi Réka**

## Kivonat

A cikkben a hagyományos és a mérsékelt meleg aszfaltkeverékeken (WMA) belül a bitumenhabosításos és az alacsony energiatartalmú (LEA) technológiával készített aszfaltkeverékek gyártásának energia- és károsanyag-mérlegét elemzem. Elsőként a beton- és aszfaltburkolatok CO<sub>2</sub> emissziójának az összehasonlítását mutatom be.

A következő fejezetekben egy közelítő számítás és egy széleskörűen elfogadott számítási eljárás alapján a francia szoftver segítségével hasonlítom össze az aszfaltkeverékek gyártásának energiaigényét és CO<sub>2</sub> kibocsátását. Mindkét esetben kitérek a különböző mennyiségekben visszanyert aszfaltot is tartalmazó keverékek vizsgálatára is.

## 1. Bevezetés

Az ember folyamatosan termel különböző fizikai és kémiai hulladékokat, melyek megváltoztatják a levegő, a víz és a talaj eredeti összetételét. Ez a folyamat a néesség és fogyasztás növekedésével, illetve a technológiai és gazdasági fejlődéssel, az utóbbi évszázadban exponenciálisan megnövekedett. Ma már igen fontos szerepet tulajdonítunk a környezetvédelemnek, a fenntartható fejlődésnek és az ökológiai lábnyomunk csökkentésének. Habár nem az építőipar a legmeghatározóbb iparág a környezetszennyezésben, azonban mivel a világ úthálózatának 90%-át az aszfaltburkolatok adják, Európában pedig több mint 4000 helyen állítanak elő aszfaltot, fontos ezen a területen is olyan technológiákat előtérbe helyezni, amelyek hozzájárulnak a fejlődés fenntarthatóbbá tételéhez.

A meleg aszfalt keverékek gyártási és beépítési hőmérsékletének csökkentésére már az 1990-es években megfogalmazódott az igény. Ennek gazdaságossági és környezeti okai egyaránt voltak. A mérsékelt meleg aszfaltkeverékeket (WMA) az évtized közepétől kezdték el kifejleszteni. A WMA alkalmazásával az aszfaltkeverékek gyártási hőmérséklete jelentősen csökkenthető, mialatt a kőváz kötőanyaggal való bevonsága megfelelő módon megtörténik. A hagyományos melegaszfaltokkal egyenértékű teljesítményű keverék gyártható. Ez az utóbbi 8-10 évben továbbfejlődött és folyamatosan fejlődik, így már számos módszer elérhető a mérsékelt meleg aszfaltkeverékek előállítására.

Vizsgálataim során a WMA keverékek közül a bitumenhabosításos illetve a LEA technológiával készített aszfaltkeverékek gyártásának energia- és károsanyag-mérlegét elemzem a hagyományos melegaszfalt keverékek tükrében.

## 2. Vizsgálatok

Az aszfaltgyártás során az ásványi anyag és bitumen felmelegítéséhez nagy mennyiségű energia szükséges, ezáltal maga az aszfaltgyártás is igen energiaigényes folyamat. Ezt az energia mennyiséget általában olaj, illetve gáz elégetésével hozzák létre. Ennek a fajlagos fűtőanyag fogyasztásnak átlagosan 99%-a a szárításhoz és az ásványi anyagok felmelegítéséhez szükséges, és csupán 1%-ot igényel a bitumen felmelegítése. Tekintve az energiaigényt és annak előállítási módját, az üvegház-hatású gázok nagymértékű kibocsátása elkerülhetetlen.

A vizsgált aszfaltkeverék AC 16 kopó (F) 50/70 volt, aminek a keverékterv adatait az 1. táblázat rögzíti.

Megnevezés:	Mészköliszt	NZ 0/4	KZ 4/8	KZ 8/11	KZ 11/16
Származási hely:	Tatabánya	Gánt	Nógrádkövesd	Nógrádkövesd	Nógrádkövesd
Adagolás aránya [%]	<b>5</b>	<b>40</b>	<b>10</b>	<b>22</b>	<b>23</b>

Bitumen tartalom:	5%
-------------------	----

**1. táblázat**  
Keverékterv adatai

## 2.1. Betonburkolatok előállításának CO<sub>2</sub> lábnyoma

Az aszfaltgyártás mellett érdemes foglalkoznunk betonburkolatú pályaszerkezetekkel, hiszen a beton az aszfalt után második legnagyobb mennyiségben alkalmazott anyag az útéépítésben. A következőkben a beton és az aszfalt károsanyag-kibocsátásának mennyiségét mutatom be. Az értékek nagysága svéd adatok alapján került meghatározásra (Thom, 2014). Az aszfalt előállításának nagyságát az általam kézi úton számított CO<sub>2</sub> kibocsátás értékét vettem figyelembe hagyományos aszfaltkeverék tekintetében. (2. és 3. táblázat)

Aszfaltburkolat CO <sub>2</sub> kibocsátása [kg/t]		
Zúzottkő:	1,4 kg CO <sub>2</sub> /t × 0,95	1,33
Bitumen:	173 kg/t × 0,05	8,65
Előállítás:	13,4 kg/t	13,40
Szállítás:	1,1 kg/jármű km × 15 km / 20 t	0,80
Burkolás:	0,2 kg/t	0,20
Tömörítés:	0,3 kg/t	0,30
<b>ÖSSZESEN:</b>		<b>24,68</b>

**2. táblázat**  
Aszfaltburkolatok CO<sub>2</sub> kibocsátása beépítés esetén

Beton burkolat CO <sub>2</sub> kibocsátása [kg/t]:		
Cement:	806 kg/t × 0,15	121
Zúzottkő:	1,4 kg/t × 0,5	0,7
Homok:	0,7 kg/t × 0,35	0,2
Élőállítás:	3 kg/t	3
Szállítás:	1,1 kg/jármű km × 3 km / 15 t	0,2
Burkolás (+acél):	4,2 kg/t	4,20
Kötés:	0,3 kg/t	0,3
<b>ÖSSZESEN:</b>		<b>129,6</b>

**3. táblázat**  
Betonburkolatok CO<sub>2</sub> kibocsátása beépítés esetén

Elmondható, hogy a két keverék szállítása és a beépítése közben kibocsátott üvegházhatású gázok mennyisége között számottevő különbség nincs. A nagy eltérést a cement előállítása eredményezi, amely igen energiaigényes folyamat, és jelentős mértékű üvegházhatású gázok kibocsátását okozza.

A teljesség kedvéért fontos megjegyezni, hogy teljes élettartam tekintetében ezek az értékek fajlagos nagyságai változnak, hiszen míg aszfaltburkolatok esetén 10-20 év, beton burkolatok esetén névleges 30-40 év élettartamról beszélünk.

A tervezési élettartam alatti fenntartási, javítási ciklusok alakulása és azok energiaigényei ezt az arányt tovább árnyalják, de a mintegy ötszörös arányt valószínűleg nem fordítják meg. Emellett fontos megemlíteni az



újrahasznosítást itt is, míg az aszfaltrétegek szinte 100%-ban újrahasznosíthatóak aszfaltkeverékek gyártásában, a betonburkolatok újrahasznosítása inkább csak alaprétgként, feltöltésekben történik (Dr. habil. Gáspár & Dr.-Ing. Mollenhauer, 2015). Szintén nem elhanyagolható a pályaszerkezeti vastagság nagysága sem. Ezt a forgalmi különböző osztályok befolyásolják. Az összehasonlításban az aszfalt és a betonburkolat ugyan arra a terhelésre vett eredményei láthatóak a szerző eredeti koncepciója alapján.

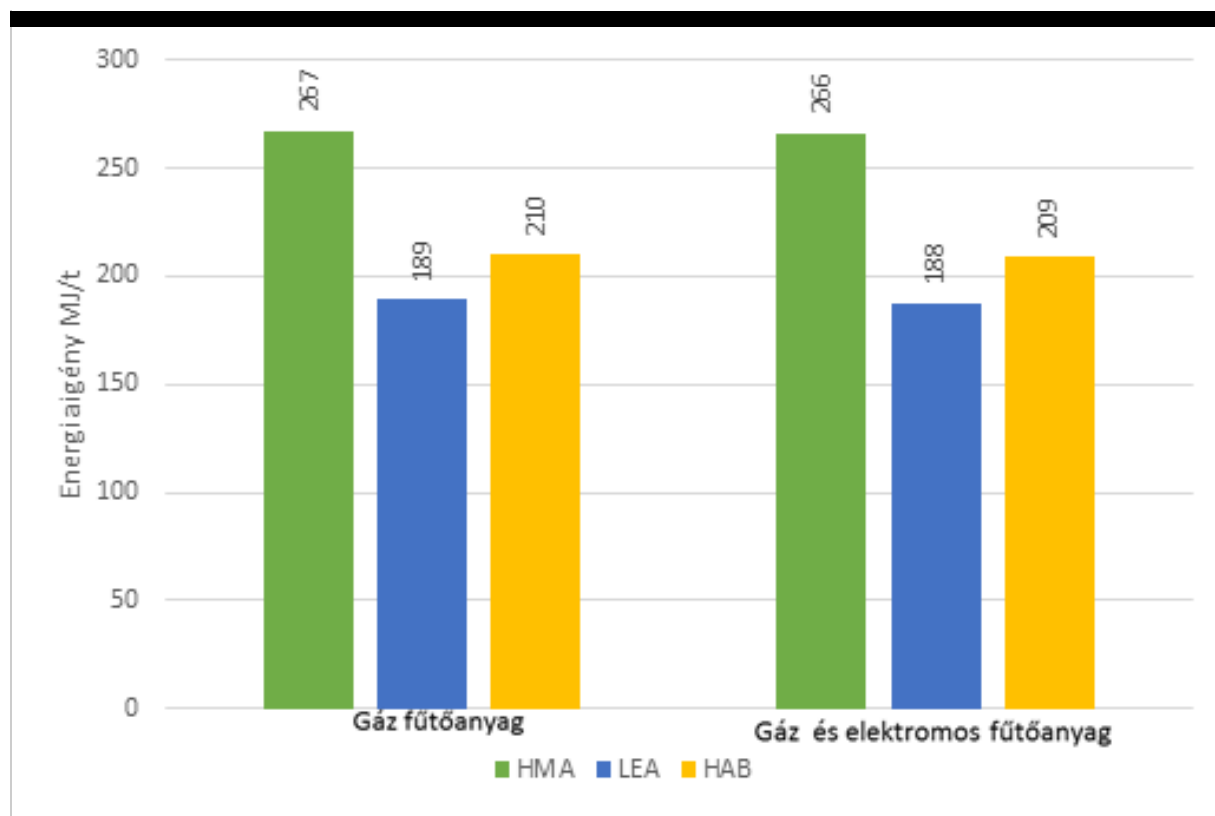
Fontos megemlítenünk, hogy a cement- és betongyártás is az egyike azon iparágaknak, amelyek hajlandóságot mutatnak az energiafelhasználás hatékonyabbá tételére, a károsanyag-kibocsátás csökkentésére, így a bemutatott kép idővel változhat.

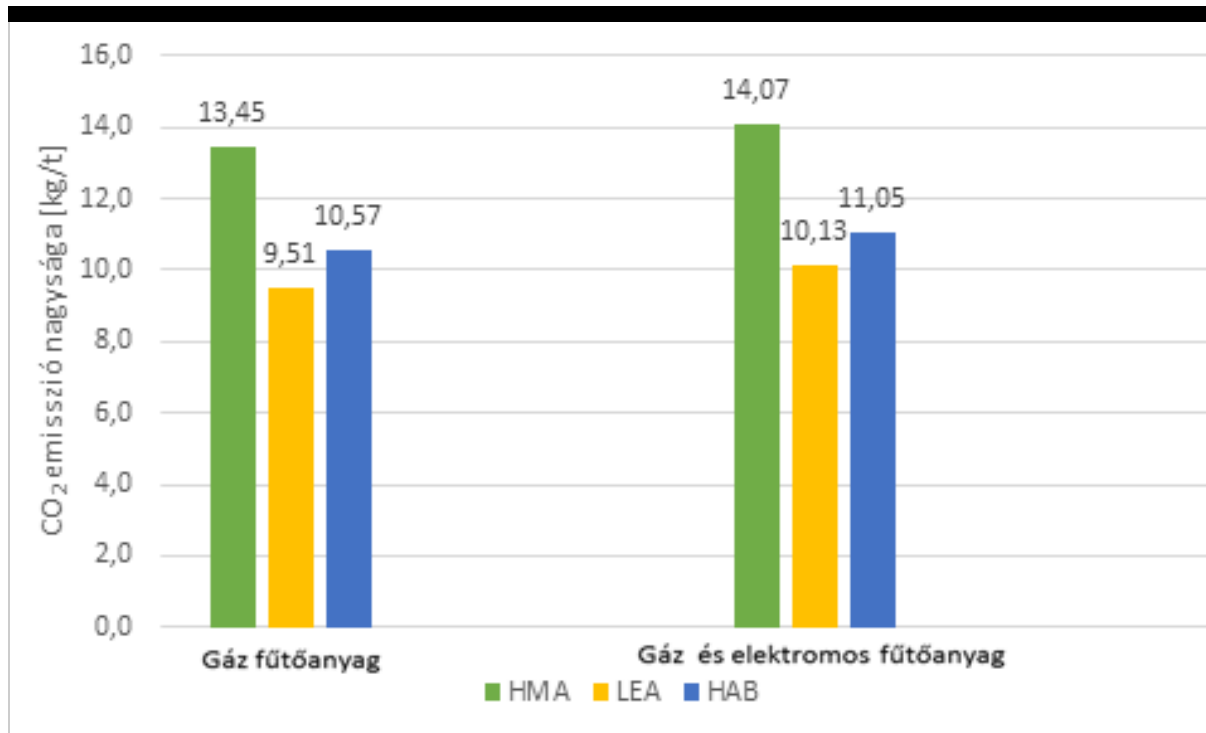
## 2.2. A közelítő számítás eredményei

A következőkben egy közelítő számítási módszer segítségével határozom meg az energia megtakarítás értékét. A z értékeket az energiaigény számítási metódusát felhasználva, valamint az erőforrásokhoz köthető károsanyag-kibocsátás értékét becsülve kaptam meg. A számítás során vagy kizárólag földgáz fűtőanyaggal, vagy bitumen melegítése esetében elektromos árammal működő egységgel is számolok. A kiindulási hőmérsékletnek egyaránt 20°C-ot határoztam meg, ami a kivitelezési időszak egy átlagos középhőmérsékletének tekinthető a depóniákban, környezeti hőmérsékleten tárolt anyagok esetében. A keverék gyártási hőmérsékletét és a keverék összetételét 160°C-on (HMA), 130°C-on (Habosított bitumenes technológia, HAB) és 95°C-on (LEA) vizsgáltam.

A szemléletesség érdekében az eredményeket grafikonon ábrázoltam. Az 1. ábrán látható, a keverékek energiaigénye illetve annak változása csak gáz fűtőanyag (bal) illetve gáz és elektromos áram fűtőanyag (jobb) használata esetében. Ezek nagysága csupán gázt használva a felfűtéshez 267 MJ/t, 189 MJ/t és 210 MJ/t. Habosított bitumenes technológia esetén tehát 21%-kal, LEA esetén pedig 29%-kal kisebb értékeket kaptunk eredményül a hagyományos aszfaltkeverékekkel szemben. Az ábráról leolvasható hogy azzal, hogy elektromos áramot is használunk a felfűtéshez, HMA és LEA esetében 1,281 MJ/t, habosított keverék esetén pedig 1,007 MJ/t energiát spórolunk.

A 2. ábrán látható, hogy a károsanyag-kibocsátás mértéke szintén változik annak függvényében, hogy csak gáz vagy gáz és elektromos áram fűtőanyagot használunk. Az előzőtől eltérően, itt az az előnyösebb, ha csak földgázt használunk. Ennek oka, hogy még a gáz CO<sub>2</sub> emissziója 50,30 [g/10<sup>6</sup> J], az elektromos áram CO<sub>2</sub> emissziója 101,39 [g/10<sup>6</sup> J].

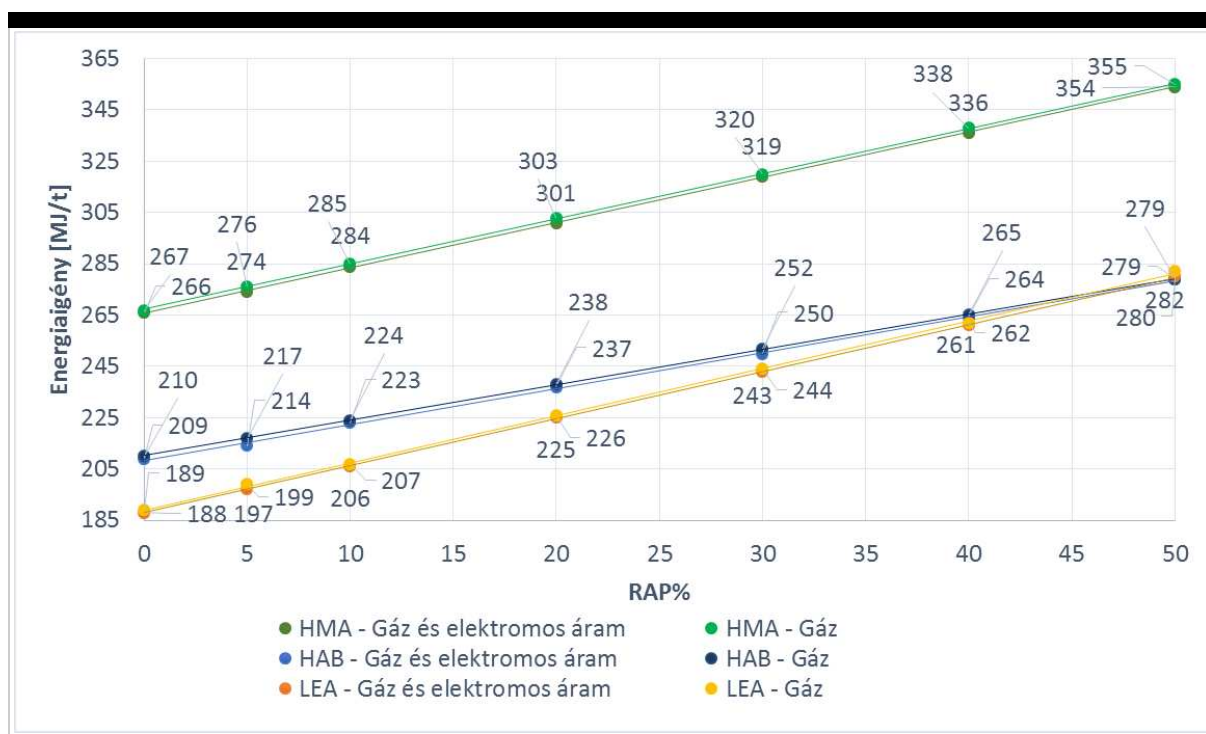




2. ábra

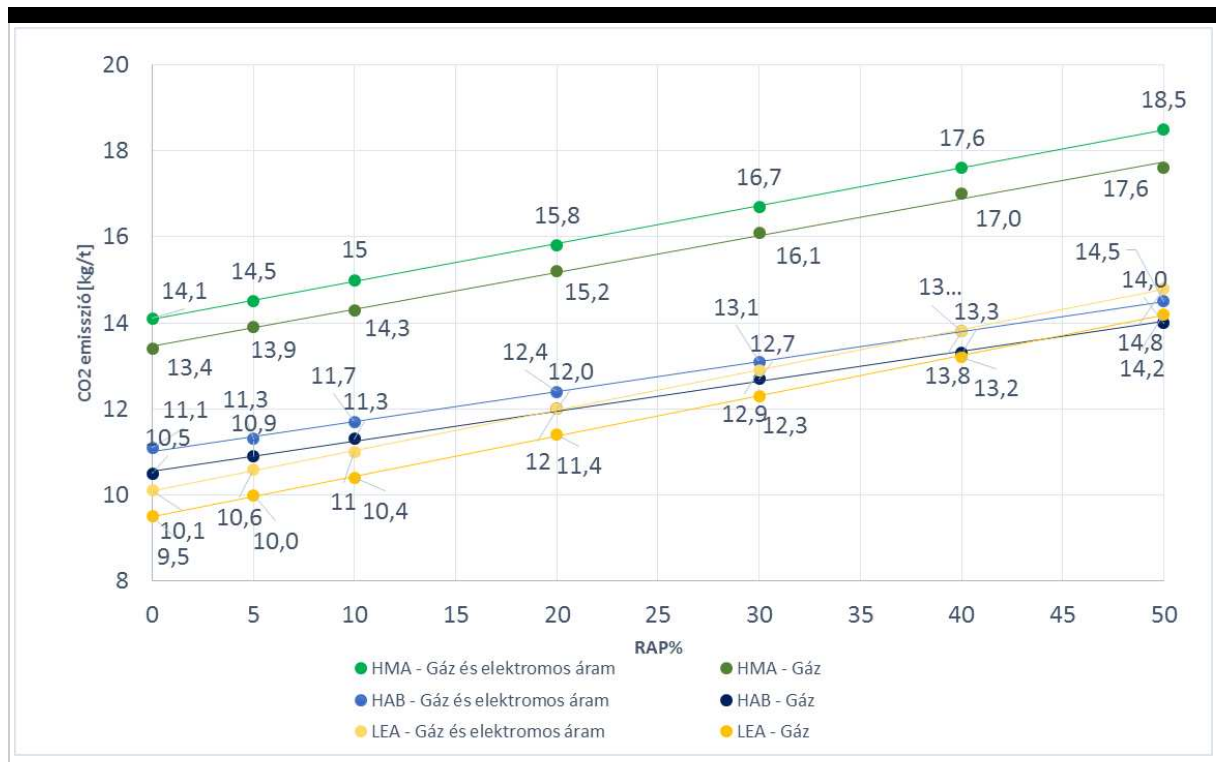
CO<sub>2</sub> emisszió mértéke csak gáz illetve gáz és elektromos fűtőanyag esetén

A közelítő számítás során kitérek a mart aszfalt újrafelhasználásának mértékére. A 3, 4. ábrákon az energiagigények és az CO<sub>2</sub> emisszió változásának mértéke tekinthető meg a RAP (visszanyert aszfalt) arányának 10%-os lépcsőkben való növelése esetén.



3. ábra

Energiagény változása RAP arányának növelésével közelítő számítással



4. ábra

CO<sub>2</sub> változása RAP arányának növelésével közelítő számítással

A grafikonokon látható, hogy a visszanyert anyag arányának növelésével a LEA és a bitumenhabosításos technológiával készített keverékek között egyre kisebbé válik a különbség, 50%-nál pedig szinte azonos eredményt érhetünk el, ami mintegy 21%-kal alacsonyabb energiataralomnak és 22%-kal alacsonyabb károsanyag-emisszióknak felel meg a hagyományos keverékhez képest. RAP aszfalt 10%-os aránya esetén leolvasható, hogy míg HMA keverék esetén 285 MJ/t szükséges, addig habosított bitumenes technológia esetén csupán 224 MJ/t, LEA keverék esetén pedig 204 MJ/t. Ez 21%-os és 28%-os energiakülönbséget jelent. CO<sub>2</sub> kibocsátás tekintetében 15,0 illetve 14,3 kg/t helyett bitumenhabosítás esetén 11,7-11,3 kg/t, LEA alkalmazásakor meg 11,0-10,4 kg/t emisszió figyelhető meg, ami 22%-os és 27%-os csökkentést eredményez.











### 2.3. Aszfaltkeverékek energiaigényének modellezése

A vizsgált keverékek energiaigényét és károsanyag-kibocsátását a [honlapon](#) megtalálható francia szimulációs program alapján szintén megvizsgáltam.

Első lépésként a vonatkozó (ÚT 2-3.301, Útépítési aszfaltkeverékek. Aszfaltbeton (AC) 2008) előírás alapján megengedett gyártási és szállítási hőmérséklettartomány és megengedett beépítési hőmérséklettartomány szerint meghatároztam a vizsgált hőmérsékleteket a három keverék esetében. Ez alapján elvégeztem a szimulációt:

- a javasolt illetve megengedett legnagyobb hőmérsékleteken, ami a melegaszfalt (HMA) keverék esetében 180°C, a bitumenhabosításos technológia (továbbiakban: HAB) esetében 150°C és a LEA technológia esetén 98°C.
- az átlagos keverési hőmérsékleten, ami HMA esetén 160°C, habosított bitumenes keverék esetén 130°C, LEA keverék esetén pedig 95°C.
- a megengedett legkisebb gyártási hőmérsékleteken, mely pedig HMA keveréknél 140°C, bitumenhabosításos technológia esetén 110°C, LEA alkalmazásakor pedig 90°C.

Fentiek alapján a modell input adatainak a honlapon történő megjelenítését az 5. ábra mutatja.

Données		Valeur par défaut	
<b>Températures des enrobés</b>			
Chauds (référence)	180	C°	
LEA	98	C°	
Tièdes	150	C°	
<b>Proportions</b>			
 Proportion de gravillons	53	%	
 Proportion de sable	34	%	
 Proportion de filler d'apport	8	%	
 Proportion de matériaux recyclés (RAP)	0	%	
 Proportion de bitume	5	%	
<b>Enrobés semi-tièdes (LEA)</b>			
 Proportion d'eau résiduelle	0.5	%	
 Proportion d'eau additionnelle	0.2	%	
 Proportion de gravillons en partie froide	0	%	
 Proportion de sable en partie froide	30	%	
 Proportion de fillers en partie froide	1	%	

**5. ábra**

*A vizsgált keverékek input adatai*

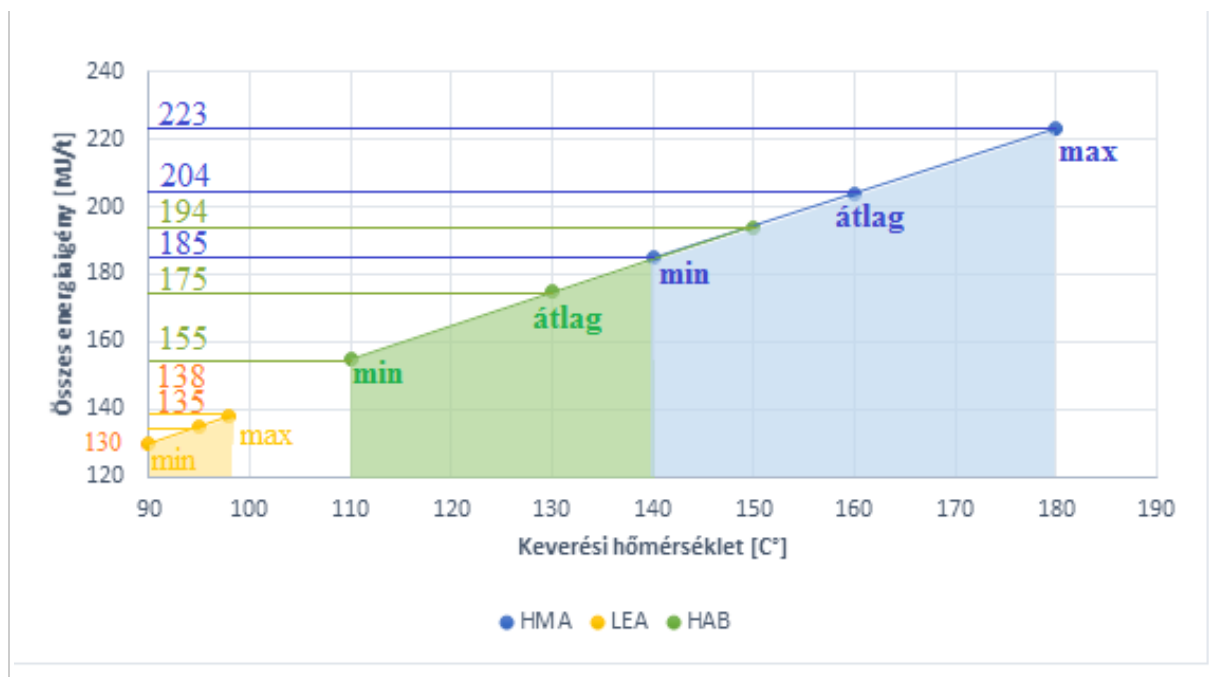
Az első szekcióban a keverékek gyártási hőmérsékletét lehet beállítani. Ezt az előbbieken ismertetettek szerint alakul. A „Proportions” részben a keverék összetevői százalékos értékeinek megadása szükséges, amelyek:

- Zúzott anyagok aránya (Proportion of aggregates): 53 %
- Homok aránya (Proportion of sand): 34 %
- Töltőanyag aránya (Proportion of added filler): 8 %
- Visszanyert aszfalt aránya (Proportion of recycled asphalt): 0 %
- Bitumen aránya (Proportion of bitumen): 5 %

Az „Enrobés semi-tièdes (LEA)” részben pedig az alacsony energiatartalmú aszfaltkeverék adatainak rögzítése szükséges.

- Maradék nedvesség aránya (Proportion of residual moisture): 0,5 %
- Hozzáadott víz aránya (Proportion of additional water): 0,2 %
- Hideg adalékanyagok aránya (Proportion of cold aggregates): 0 %
- Hideg homok aránya (Proportion of cold sand): 30 %
- Hideg filler aránya (Proportion of cold filler added): 1 %

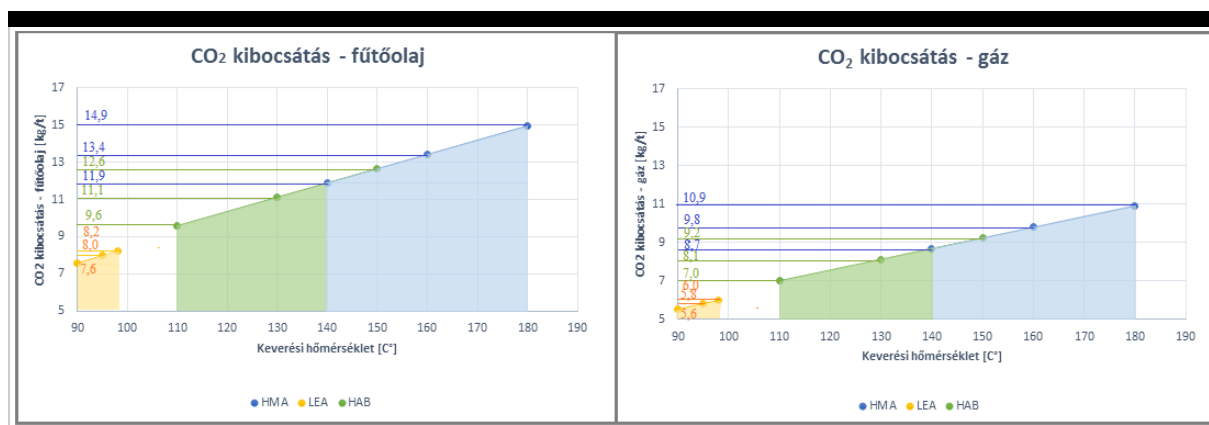
Miután a szükséges adatok megadásra kerültek, a program grafikusán szemlélteti a gyártási folyamatokat, feltüntetve azon az egyes egységekhez szükséges energiamennyiségeket. A kapott eredményeket exportálva azokat, grafikonon ábrázoltam. (6. ábra) Az ábráról elmondható, hogy az összefüggés leírható lineáris függvénnyel.



**6. ábra**  
A keverékek energiaigény tartományai

Az ÚME szerint a mérsékelt meleg keverékek gyártása történhet a hagyományos aszfaltok maximális hőmérsékletén is (180°C), ám ezzel nem érhető el az általam vizsgálni kíván kisebb energiaszükséglet. Az ábrán ezért a bitumenhabosítós technológia értékeit (zöld) csak a normál aszfalttól alacsonyabban gyártott hőmérsékleteken ismertetem. Jól látható, hogy ha csak a HMA által megengedett legkisebb 140°C-os gyártási hőmérsékletéhez tartozó energiafelhasználás értékeit is vizsgáljuk, annak értékéhez képest a bitumenhabosítós technológiával gyártott keverékek esetén jelentősen alacsonyabb energiaigény érhető el. Ez az érték a program eredményei alapján pontosan 185 MJ/t helyett 155 MJ/t, mintegy 16%-os csökkenés. A LEA esetében a számottevően alacsonyabb, 90°C gyártási hőmérséklet 130MJ/t-val elérhető, ami mintegy 30%-kal alacsonyabb a melegaszfalhoz képest. Ha pedig a két szélsőértéket veszem alapul (223-130 MJ/t) látható, hogy a LEA technológiával akár 42%-os csökkenés is elérhető a HMA-hoz képest. Érdekes még a keverékek az átlagos gyártási hőmérsékletén kapott eredményeit is elemezni. Ebben az esetben hagyományos aszfaltkeverékre 204 MJ/t-t, bitumenhabosítós technológiával készült keverékre 175 MJ/t-t, LEA esetében pedig 135 MJ/t energiaigényt kaptam eredményül. Ez mintegy 14%-os és 33%-os csökkentésnek felel meg. A modell megbecsüli a keletkezett CO<sub>2</sub> emisszió nagyságát kg/t nagyságrendben. Mivel a két legszélesebb körben alkalmazott fűtőanyag az olaj és a gáz, a program mind a két lehetőséggel kiszámolja a keletkező CO<sub>2</sub> emissziót. (7. ábra) Látható, hogy gáz nagyobb fűtőértékkel bír, alkalmazása esetén kisebb károsanyag-kibocsátás érhető el. 4. táblázat

A keverék előállításának CO<sub>2</sub> kibocsátását tehát a 7. ábra mutatja.



**7. ábra**

Fűtőanyag	Fűtőérték	CO <sub>2</sub>
fűtőolaj	40,4 MJ/kg	3,11 kg/kg
földgáz	49,8 MJ/kg	2,75 kg/kg

4. táblázat

A keverékek CO<sub>2</sub> kibocsátása fűtőolaj és gáz fűtőanyag esetén

A szimuláció alapján kapott eredmények azt mutatták, hogy mind fűtőolaj, mind gáz fűtőanyag alkalmazása esetén átlagosan 17%-os csökkenés érhető el a habosítós technológia alkalmazásával (13,4-11,1 illetve 9,8-8,1) és 41%-os csökkenés, LEA esetén (13,4-8,0 illetve 9,8-5,8). Az ábráról az is leolvasható, hogy ha a környezettudatosság eszméjében mindent a technológiailag megengedett legkisebb hőmérsékleten gyártanánk, akkor a csökkenések bitumenhabosítás esetén 19%-ra (11,9-9,6 illetve 8,7-7,2), LEA esetén pedig 36%-ra módosulnak (11,8-7,6 illetve 8,7-5,6).

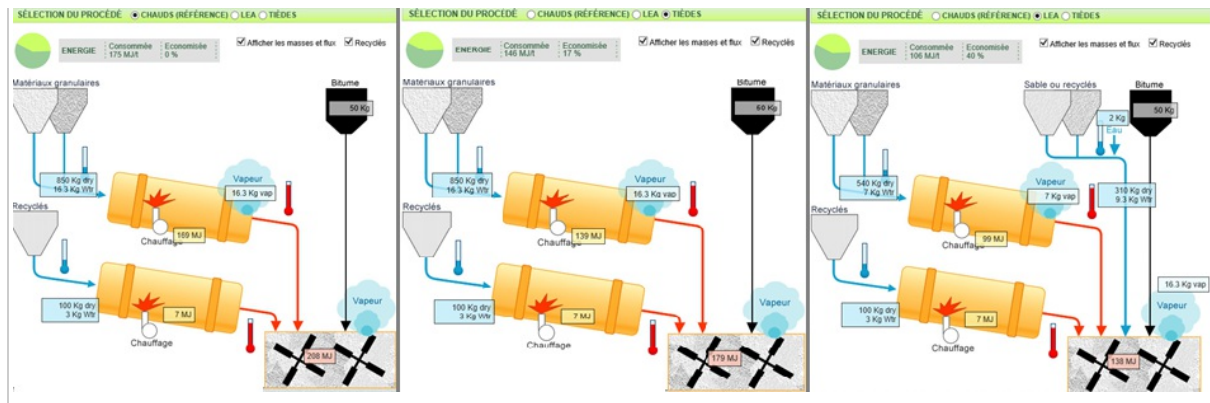
## 2.4. Visszanyert aszfalt felhasználása

Az útpályaszerkezet felújítási, megerősítési munkáknak köszönhetően nagy mennyiségű RAP (Reclaimed Asphalt Pavements) aszfalt keletkezett az elmúlt időszakban. Ennek újrahasznosítására már Magyarországon is több mód lehetséges. A bitumen és az ásványi nyersanyag újrafelhasználása, visszanyerése, az aszfaltgyártás nyersanyag- és költségcsökkentését segíti elő, miközben a deponált (hulladék) anyagok felhalmozódását csökkenti. Magyarországon általában 10%-12%-os RAP újrafelhasználás lehetséges. Európa több országában (például: Németország, Ausztria, Hollandia) ez az érték meghaladhatja a 60%, sőt akár a 90%-ot is. (EAPA, 2013) Ekkora arány eléréséhez elengedhetetlen a mart aszfalt megfelelő minősége, annak megfelelő módú előállítás és tárolása, valamint a gyártáshoz szükséges parallel dob.

A mart aszfalt arányát 5%-os lépcsőkben növelem egészen 50%-ig, és vizsgálom ennek hatására szükséges többlet energia és CO<sub>2</sub> kibocsátás nagyságát. Mart aszfalt használata esetén a keveréktervünk mennyiségei megváltoznak, hiszen figyelembe kell venni az abban lévő kőanyag, homok, finomrész és bitumen mennyiségét is, az adagolástól függően. Ezt az elméleti megközelítést a számítások során is figyelembe vettük.

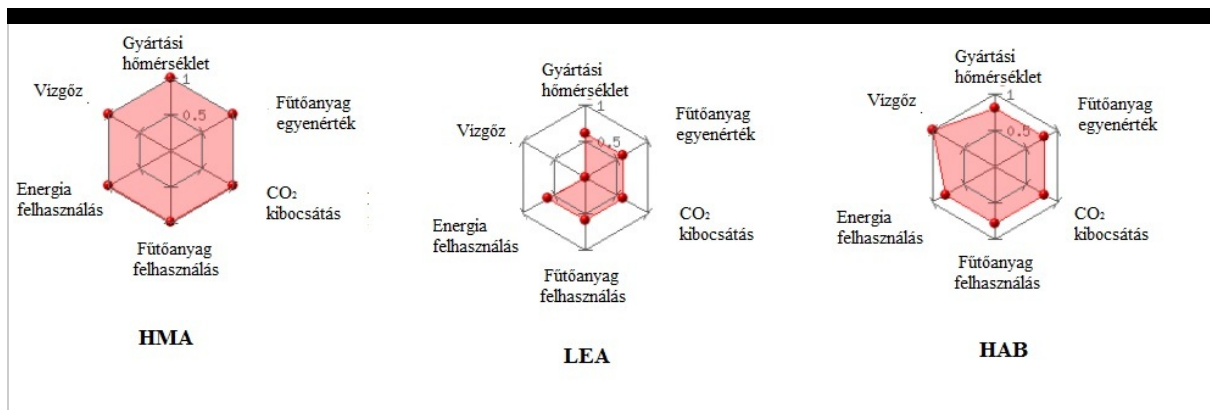
A vizsgálatok során a gyártási hőfokokat hagyományos aszfaltkeverék esetén 160°C-nak, habosított bitumenes technológia esetén 130°C-nak, LEA keverék készítésekor pedig 95°C-nak vettem fel. Az így kapott eredményeket a 9. ábra szemlélteti. 10%-os RAP arány esetében az 1 tonna keverékhez szükséges 850 kg kőanyag szárítódobban történő megfelelő hőmérsékletre melegítéséhez HMA esetén 169 MJ, bitumenhabosításos keverékeknel 139 MJ energia szükséges. LEA keverékeknel 540 kg kőanyag kerül a szárítódobba, melynek energiafelhasználása 99 MJ. Az újrahasznosított mart anyag egy közbenső adagoló segítségével kerül a rendszerbe. Ennek előnye, hogy a víz elpárolog, a bontott anyag felmelegszik, ezáltal az előregedett bitumen aktiválódik. Amennyiben a régi s az újonnan hozzáadott kötőanyag között megfelelő kötések létrejönnek, a dobból való kijutás után a keverék minősége közel azonos lesz a kész termékével. Ehhez a program alapján ennél az adagolási aránynál 7 MJ energia szükséges. Ha ezt a két értéket összeadjuk, és hozzávesszük a bitumen felmelegítéséhez szükséges 32 MJ energiát, megkapjuk a gyártás teljes energiaigényét. Ez hagyományos aszfalt esetében 208 MJ/t, habosított bitumenes technológia esetén 179 MJ/t, a LEA keveréknel pedig 138 MJ/t.





8. ábra

HMA HAB és LEA aszfaltgyártás menete 10% mart aszfalt esetén a szimulációs program ábrázolásában

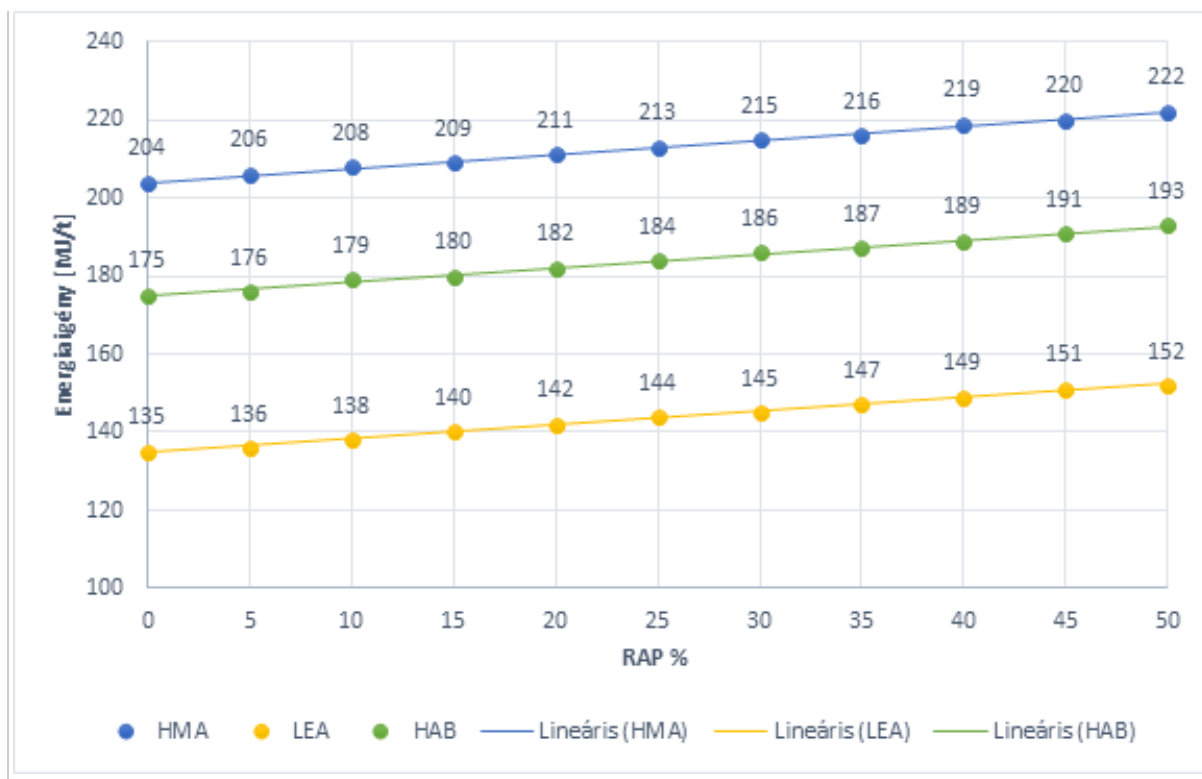


9. ábra

A keverékek kapott paramétereinek ábrázolása diagramon 10% mart aszfalt esetén

Az ábra egységként kezeli a HMA által kapott eredményeket, és az egyes tulajdonságok változásának arányát szemléletesen mutatja. Látható, hogy LEA alkalmazásakor az szinte az összes tényező 40% körüli csökkenést ér el, bitumenhabosítós technológia esetén pedig 25% körül értékek olvashatók le.

Következő lépésként megnéztem ugyanezen eredmények magasabb martaszfalt tartalom mellett. Ezeket a grafikonokon ábrázoltam.



**10. ábra**  
Energiaigény változása RAP %-ának növelésével

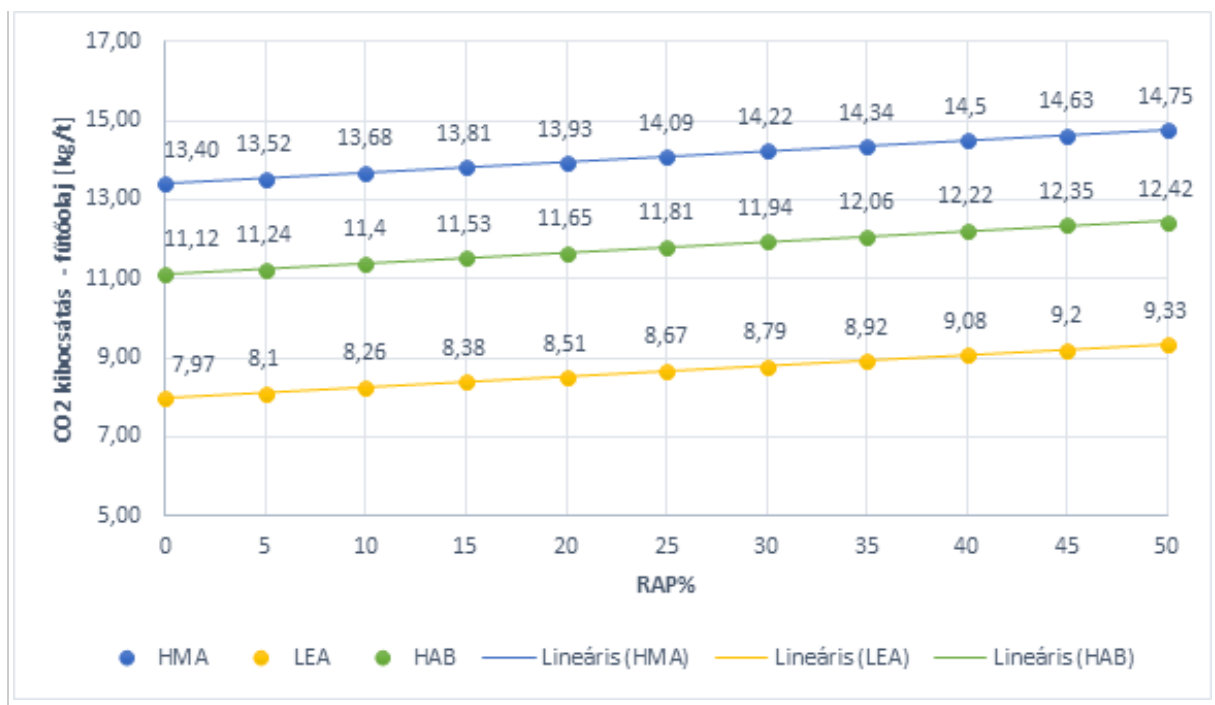
Az adatokból kiszámítható, hogy az arányok növelésével mekkora a megnövekedett energiaigény százalékos értéke. (5. táblázat)

	ENERGIAIGÉNY NÖVEKEDÉSE [%]									
	RAP%									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
HMA - 160°C	1,0	2,0	2,5	3,4	4,4	5,4	5,9	7,4	7,8	8,8
LEA - 95°C	0,7	2,2	3,7	5,2	6,7	7,4	8,9	10,4	11,9	12,6
HAB - 130°C	0,6	2,3	2,9	4,0	5,1	6,3	6,9	8,0	9,1	10,3

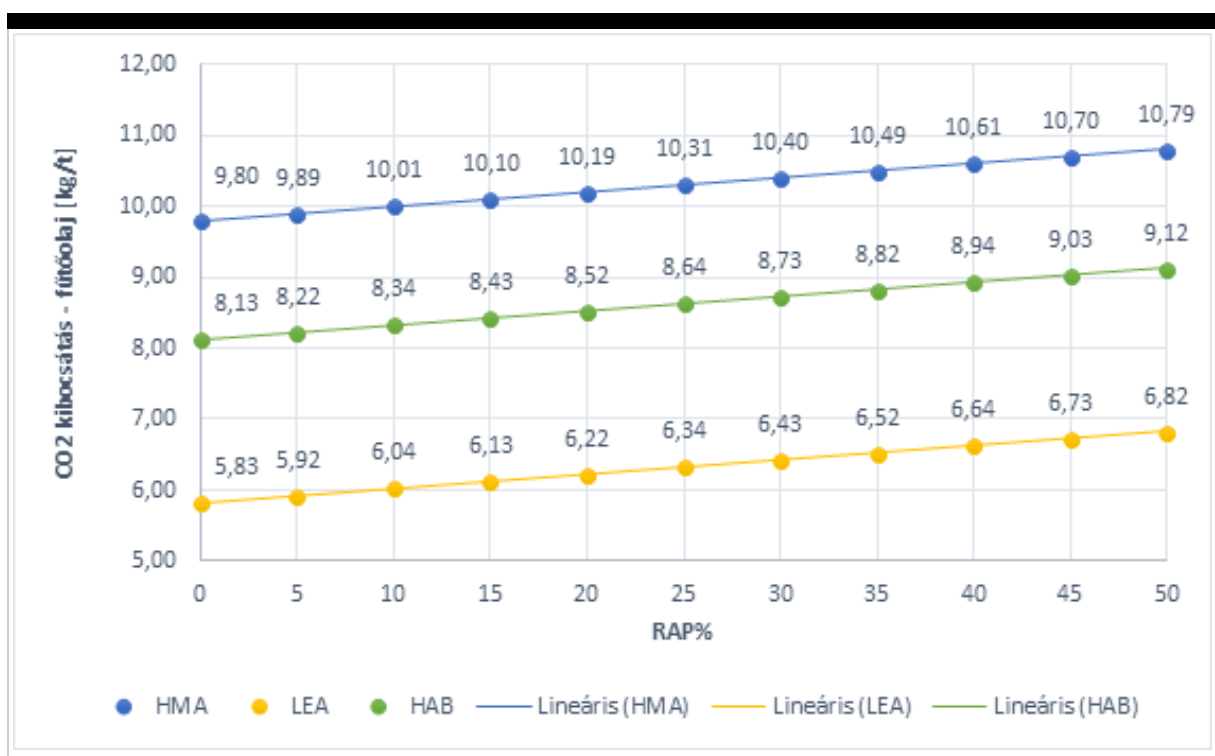
**5. táblázat**  
Energiaigény növekedése RAP arányának növelésével [%]

A grafikonról leolvasható, hogy a 10%-os RAP tartalom esetében 3-4 MJ energiatöbblet szükséges. Ez LEA esetén 2,3%-os, habosított keverék esetén 2,2%-os, HMA keveréknél pedig 2% energianövekedést jelent, ami a rendszer egésze mellett eltörpül, így kijelenthető, hogy a mart aszfalt alkalmazása nem jelent számottevő energiaigényt. Ezzel nem csak az egyébként jó minőségű visszanyert anyag felhasználását oldhatjuk meg. A mart aszfalt felhasználás energiaigényének költségei a nyersanyagok csökkentésének oldalán, többszörösen megtérülnek. A táblázatból pedig az is látható, hogy a mart aszfalt arányának további növelése sem eredményez számottevő energiaszükséglet növekedést. A legnagyobb mértékű emelkedés LEA keveréknél mutatkozik (12,6%), ám ez még mindig 32%-kal alacsonyabb, mint a HMA keverék esetében. Az energiaigény mellett megvizsgáltam a keverékeket CO<sub>2</sub> kibocsátás tekintetében is. (11, 12. ábra)





**11. ábra**  
CO<sub>2</sub> emisszió növekedése RAP arányának növelésével fűtőolaj esetén



**12. ábra**  
CO<sub>2</sub> emisszió növekedése RAP arányának növelésével gáz fűtőanyag esetén

Itt is megkülönböztethetünk olaj és gáz fűtőanyaggal gyártott keverékeket. Hogy pontos eredményt kapjunk, ez esetben is megtekinthető a növekedés százalékos aránya táblázatos formában is. (6, 7. táblázat)

CO <sub>2</sub> KIBOCSÁTÁS NÖVEKEDÉSE - fűtőolaj [%]										
RAP%										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

HMA - 160°C	0,9	2,1	3,1	4,0	5,1	6,1	7,0	8,2	9,2	10,1
LEA - 95°C	1,6	3,6	5,1	6,8	8,8	10,3	11,9	13,9	15,4	17,1
HAB - 130°C	1,1	2,5	3,7	4,8	6,2	7,4	8,5	9,9	11,1	11,7

**6. táblázat**

*CO<sub>2</sub> emisszió változása RAP arányának növelésével fűtőolaj esetén*

CO <sub>2</sub> KIBOCSÁTÁS NÖVEKEDÉSE - gáz [%]										
RAP%										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
HMA - 160°C	0,9	2,1	3,1	4,0	5,2	6,1	7,0	8,3	9,2	10,1
LEA - 95°C	1,5	3,6	5,1	6,7	8,7	10,3	11,8	13,9	15,4	17,0
HAB - 130°C	1,1	2,6	3,7	4,8	6,3	7,4	8,5	10,0	11,1	12,2

**7. táblázat**

*CO<sub>2</sub> emisszió változása RAP arányának növelésével gáz fűtőanyag esetén*

Látható hogy a két fűtőanyag esetén az emisszió növekedésének százalékos aránya közel egyenlő mértékű. Mint az az előzőekben is kiderült, itt is látható, hogy fűtőolaj használata esetén nagyobb mértékű károsanyag-kibocsátás figyelhető meg. Tíz százalékos martaszfalt tartalom esetén ez az érték a visszanyert aszfaltot nem tartalmazó keverék emissziójához képest HMA alkalmazásakor 2,1%-kal, LEA keveréknél 3,6%-kal és habosított aszfalt esetén 2,6%-kal emelkedik. Ez 2,28 kg/t - 2,29 kg/t közötti növekedést jelent. Ötven százalék, azaz 500 kg mart aszfalt tartalom esetén ez 10-17 %-os emelkedést eredményez, ami 1,30-1,35 kg/t növekedést jelent. Ugyan ezen értékek gáz fűtés esetén 10%-os martaszfalt tartalommal 0,21 kg/t, 50%-os tartalommal pedig 0,99 kg/t. A köztes értékek a grafikon alapján kiszámíthatóak, hiszen látható, az összefüggés leírható lineáris függvénnyel.

### 3. KONKLÚZIÓ

Az elemzések alapján érzékelhető, hogy az aszfalt- illetve a betongyártás igen nagy fajlagos energiaigénnyel és károsanyag-kibocsátással járó folyamatok. Véleményem szerint igen fontos, hogy olyan technológiákat alkalmazzunk, termékeket állítsunk elő, ami a lehető legkisebb mértékben károsítja tovább a környezetünket, elősegítve a fejlődés fenntarthatóságát. A WMA technológiák számos előnye mellett (Veress, 2013), viszonylag sok vizsgálat bizonyítja – (Nádasi, 2015) - hogy a technológiák a hagyományos melegaszfaltokkal egyenértékű teljesítményű keveréket eredményeznek. Az aszfaltipar világméretű voltát tekintve nem elhanyagolható, hogy lehetőség nyílik olyan technológia alkalmazására, mely helytálló alternatívája lehet a hagyományos aszfaltkeverékeknek

Elemzésemben bemutattam, hogy számottevő energiamegtakarítás (gazdasági érdek) és károsanyag-kibocsátás csökkentés (környezeti érdek) érhető el a mérsékelt meleg aszfaltkeverékek gyártásával, melyet a nyersanyagok csökkentésére, a meglévő anyagok újrahasznosítására irányuló, egyre növekedő arányú mart aszfalt felhasználása lényegében nem befolyásol. Egyszerű számítással az is látható, hogy a beton és aszfalt burkolatok gyártása és beépítése között nagyságrendi különbség van az említett paramétereket tekintve.

#### Hivatkozások

Dr. habil. Gáspár, L. & Dr.-Ing. Mollenhauer, K., 2015. Az európai aszfalt újrahasznosítási gyakorlat összegzése: lehetőségek, bevált módszerek és kutatási igények. [Online]

Available at: <http://utugyilapok.hu/cikkek/az-europai-aszfalt-ujrahasznositasi-gyakorlat-osszegese-lehetosegek-bevalt-modszerek-es-kutatasi-igenyek/>  
[Hozzáférés dátuma: 2015].

EAPA, 2013. ASPHALT IN FIGURES 2013. [Online]

Available at: [http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/AIF\\_2013\\_Final.pdf](http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/AIF_2013_Final.pdf) [Hozzáférés dátuma: 2015].

HAPA, 2014. VISSZANYERT ASZFALT FELHASZNÁLÁSA ASZFALTKEVERÉKEKBEN, hely nélk.:  
<http://www.hapa.hu>.

Nádasi, R., 2015. Habosított és normál bitumenekkel gyártott aszfaltkeverékek összehasonlító vizsgálata - Diplomamunka.

Thom, N., 2014. Principles of Pavement Engineering, Nottingham, UK: Institution of civil engineers .

UT 2-3.301, 2002. Modifikált útépítési bitumenek. Követelmények. Útügyi Műszaki Előírás.

Veress, T., 2013. Európai útépítési trendek- mérsékelt meleg aszfaltok (WMA) KKK Közúti Üzemeltetési és Fenntartási Napok

## Adatok

Megjelent itt

**6. szám**

2015. ősz



## Szerző

### **Nádasi Réka**

Jelenlegi MSc hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. BSc hallgató 2011-2015 között. Diplomamunkáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út és Vasútépítési Tanszéken készítette 2015-ben Habosított és normál bitumenekkel gyártott aszfaltkeverékek összehasonlító vizsgálata címmel. Érdeklődési kör: aszfalttechnológia.

## Témakörök

Kiemelt • Kötőanyagok • Témakörök • Útépítés

## Kulcsszavak

## Befogadva

2015. december 7.

---

## Hozzászólás

\* Név

\* Email

Honlap

Hozzászólás

Hozzászólás elküldése

[Bejegyzések](#)

[Galéria](#)

[Impresszum](#)

[Interjúk](#)

[Könyvajánló](#)

[Nemzetközi szemle](#)

[Szakolvasó](#)

[Témakörök](#)

---

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



# Víz az útpályaszerkezetben

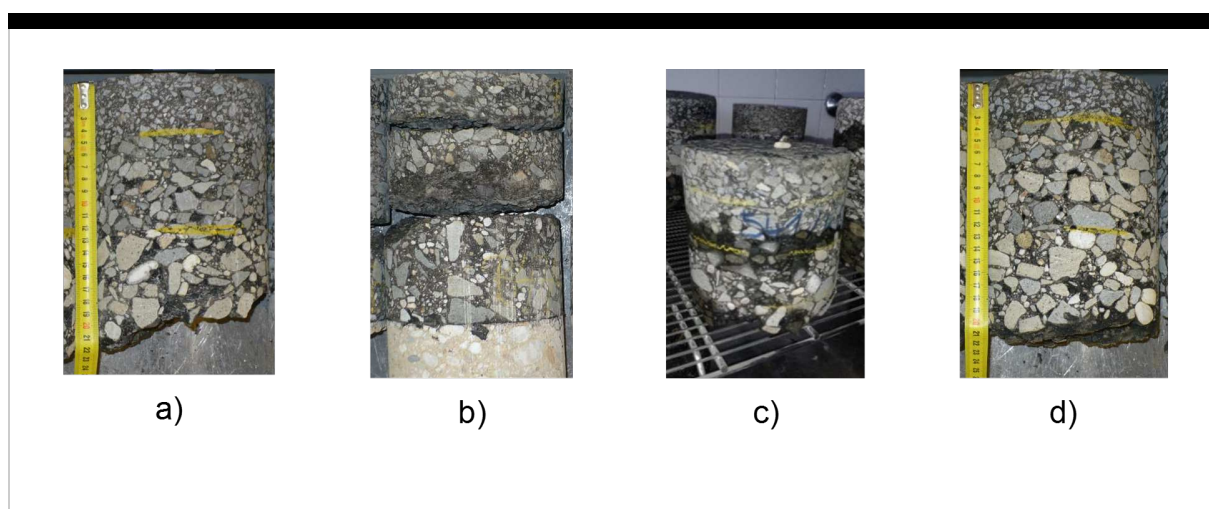
Szerző(k) **Igazvölgyi Zsuzsanna, Soós Zoltán és Tóth Csaba**

## Kivonat

A víz bejut az útpályaszerkezetbe, a teljes vízzáróság feltételezése megkérdőjelezhető. A probléma teljes körű feltárása érdekében a BME Út és Vasútépítési Tanszék laboratóriuma beszerzett egy – az MSZ EN 12697-19 szabvány követelményeit kielégítő – vizsgálóberendezést, amely segítségével lehetséges a laboratóriumi próbatestek valamint fúrt minták mind függőleges, mind vízszintes irányú vízáteresztő képességének szabványos vizsgálata. Jelen kutatás témája ezen eszköz segítségével, különböző hézagtartalmú próbatesteken illetve fúrt mintákon végzett vizsgálati eredmények bemutatása, amelyek segítségével reményeink szerint közelebb jutunk részletesebb megértéséhez és a szükséges megelőző javaslatok kidolgozásához. Összefüggést kerestünk a hézagtartalom és a vízáteresztő képességi együttható között. Eredményeink alapján elmondható, hogy az útpályaszerkezeti rétegek sok esetben nem vízzáróak, és a hézagtartalom növekedésével az áteresztő képességi együttható exponenciálisan növekszik.

## 1. Problémafelvetés

A BME Út és Vasútépítési Tanszék Pályaszerkezeti Laboratóriuma aszfalt burkolatú útpályaszerkezetek laboratóriumi és helyszíni vizsgálatának elvégzése mellett, gyorsforgalmi útszakaszok felújítás-technológiai szakvéleményeinek kidolgozásával is foglalkozik. A közelmúltban egy gyorsforgalmi út felújításához végeztünk helyszíni vizsgálatokat, mintavételeket és a minták laboratóriumi elemzését, és már a mintavétel során, jellemzően az alap, helyenként az alap és kötőréteg drasztikus és nagy mértékű, szokatlan tönkremenetelével találtunk (1. ábra). A későbbiekben bemutatandó mintákat vizsgálva, a károsodott rétegek mállása (a), a rétegek teljes szétválása, a réteghatárok szétmorzsolódása (b), a mintavétel utáni hosszas víztartás, lassú, szakaszos kiszáradás (c), a szemmel látható nagy hézagtartalom (d), mind-mind a pályaszerkezetbe jutó, bennrekedt víz káros hatását és jelenlétét valószínűsítette.



**1. ábra**

Magminták a gyorsforgalmi út szakaszáról

Számos kutatás és szakirodalom áttanulmányozása és helyszíni megfigyeléseink alapján az alábbi főbb okokat vázoltuk fel:

- földművel, általajjal összefüggő tényezők: bevágás és töltés találkozási pontjánál, ill. alacsony töltésen (áltöltés) lévő szakaszon valószínű kapilláris vízmozgás, rossz földmű/töltésanyag,
- kialakítással összefüggő tényezők: az osztott pálya elválasztó sávjába jutó víz, mely nem jut el a vízvezető rendszerbe, helyette beszívárog a pálya alá (ez különösen ívben fekvő szakaszokban káros, ahol a külső pályára hulló csapadék is az elválasztó sávba folyik), az elválasztó sávban vagy egyéb keresztiszelvényi ellenlejtések esetében a pályaszerkezeti rétegek lépcsősen kialakított széleinél a réteghatárba jutó víz,
- vonalvezetéssel összefüggő tényezők: hossz-szelvényi mélypontok, hosszú emelkedők,
- pályaszerkezeti rétegekkel összefüggő tényezők: tömörítetlen rétegek (magas hézagtartalom), rosszul együttműködő rétegek, nagy vastagságban épített rétegek (mélység mentén egyenlőtlen tömörség), oldalsó lépcsőzés (elválasztó sávban, ill. ívben a külső oldalon), termikus és tönkremeneteli repedések, tömörítetlen, ellenlejtésű (akár forgalomtól deformálódott) padkában felgyülemelő víz.

Ezen minták alkotta szakaszokon a hiba okait keresve nem találtunk egyértelműen, minden esetben felelőssé tehető körülményt. Az autópályán tapasztalható hasonló vízzel kapcsolatos esetekről értesültünk más autópályákon és magyar közúthálózat több elemén is, ahol különféle módszerekkel próbálták mérni és megoldani a problémát. Tudomásunk szerint a víz mozgását vízfestést alkalmazva is vizsgálták, mely során adott furatba valamilyen indikátorral kevert vizet öntve figyelték, hogy a beöntés környezetében megjelenik-e a színezett víz, és ha igen, hol. A hazai és a nemzetközi irodalmak feldolgozása után ismertettük a kutatásunk célját és az alkalmazott vizsgálatokat. A vízáteresztő képességet  $k$ -val jelöljük, és Darcy felszín alatti vizek szivárgására megfogalmazott törvényéből levezetve,  $m/sec$  vagy  $cm/sec$  mértékegységben értelmezzük. Próbatetek esetében, a vizsgálati módszertanból fakadóan az európai normák és különféle kutatások alapján megkülönböztetünk függőleges és vízszintes irányú áteresztőképességet.

## 2. Víz körforgása az útpályaszerkezeten keresztül

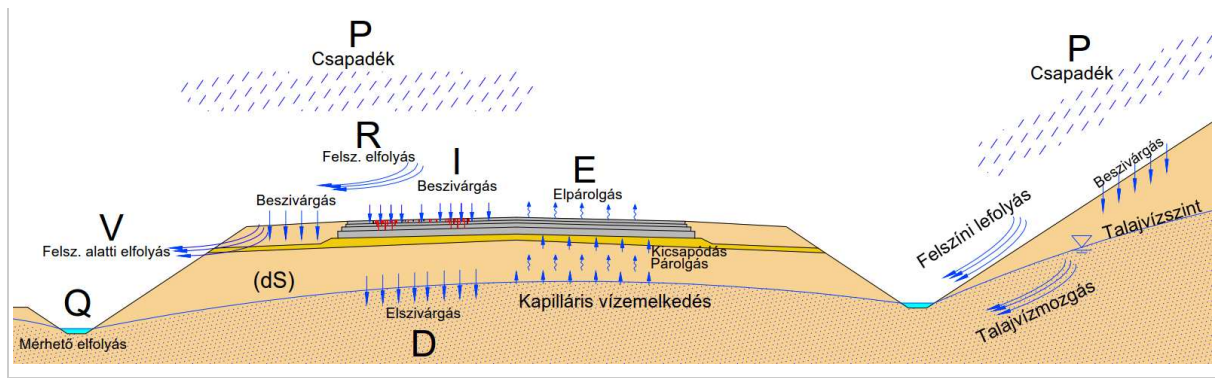
### 2.1. Nemzetközi kutatások

A pályaszerkezet rétegeinek vízáteresztő képességével, a víz bejutásával és a pályaszerkezetben való mozgásával (Morris & Gray, 1976), a víz pályaszerkezet jellemzőire gyakorolt hatásával (Gerke, 1979) például Ausztráliában már az 1970-es évek végén foglalkoztak.

Cedergren a kutatása során közepesen tömörített minták esetében mért  $3 \times 10^{-4} m/s$  vízáteresztő képesség tükrében arra a következtetésre jutott, hogy „a világ legtöbb útja annyira vízáteresztő, hogy több víz jut be a pályaszerkezetbe, mint amennyi az általajba el tud szivárogni” (Cedergren H R, 1973).

Az alapkutatások mellett ma már a legtöbb publikáció a víz mozgásának illetve a forgalmi terhelés hatásának modellezésével foglalkozik telített és telítetlen állapotokra egyaránt (pl. (Ariza & Bjorn, 2002), (Reid, Crabb, Temporal, & Clark, 2006), (TRL, 2006)).

Az ismert COST kutatások „WATMOVE” projektje nem korlátozódik az aszfaltrétegekre, hanem geotechnikai, vízvezetési, víz-áramlástan, mérés technológiai témákkal és a vízzel bemosódó szennyezőkkel is foglalkozik. Emellett a bejutó, bennrekedt víz hatásait a pályaszerkezet teherbírása és teljesítménye oldaláról is vizsgálja, és elemzi a vizes szerkezet modellezési lehetőségeit is (COST 351, 2008). A víz pályaszerkezetbe való jutása azonban nem csak a kötött burkolati rétegeken keresztül történik. A víz körforgását a pályaszerkezeten keresztül a 2. ábra szemlélteti. Jól látható, hogy felszíni és felszín alatti vizek érkehetnek a pályaszerkezetre, padkára és a földmúre.



**2. ábra**  
Vízmozgás a pályaszerkezetben

Dawson konkrét értékek nélkül megfogalmazott, de jól érthető összefoglaló leírása alapján a hidrológiából ismert vízháztartási összefüggésekhez hasonlóan felírható a pályaszerkezet „vízháztartása” is (Dawson A. , 1985). Feltételezve, hogy az alaprétegek víztartalmának változása (D) egy évre vetítve szinte zérus az egyenlet:

$$V = I - ds$$

mivel

$$P - E = R + I$$

és

$$R = Q$$

ezért

$$P - E = Q + V$$

ahol,

- P - csapadék,
- E - párolgás a burkolatról,
- R - lefolyás a burkolatról,
- Q - mért lefolyás az út szélén ,
- I - beszivárgás a burkolaton keresztül,
- ds - a földmű víztartalmának változása,
- V - a földműből vízszintesen elszivárgó víz,
- D a függőlegesen elszivárgó víz.

A csapadékmennyiség, a lefolyás és az alaprétegből elszivárgó víz ismeretében számítható a párolgás, majd a burkolaton át beszivárgó mennyiség. Dawson leírása jól szemlélteti a vízháztartás legtöbb tényezőjét, azonban a gyakorlatban ezek precíz mérése nem lehetséges, legalábbis nem hatékony.

Ehelyett több módszert fejlesztettek ki a pályaszerkezetbe beszivárogni képes víz mennyiségének közvetlen mérésére. A laboratóriumban végzett vizsgálatokat kiegészítendő az 1970-es évek óta több olyan módszer került kifejlesztésre, amely során terepen, a burkolat lehatárolt felületén időegység alatt átszivárgó víz mennyiségének mérésén alapul (pl. (Ridgeway, 1976), (Cooley, 1999)). Ekkor nemcsak az anyag hézagain, hanem annak repedésein átszivárgó vizet is mérjük, vagyis a mérés közelebb áll a valósághoz, mint a laborvizsgálat esetén.

Egy érdekes új-mexikói MSc diplomamunka szerzője (Ahmad, 2013) az aszfaltréteg hézagait három kategóriára osztva tárgyalja, és három típusú hézagot különböztet meg a kutatásai alapján: zárt (izolált), egyik végén zárt illetve nyílt hézag. A zárt hézag értelemszerűen vízzel és levegővel nem járható. Vizsgálataira és szakirodalmakra alapozva a vízáteresztő képességet jellemezte, és arra a következtetésre jutott, hogy  $k < 10^{-6}$  m/s áteresztő képesség alatt az aszfalt vízzáró, és ebben az esetben 5 % alatt van a burkolati hézag. Vízáteresztőnek akkor tekintethető, ha  $k > 10^{-4}$  m/s ( $v \% > 7 \%$ ).

A nemzetközi vizsgálatok során bemutatásra kerülnek helyszíni és laborvizsgálati eredmények ill. összefüggések. Az áttekintett irodalmak alapján elmondható, hogy a helyszíni méréskor szinte minden esetben nagyobb áteresztőképességet mértek a vizsgálatok során mint laboratóriumi vizsgálatok esetében. De meg kell jegyezni, hogy a helyszíni méréskor a vízszintes és a függőleges áteresztőképességet csak együtt lehet mérni. Az amerikai aszfalttechnológiai kutatóintézet (*National Centre for Asphalt Technology NCAT*) kutatásában a burkolati hézag és a beépített réteg vízáteresztő képessége között állítottak fel összefüggést (Cooley Jr., 2014). A legmeghatározóbbnak a keverék nominális szemcse nagyságának a hatását találták a kutatók ebben a kísérletben. A kutatásban 3 féle réteget vizsgáltak, a vízáteresztő képességi együtthatók rendre a következők voltak:  $100 \times 10^{-5}$ ,  $120 \times 10^{-5}$  és  $150 \times 10^{-5}$  m/s. Napjainkra a hazai szakemberek számára is világossá vált, hogy az aszfaltrétegek esetén a teljesen vízzáróság feltételezése nem megalapozott.

## 2.2. Hazai kutatások

Mind az építési hibák, mind az azt követő üzemeltetési és a fenntartási hiányosságok megteremtik a víz bejutásának lehetőségét a pályaszerkezetbe és az így bent rekedt víz a pályaszerkezet gyors tönkremeneteléhez vezet. Az alábbiakban kitérünk néhány ilyen publikációra.

Tárczy László 2011-ben tartott előadásában (*Főmterv Mesteriskola*) remekül összefoglalta a víz előfordulását a pályaszerkezetben és a drénezés lehetőségeit ill. hatásait. A víz mindenhol jelen van a pálya környezetében, a rézsűn, a földműben, a burkolt felületen és a padkában is. A fagy és olvadási károk elkerülése érdekében a víz bejutását a pályaszerkezetbe és földműbe meg kell akadályozni, illetve a bejutó vizek kivezetését meg kell oldani. Egy jól drénezett pályaszerkezet, ha a védőréteg megfelelő oldaleséssel van kialakítva, megfelelően szilárd földművet eredményez, melynek teherbírása az élettartama alatt megfelelő, legalább  $E_2 \geq 40$  N/mm<sup>2</sup>.

Tárczy kihangsúlyozta, hogy azzal „*az illúzióval, hogy a kopóréteg és a pályaszerkezet víztaszító, vízzáró le kell számolni!* A pályaszerkezet belső víztelenítése alapvetően különbözik a felszíni víztelenítéstől”. Tapasztalatai és a kutatások alapján a hajlékony pályaszerkezetek sebezhetőbbek e tekintetben, a makadám alapúak pedig végképp. Talajok vízáteresztő képességére egyébként Tárczy az alábbi értékeket adta meg: vízzáró a talaj, ha vízáteresztő-képességi együtthatója  $k > 5 \times 10^{-3}$  m/s, és vízzáró a talaj, ha vízáteresztő-képességi együtthatója  $k < 5 \times 10^{-11}$  m/s.

A hazai pályaszerkezetek a klíma és talajelőfordulások alapján, néhány sajátos kivételtől eltekintve, igénylik a pályaszerkezet víztelenítését. Az üzemeltetés hiányosságai, keletkező mikrorepedések, ezek elfajulása, eltérő hővezető képességű anyagok érintkezési felületei kritikusak a víz bejutása szempontjából.

Egy hazai gyorsforgalmi utak hibafeltárásait bemutató cikkben (Ambrus, és mtsai., 2009) több esetben találtak olyan korai hibákat, amelyek a víz jelenlétével, javarészt vízfeltöréssel, vízszivárgással hozhatók kapcsolatba. A szerzők itt felhívták a figyelmet az áltöltéseken vezetett útszakaszok vizesedési problémáira és a víz kapilláris úton való felfelé szivárgására.

Mint az a későbbiekben bemutatásra kerül, a vízáteresztő képesség alakulása nagymértékben függ a hézagtartalomtól, melyre nemzetközi és hazai dokumentációkban egyaránt találunk utalásokat. Ilyen az egyes aszfaltkeverékek esetén előírt maximális hézagtartalom, mely elviekben biztosítja, hogy nem alakulnak ki olyan összefüggő hézagrendszerek az aszfaltrétegben, amelyekbe a víz bejutva és megfagyva kárt okozhat (e-UT 05.02.10 (ÚT 2-3.301) „*Útépítési aszfaltkeverékek*” előírás-csoport és az e-UT 06.03.21 (ÚT 2-3.302) „*Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek. Építési feltételek és minőségi követelmények*”, előírás). Az SMA 11 kopó keverékek esetében például az e-UT 05.02.13 (ÚT 2-3.301-5) „*Útépítési aszfaltkeverékek. Zúzalékvasas masztixaszfalt (SMA)*” a tervezhető hézagtartalmat 2,0-4,5% között engedi meg, utalva a szemeloszlásból eredő vízáteresztő képességbeli veszélyre is. Habár az előírás nem tartalmaz vízáteresztőképesség-vizsgálatot, például egy koncessziós autópálya esetében ezt előírják, és a megrendelő határértéket is megfogalmaz rá, mely legfeljebb  $0,1 \times 10^{-6}$  m/s lehet, vagyis vízzárónak kell lennie.



### 3. Kutatási terv

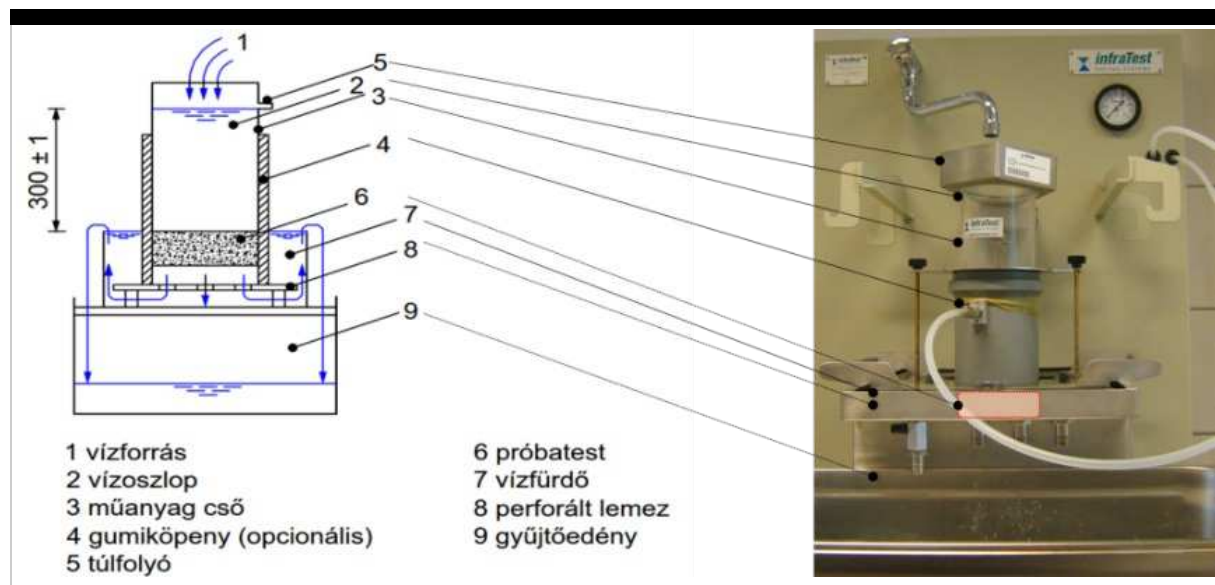
A probléma felderítése érdekében a BME Út és Vasútépítési Tanszék egy, az MSZ EN 12697-19 „Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei. 19. rész: A próbatest vízáteresztő képessége” követelményeit kielégítő berendezés beszerzése mellett döntött. A berendezéssel, melyet a 3.1 alfejezetben részletesen bemutatunk, pályaszerkezetből fúrt minták és laboratóriumban előállított 100 és 150 mm átmérőjű próbatestek függőleges és vízszintes vízáteresztő képességének vizsgálata végezhető el.

A berendezéssel vizsgáltuk az említett fúrt mintákat, ám a legtöbb esetben a minták már az előkészítés közben szétestek, szétmorzsolódtak, vizsgálhatatlanná váltak. Így a minták mellett nagyszámú, különböző hézagtartalomra gyártott Marshall és Gyrator próbatesteket vizsgáltunk, a kapott összefüggéseket tekintve pedig itthon is járatos aszfaltkeverékek esetében a nemzetközi kutatásokhoz hasonló eredményekre jutottunk. Jelen cikkben a fúrt minták és az SMA 11 kopó (mF) aszfaltkeverékből készült Marshall próbatestek vízáteresztő képességét mutatjuk be.

#### 3.1. A vizsgálóberendezés

A berendezés az MSZ EN 1269-19:2012 szabvány szerinti állandó magasságú vízoszloppal terhelt próbatest vizsgálatára alkalmas. A készülékben egy hengeres próbatesten 10 perc légtelenítés után a legalább egy perc időtartam alatt átfolyó vizet mérjük. Az átfolyt víz tömegéből és a minta méreteiből a  $K_v$  és  $K_h$

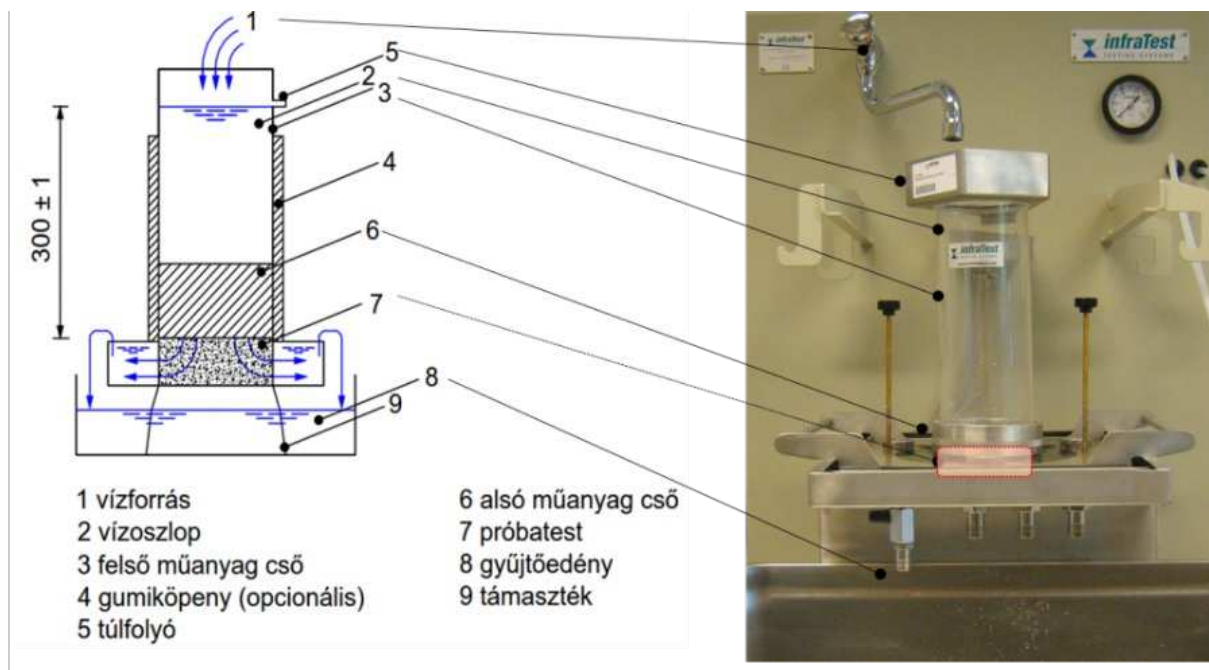
(vertikális/függőleges és horizontális/vízszintes) áteresztő képességi értéket határozzuk meg (3. ábra és 4. ábra). A mérés előtt a mintát légteleníteni kell, mert a hézagok vízzel való telítődése során az áteresztő képesség változik, és csak a telítés után áll be állandó szintre. Jelen kutatásban lehetőségünk volt mindegyik típusú mintából vizsgálatokat végrehajtani.



3. ábra

A vizsgáló berendezés – függőleges vízáteresztő képesség mérése

A berendezés részletes felépítését jelen cikkben nem részletezzük, viszont a mérés szempontjából fontos lépéseket a két vizsgálati típusnál bemutatjuk. A vizsgálati eredmény három mérés átlagaként adódik. A vízhozam és a vízáteresztő képesség képleteit és elemeit jelen cikkben a terjedelemből való tekintettel nem közöljük, az alkalmazott képletek és rövidítések a szabványban használtakkal megegyeznek.



**4. ábra**

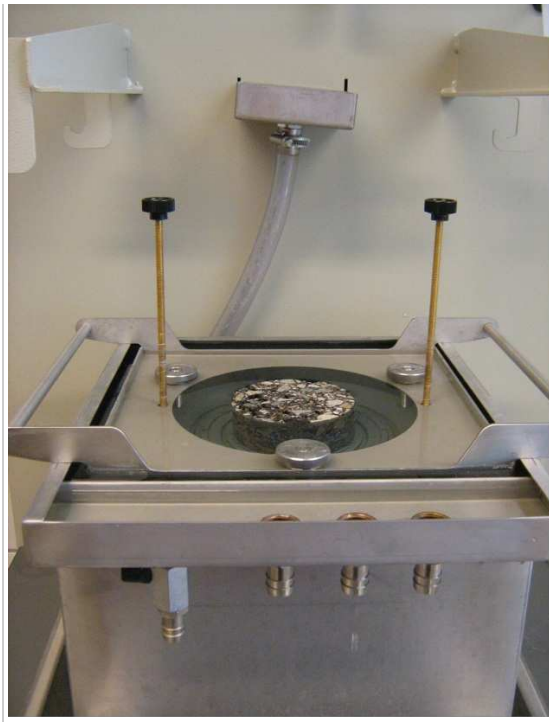
A vizsgáló berendezés – vízszintes vízáteresztő képesség mérése

Az átfolyó víz tömege és mérés időtartama adja a vízhozamot. Jelen kutatásban a víz hőmérsékletével korrigáltuk a víz tömegéből származtatott térfogatot, amelyet a szabvány nem ír elő, viszont a 4.3.3. bekezdésben kiemeli, hogy a méréseket 15°C és 25°C közötti tartományban, környezeti hőmérsékleten kell végrehajtani. A hőmérséklet adatait folyamatosan rögzítettük: a levegő hőmérséklete 23-24°C, a készülékbe befolyó új víz hőmérséklete 24-25°C, míg a túlfolyó tartályban 23-24°C-os hőmérsékletet mértünk.

A lemért vízhozam segítségével a hidraulikából ismert *Darcy-törvény* segítségével az áteresztő képességi együttható (m/s) meghatározható. A minta minimális magasságát mindkét esetben szabvány írja elő (összefüggő hézagok kialakulásának a valószínűsége miatt). A próbatest vastagsága az átmérő 25%-ánál és a keverék névleges legnagyobb szemnagyságának kétszeresénél legyen nagyobb, pl. D=150mm átmérő esetén  $h_{\min}=38\text{mm}$ , vagy AC22 anyagnál  $h_{\min}=44\text{mm}$ , ahol h a próbatest vastagsága. Mindkét mérésnél a szabvány előírja a 300 mm magas állandó vízoszlop tartását, amelyet a feltét felső részén található lemezből kialakított acél túlfolyó biztosít.

### 3.2. Függőleges vízáteresztő képesség mérés és tapasztalatok

A függőleges vízáteresztő képesség menete a próbatest speciális előkészítését nem igényli. A mintát egy perforált lemezre vízszintben el kell helyezni, és egy gumiköpennyel bevont műanyag csövet rá kell helyezni. Ebbe kell elhelyezni 300 mm magas feltétet, melyet a gumiköpeny szabvány szerinti 50 kPa nyomás alá helyezésével szorítunk rá a palástra. Erre azért van szükség, hogy a víz ne a próbatest palástja mellett, hanem annak felső síkján keresztül tudjon csak a hézagokba befolyani. A nyomás nagyságának kulcsfontossága van, sima felületű fűrt mintánál kevésbé releváns, de egy nagyobb hézagtartalmú próbatestnél akár 50 kPa-nál nagyobb nyomásra is szükség lehet (Austroads, 2006).



**5. ábra**

*A függőleges vízáteresztés méréseinek legfontosabb lépései a) a minta elhelyezése, a próbatest felső síkjának vízszintbe állítása, b) gumiköpeny és feltét felhelyezése, és nyomás alá helyezése*

A nyomás alá helyezés után a feltétet feltöltjük vízzel, és az említett légtelenítés után mérjük az átfolyt víz tömegét.

### **3.3. Vízszintes vízáteresztő képesség mérés és tapasztalatok**

A vízszintes áteresztő képesség mérése során a próbatest felső síkján keresztül jut be a víz, és csak a palástján keresztül engedjük távozni. A próbatest alsó síkját a vízzárósága érdekében ezért paraffin réteggel vontuk be (6. ábra, a). A felső síkjára feltétet tartó gyűrűt szilikon tömítőanyaggal rögzítettük. A tömítőanyag száradási és kötési ideje után a minta a vizsgáló berendezésbe helyezhető volt. A 300 mm magas vízszlopot a vízszintes áteresztő képesség méréshez tartozó rozsdamentes acél feltét biztosítja (6. ábra, b).



**6. ábra**

*A vízszintes vízáteresztés mérésének előkészítése a) fúrt minta alsó síkjának paraffinnal történő bevonása b) vizsgáló feltét gyűrűjének rögzítése szilikon tömítőanyaggal és a vizsgáló berendezésbe helyezése száradás után*

A vizsgálat során a gyűrűbe helyezük a vizsgáló feltétet, és vízzel töltjük fel a hengert, és a korábban említett légtelenítési szakasz után, a túlfolyó víz mennyiségét legalább egy percig mérjük. A vízszintes áteresztő képesség esetén a paláston található nagyobb hézagok a mérést nem befolyásolják, mint a függőleges áteresztő képesség esetében.

#### 4. Vizsgálati koncepció

Ismeretes, hogy a vonatkozó ÚME előírások az egyes pályaszerkezeti rétegekre szemmagyság alapján legkisebb és legnagyobb tervezhető hézagtartalmat írnak elő. Összefoglalva, a pályaszerkezet SMA 11 rétegének hézagtartalmait az 1. táblázat szerint alakulhatnak.

Réteg	KOPÓ
$D_{max}$ (mm)	11
$V_{MIN}$	<b>2,0%</b>
$V_{max, ter.}$	4,5%
Túrés	+3,0%
Selejt	+2,0%
$V_s$	<b>9,5%</b>

**1. táblázat**

*Az SMA 11 pályaszerkezetben lehetséges előírás szerint a hézagtartalmak*

A beépített rétegekre vonatkozó az e-UT 06.03.21 (ÚT 2-3.302) „Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek. Építési feltételek és minőségi követelmények” a tervezett hézagtartalomhoz képest 3 tf% túrést enged meg, illetve további 2 tf%-ot a túrésen felül, amely esetén már értékcsökkentett kategóriájú az aszfaltréteg. Ezen felül a réteg már selejtnek minősül, és a megrendelő nem veszi át, illetve elbontatja.

##### 4.1. Fúrt minták vízáteresztő képességének meghatározása – kötő és alaprétegek

Kísérleteinket két részre bonthatjuk. Jelen cikkben bemutatjuk a gyorsforgalmi út magmintáinak (7. ábra) és egy SMA 11 alapkeverékből készített különböző hézagtartalmú Marshall próbatestek függőleges és vízszintes vízáteresztő képességének vizsgálatát. A fúrt mintáknál az alaprétegek esetében a minták állapota miatt legtöbbször nem sikerült elvégezni, a kötőrétegek esetén viszont legtöbbször igen.

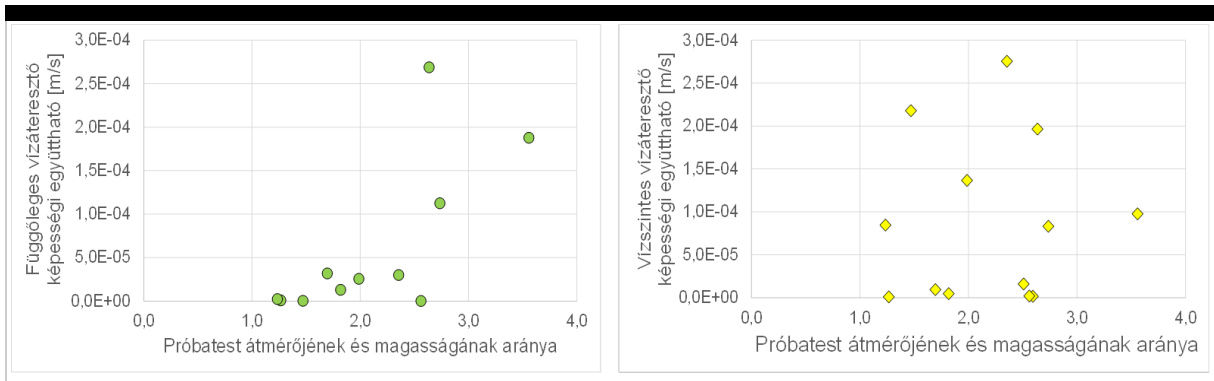


**7. ábra**

*Vizsgált próbatest fajták, fúrt minták*

A nemzetközi szakirodalomban megtaláljuk a különböző hézagtartalmak függvényében vizsgált az áteresztő képességi együtthatók értékeit, melyekben összefüggést is keresnek a legnagyobb szemmagyság (vagy nominális szemmagyság) valamint a vizsgált minta magassága ill. átmérőjének aránya között. Jelen cikkben arra kerestük a választ, hogy a függőleges és a vízszintes áteresztő képesség hogyan alakul a próbatest átmérőjének és a magasságának hányadosa arányában. Az eredményeket a 8. ábrán mutatjuk be. Arra a megállapításra

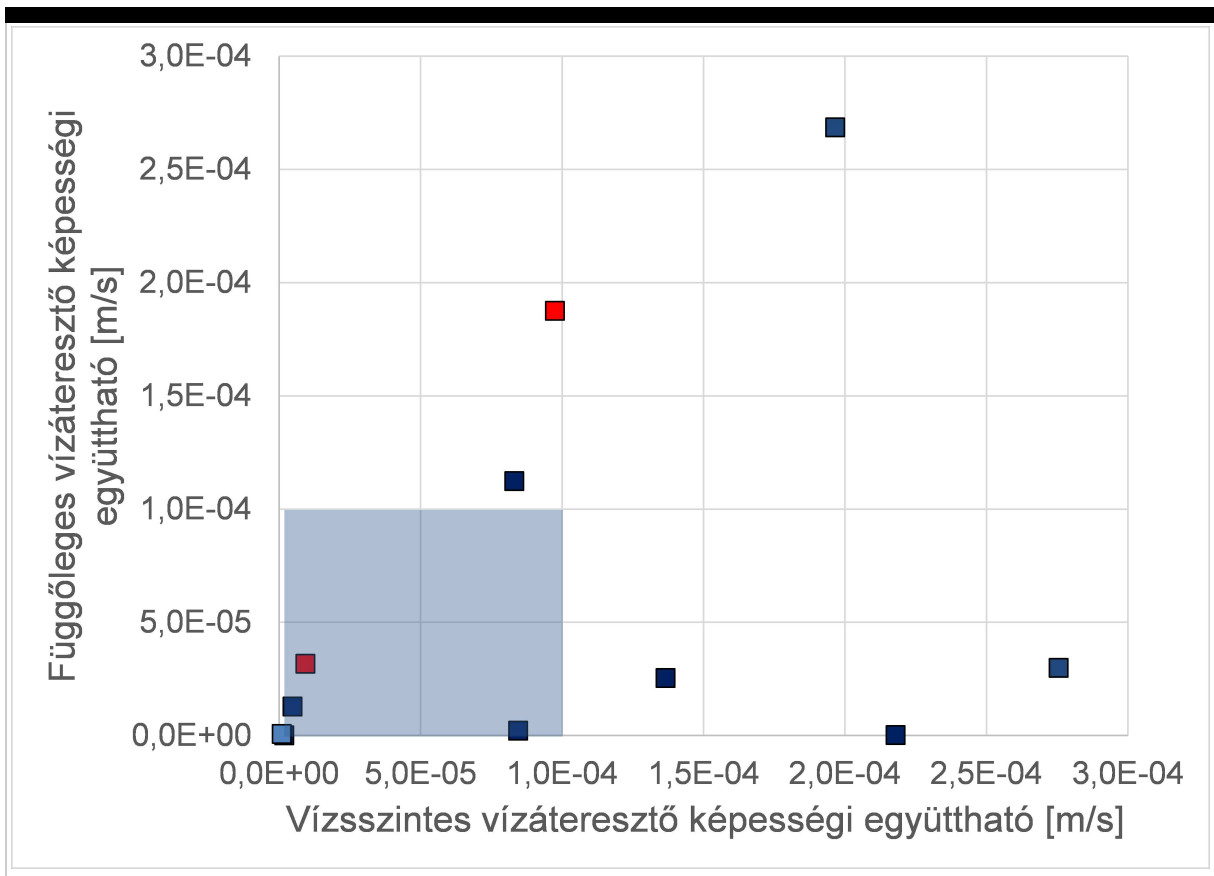
jutottunk, hogy a függőleges vízáteresztő képességi együttható növekszik a próbatest átmérőjének és a magasságának hányadosának függvényében, míg a vízszintes áteresztő képességre ez nem igaz (a fűrt minták átmérői átlagosan 146 és 153 mm közöttiek). Az eredmények alapján elmondhatjuk, hogy minél alacsonyabb egy próbatest magassága, annál nagyobb valószínűséggel alakul ki könnyebben átjárható hézagrendszer a víz számára.



**8. ábra**

*Fűrt minták függőleges és vízszintes áteresztő képességi együttható nagysága a próbatest magasságának és átmérőjének arányában*

A fűrt mintákon elvégzett vízáteresztő képesség vizsgálatok eredményeit a 9. ábrán foglaljuk össze. Az irodalmi adatok alapján  $1 \times 10^{-4}$  m/s áteresztő képességi együttható felett a réteget vízáteresztőnek tekintjük. A réteg  $10^{-6}$  m/s és  $10^{-4}$  m/s közötti együtthatóval gyengén vízáteresztőnek tekinthető.



**9. ábra**

*Fűrt minták függőleges és vízszintes áteresztő képességi együtthatója*

A fűrt mintákon elvégzett vizsgálatok azt mutatják, hogy a vízszintes vízáteresztő képesség szinte mindegyik

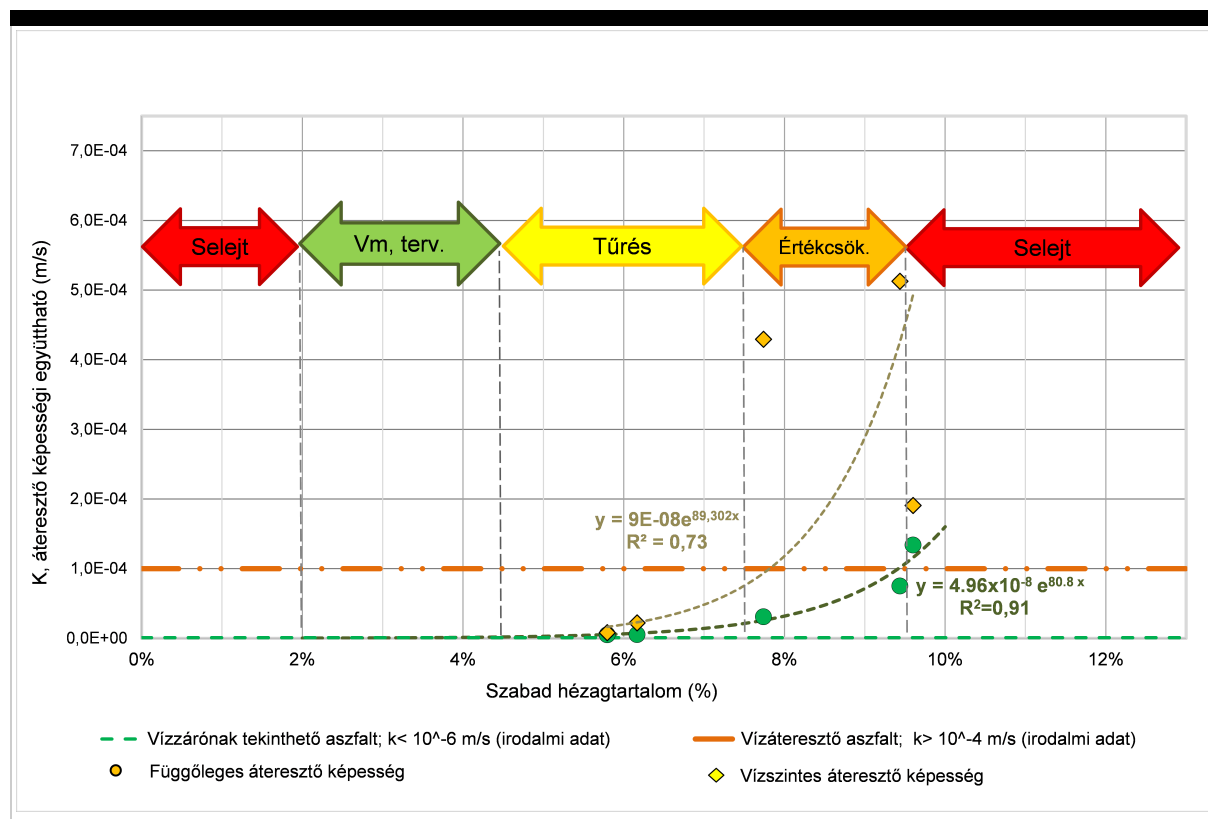


esetben kisebb, mint a függőleges. A tapasztalat az volt, hogy azokon a helyszíneken, ahol a 2. és a 3. réteg elvált, vagy a 3. réteg beszakadt, sok esetben ennek ellenkezője volt megfigyelhető. Több, mint 15 mintán végeztük el a vizsgálatokat és az eredmények azt mutatták, hogy a kötőréteg esetében a függőleges vízáteresztő képesség  $2,7 \times 10^{-4}$  és  $8 \times 10^{-7}$  m/s között van. A vízszintes áteresztő képességnél kötőréteg esetében a legnagyobb érték  $1,4 \times 10^{-6}$  m/s, legkisebb  $1,4 \times 10^{-8}$  m/s és  $1 \times 10^{-6}$  m/s között volt. További adatok hiányában a vízszintes és függőleges értékek átlagát tekintve a vizsgált alap- és kötőrétegek lényegében vízzárónak tekinthetőek. További vizsgálatokat nem végeztünk a fűrt mintákon, mert sok esetben a minták alaprétege kivehetetlen volt vagy az előkészítés során károsodott. A mérési eredmények a burkolati hézag különbségeinek összefüggésére nem adtak választ, nem teljes mértékben reprezentálták a valódi burkolati réteg vízáteresztő képességét. Ezután laboratóriumban gyártott próbatestjeinket vizsgáltuk. A vizsgált keverék összetételét és a minták hézagtartalmait a 4.2 fejezetben tárgyaljuk.

#### 4.2. SMA 11 kopó ömlesztett aszfaltból készített Marshall próbatestek vízáteresztő képességének meghatározása

Laboratóriumunkban  $2 \times 10^{-15}$ -25-35 ill. 50 ütessel 5 különböző tömörségű Marshall próbatestet készítettünk 2015. nyarán SMA 11 kopó (mF) 25/55-65 keverékből. Az így kialakult hézagtartalmak rendre a következők: 9,6%, 9,4%, 7,7%, 6,2%, 5,8%.

A  $2 \times 10$  ütéses próbatest hézagtartalom 9,6% volt, és 26-szor nagyobb függőleges áteresztő képességet mértünk, mint a  $2 \times 50$  ütéses 5,8 %-os szabad hézagtartalmú mintán. A keverék hézagmentes testsűrűsége  $Sa_0 = 2,416 \text{ g/cm}^3$ , marshall sűrűsége  $Sa_m = 2,292 \text{ g/cm}^3$ . A 10. ábrán a függőleges és a vízszintes áteresztő képességi együtthatókat a hézagtartalom függvényében mutatjuk be, melyen feltüntettük a korábban említett hézagtartalom kategóriákat. Látható, hogy a hézagtartalom növekedésével jelentősen (exponenciálisan) növekszik a vízáteresztő képesség.



10. ábra  
SMA 11 kopóréteg függőleges vízáteresztő képességi együtthatója különböző hézagtartalmak esetén

Teljesen vízzárónak az irodalmi adatok alapján  $k < 10^{-6}$  m/s áteresztő képességi együtthatójú rétegeket tekinthetünk. Ezek alapján a vizsgált SMA 11 kopórétegeknél a tűrés tartományba eső két minta függőleges értelemben vízzárónak tekinthető, viszont vízszintes áteresztő képességre csak a legkisebb, 5,8%-os

hézagtartalmú minta bizonyult vízzárónak. A 6,2%-os hézagtartalmú próbatest már gyengén vízáteresztőnek minősíthető ( $10^6 > k > 10^4$ ).

A hézagtartalom tőrési tartománya 4,5-7,5% között van. Az értékcsökkent tartományban vízszintes értelemben vízáteresztőnek minősíthetjük az aszfalt próbatesteket, míg függőleges áteresztő képességre gyengén áteresztőnek tekinthetőek az irodalmi adatok alapján.

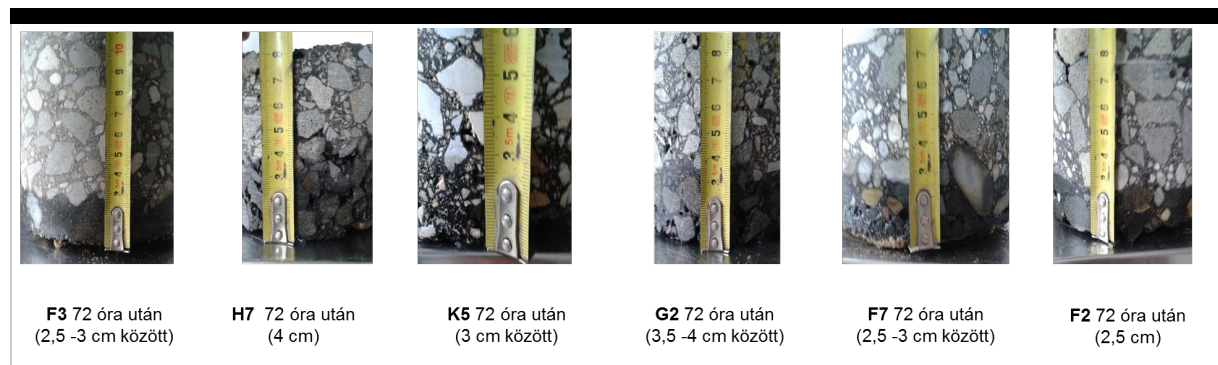
## 5. Eredmények és további kutatás

### 5.1. Következtetések

Méréseinkkel igazoltuk a vizsgált fúrt minták alap és kötőrétegeiben is a vízmozgást. Több esetben a kötőréteg vízáteresztő képessége nagyobb volt, mint az alaprétegé, amely a víz könnyebb bejutását támasztja alá az alsóbb rétegekbe, ill. lehetővé teszi a víz réteghatáron való megrekedését. Hazai vizsgálatokkal igazoltuk, hogy a hézagtartalom növekedésével a függőleges áteresztő képességi együttható exponenciálisan növekszik. A vizsgált laboratóriumi keverék esetében azt figyeltük meg, hogy az SMA 11 kopó mintákon a burkolati hézag értékcsökkentett tartománya lehet vízáteresztő, mely elméletben a megrendelő elfogadhat, azaz bennmaradhat a pályaszerkezetben. A tőrést kissé meghaladó burkolati hézagok esetén tehát a vízáteresztő képesség vizsgálata mindenképpen indokolt.

### 5.2. További kutatás

További kutatásaink során részletesebben tervezzük elemezni a víz kapilláris úton való emelkedését kötött pályaszerkezeti rétegekben. Jelen kutatásban 72 órás időtartam után mért emelkedés mértéke 2,5-4 cm között van (11. ábra).



**11. ábra**

*Fúrt mintákon végzett kapilláris emelkedés kísérleti vizsgálata*

A teljes pályaszerkezet vízáteresztő képességének meghatározáshoz elengedhetetlen, hogy megfelelő mennyiségű mintán és rétegen végezzük el a kapilláris vízemelkedés vizsgálatát és a vízáteresztő képesség mérését.

Felmerül a kérdés, hogy pontosan mi játszódik le abban az esetben, amikor két tömörebb réteg közé jut be a víz, és mivel csak a réteghatáron, lassan képes elszivárogni, tovább tartózkodik a pályaszerkezetben. Érdekes kérdés, hogy mi játszódik le ebben az esetben a forgalmi terhelés hatására. Hasonlóképpen elemezni kellene azt is, amikor nem a gyengébb réteghatáron, hanem egy tömörítetlen rétegben szivárog a víz.

További kutatásunkban drénaszfaltok vízáteresztő képességével foglalkozunk. Egyelőre megválaszolatlan a kérdés, hogy a Hollandiában, Egyesült Államokban vagy Németországban alkalmazott porózus aszfalt új réteg tervezésénél hazánkban miért nem kerül szóba.

A kutatás következő fázisaiban a szemcseméret és a szemcsék kötőanyaggal való bevontságának hatását vizsgáljuk a vízáteresztő képességre. Olyan pályaszerkezeti összeállításokat is elemzünk, amelyekben a réteghatárok és az egyes rétegek tömörségének variációjával a víz útját kísérjük meg leírni. Jelen kutatás sem tekinthető befejezettnek: a vizsgált minták számának növelésével statisztikailag megbízható adatsorokhoz kell

jutnunk.

### Hivatkozások

Ahmad, M. (2013). *Permeability and moisture damage characteristics*



---

*of asphalt pavements (MSc diploma). USA, New Mexico: The University of New Mexico.*

Ambrus, K., Galuska, J., Gáspár, L., Keleti, I., Pallós, I., & Török, K. (2009). *Aszfaltburkolatú autópályák minőségbiztosítási rendszeréhez történő hozzájárulás.* Budapest: Közlekedésépítési Szemle 59. évf. 7. sz.

Ariza, P., & Bjorn, B. (2002). *Evaluation*





---

*of Water Flow Through Pavement Systems. NCHRP.*

Cedergren H R, A. J. (1973). *Development of guidelines for the design of subsurface drainage systems for highway pavement structural sections.* USA, Washington: Final report to the Federal Highway Administration



---

. Department of Transportation.

Cooley Jr., B. &. (2014). *NCAT report 01-03 - Developing Critical Field Permeability and Pavement Density Values for Coarse-Graded Superpave Pavements*. DOI: <http://dx.doi.org/10.3141/1761-06>: Journal of the Transportation Research Board.

Cooley, L. (1999). *Permeability of Superpave Mixtures: Evaluation of Field Permeameters*. Auburn University: National Centre for Asphalt Technology.

COST 351. (2008). *Water in Road Structures. Movement, Drainage and Effects*. Nottingham: Springer.

Dawson, A. (1985). *Water movement in road pavements*. University of Nottingham: Proceedings of the Second Symposium on Unbound Aggregates in Roads, pp. 7-12.

Gerke, R. (1979). *Subsurface drainage: Progress report*. Australian Road Research Board: Internal Report AIR 317-1.

Morris , P., & Gray, W. (1976). *Moisture conditions under roads in the Australian environment*. Australian Road Research Board: Research Report ARR No. 69.

Reid, J., Crabb, G., Temporal, J., & Clark, M. (2006). *A study of water movement in road pavements*. London: TRL.

Ridgeway, H. (1976). *Infiltration of Water Through the Pavement Surface*. Washington: Transportation Research Record .

TRL. (2006). *The Movement of Water in Roads*. London.

## Adatok

Megjelent itt

**6. szám**  
2015. ősz



---

## Szerző

### **Igazvölgyi Zsuzsanna**

Adjunktus, BME Út és Vasútépítési Tanszék.

### **Soós Zoltán**

Okleveles építőmérnök, 2014 óta a BME Út és Vasútépítési Tanszék PhD hallgatója.

### **Tóth Csaba**

Adjunktus, BME Út és Vasútépítési Tanszék.

---

## Témakörök

Földművek • Témakörök • Útépítés

## Kulcsszavak

függőleges és vízszintes vízáteresztő képesség • szivárgás • útburkolat • vízzáróság

## Befogadva

2015. december 7.

---

---

## 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](#)

[Szakolvasó](#)

[Témakörök](#)

---

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



# A próbatest és a terhelő lemezek közötti kapcsolat hatása a melegaszfalt keverékek viszkoelasztikus anyagjellemzőire

Szerző(k) **Dr. Bernhard Hofko és Prof. Ronald Blab**

## Kivonat

A melegaszfalt keverékek rutinvizsgálatai közül a *plasztikus alakváltozást ciklikus terhelésű nyomóvizsgálattal (cyclic compression test, CCT) is vizsgálhatjuk. A vizsgálat azonban az anyag lineáris viszkoelasztikus tartományában való viselkedésének leírására is alkalmas, így adott terhelési frekvencia és hőmérséklet esetén a merevség és a fázisszög meghatározható. A terhelő lemez és a próbatest közötti kapcsolatot tekintve két elrendezés lehetséges: a próbatest a terhelő lemezekhez van ragasztva, megakadályozva így a határoló felületeken kialakuló keresztirányú alakváltozást, vagy ennél gyengébb a kapcsolat. Mivel a próbatest végkeresztmetszetein kisebb mértékű keresztirányú alakváltozás keletkezik, utóbbi esetben az érintkezési felületet súrlódáscsökkentő szerekkel (pl. szilikon zsír) bekenve segítik elő az alakváltozás homogén eloszlását a próbatest magassága mentén. Jelen kutatás során azt vizsgáltuk, a két vizsgálati összeállítás összevethető eredményt ad-e a melegaszfalt keverék viszkoelasztikus tulajdonságait tekintve. Ennek érdekében mindkét összeállítást alkalmazva CCT vizsgálat-sorozatokat végeztünk. Az adatokat regresszió-analízissel vizsgáltuk, melyhez egyszerű szinuszfüggvényt, valamint egy összetettebb, a rezgés első harmonikusát is tartalmazó függvényt használtunk fel. Megmutattuk, hogy az első harmonikus paraméterei alkalmasak egy torzult szinuszhullám nagyságának és alakjának leírására. Elemzésre kerültek az erőmérők és elmozdulásmérők jeladatai is, valamint a számított viszkoelasztikus anyagjellemzők. A kutatási eredmények alapján kijelenthető, hogy az összenyomódási tartományban a ciklikus terhelésű nyomóvizsgálat alkalmas az anyag viszkoelasztikus tulajdonságainak leírására a próbatest és a terhelő lemezek közötti kapcsolattól függetlenül, az eredmények pedig összevethetőek egy szabványos merevségvizsgálattal, a négyponos hajlítóvizsgálattal (four-point bending beam, 4PBB). Megmutatkozik az is, hogy az összetett függvény szerinti regresszió alkalmazásával értékelhető a berendezés által rögzített adat minősége. Így az összetett függvény szerinti közelítés alkalmazásával kimutathatóak a vizsgáloberendezés és a mérőcellák műszaki korlátai.*

## 1. Bevezetés

A BRCC (Belgian Road Research Center) Belga Útügyi Kutató Központban az 1970-es években úttörő jelentőségű, átfogó kutatásokat végeztek a melegaszfalt keverékek triaxiális vizsgálatai (*triaxial cyclic compression test, TCCT*) terén. A kutatás fő célja egy olyan modell kifejlesztése volt, amely a melegaszfalt keverékek *plasztikus deformációs viselkedését képes leírni. Ennek megfelelően a kutatás során számos tényező hatását tanulmányozták a különböző peremfeltételek mellett szisztematikusan megtervezett vizsgálatsorozatok során. A Francken által publikált modell (Francken, 1977) a mai napig használatos a triaxiális terhelésből származó függőleges irányú *plasztikus alakváltozás becslésére, a kutatás pedig az aszfaltkeverékek triaxiális vizsgálataira vonatkozó EN 12697-25:2005 szabvány kidolgozása során annak egyik legnagyobb forrásává vált. Jaeger (Jaeger, 1980) különböző melegaszfalt keverékeket vizsgált magas hőmérsékleten, ismételt szinuszos terhelés alatt, állandó palástnyomás mellett. Megmutatta, hogy a *plasztikus alakváltozást a legnagyobb mértékben a függőleges terhelés befolyásolja, ezt követi a hőmérséklet és a terhelés frekvenciája. A technológia fejlődése később lehetővé tette az adatok digitalizálását, tárolását, feldolgozását, ezáltal a vizsgálati eredmények részletesebb kiértékelését és elemzését, melyet Weiland kutatásai során ki is használt (Weiland, 1986). A feszültségek és alakváltozások amplitúdójának mérése és megjeleníthetősége lehetővé tette a közöttük lévő fázisszög első megfigyeléseit. A Weiland által bemutatott vizsgálati eredmények kimutatták, hogy a tengelyirányú terhelés és alakváltozás, valamint a tengelyirányú terhelés és radiális alakváltozás fázisszögei eltérnek. Azt is kimutatta, hogy a fázisszög szempontjából meghatározó a hőmérséklet szerepe. Az 1990-es években von der Decken egy kiterjedt kutatásban különböző melegaszfalt keverékeket különböző***

hőmérsékleteken vizsgált TCCT-vel (von der Decken 1997). Érdekes módon azt találta, hogy létezik egy állandó fázisszög a tengelyirányú terhelés és radiális alakváltozás között, mely független a keverék összetételétől és a hőmérséklettől. A fázisszög értékét 36°-ban állapította meg.

A közelmúltban Kappl végzett átfogó kutatást a TCCT vizsgálatokkal kapcsolatban (Kappl, 2007). Ennek során egy kiterjedt program keretében számos, különféle adalék- és kötőanyag összetételű aszfaltkeveréket vizsgált TCCT-vel az EN 12697-25:2005 szerint. Kapcsolatot keresett a TCCT eredmények és a különféle kötőanyag-típusok, illetve olyan egyszerű vizsgálati eredmények között, mint a Marshall vizsgálatok. A kutatás fő eredményeként jó korrelációt tapasztaltak a kötőanyag gyűrűs-golyós lágypontja és az 50°C hőmérsékleten mért, 25.000 ciklus után összegzett tengelyirányú alakváltozás között. Hasonlóképpen a hézagtartalom összekapcsolható a standard TCCT vizsgálat során mért kúszássebesség jellemzőjével.

A TCCT módszert 2004-ben integrálták az európai harmonizált normarendszerbe az EN 12697-25:2005 szabvány formájában mint a melegaszfalt keverékek magas hőmérsékleten történő maradó alakváltozással szembeni ellenálló képesség vizsgálati módszerét. A szabványos vizsgálati módszer olyan ciklikus tengelyirányú terhelésből áll, mely egy gumiabroncs áthaladását szimulálja, valamint egy állandó oldalnyomásból, mely a pályaszerkezetben lévő oldalsó megtámasztás hatását képviseli. A tengelyirányú plasztikus deformációt a ciklusszám függvényében elemzi, melynek eredménye a kúszási görbe.

A CCT vizsgálat viszont a melegaszfalt keverékek anyagi jellemzőinek vizsgálatára (merevség, fázisszög) is alkalmas, ha azt az anyag lineáris viszkoelasztikus tartományában alkalmazzuk. Ilyenkor a vizsgálatot a frekvencia és hőmérséklet sópréssel kell elvégezni (Hofko, 2011). A keresett anyagparamétereket az alkalmazott terhelés (akció) és a bekövetkező anyagreakció (pl. alakváltozás) alapján kapjuk meg (Di Benedetto et. al, 2001). A különböző, feszültséget és alakváltozást is tartalmazó vizsgálatoktól eltérően (például EN 12697-26 szerinti közvetlen húzásvizsgálat), ahol – mivel feszültségátadás történik – a próbatest és a terhelő lemezek között erős kapcsolat szükséges, a CCT esetén két lehetőség áll rendelkezésre. Egyik (a) a próbatestek terhelő lemezekhez való ragasztásával a történhet, amely erős kapcsolatot eredményez. Ez megakadályozza a keresztirányú feszültségek kialakulását a próbatest határoló síkjain és azok közelében. A másik (b) módszer, mellyel még homogénebb feszültségeloszlás érhető el, amikor a próbatest és a terhelő lemezek között nincsen erős kapcsolat. Ekkor súrlódáscsökkentő szerek alkalmazásával (pl. szilikon zsír) segítik elő a feszültség homogén eloszlását a próbatest határoló síkjain. Jelen kutatásban azt vizsgáljuk, a két módszer közötti eltérés, azaz a próbatest és a terhelő lemezek közötti kapcsolat hatással van-e a melegaszfalt keverékek viszkoelasztikus tartományában mért anyagjellemzőkre. A vizsgálati eredmények regresszió-analízisére használt, a rezgés első harmonikusát is tartalmazó egyenlet felhasználható a torzult szinuszos jelek elemzésére, ezáltal a berendezések és érzékelők fizikai korlátainak felfedésére.

## 2. Anyagok és a vizsgálati terv

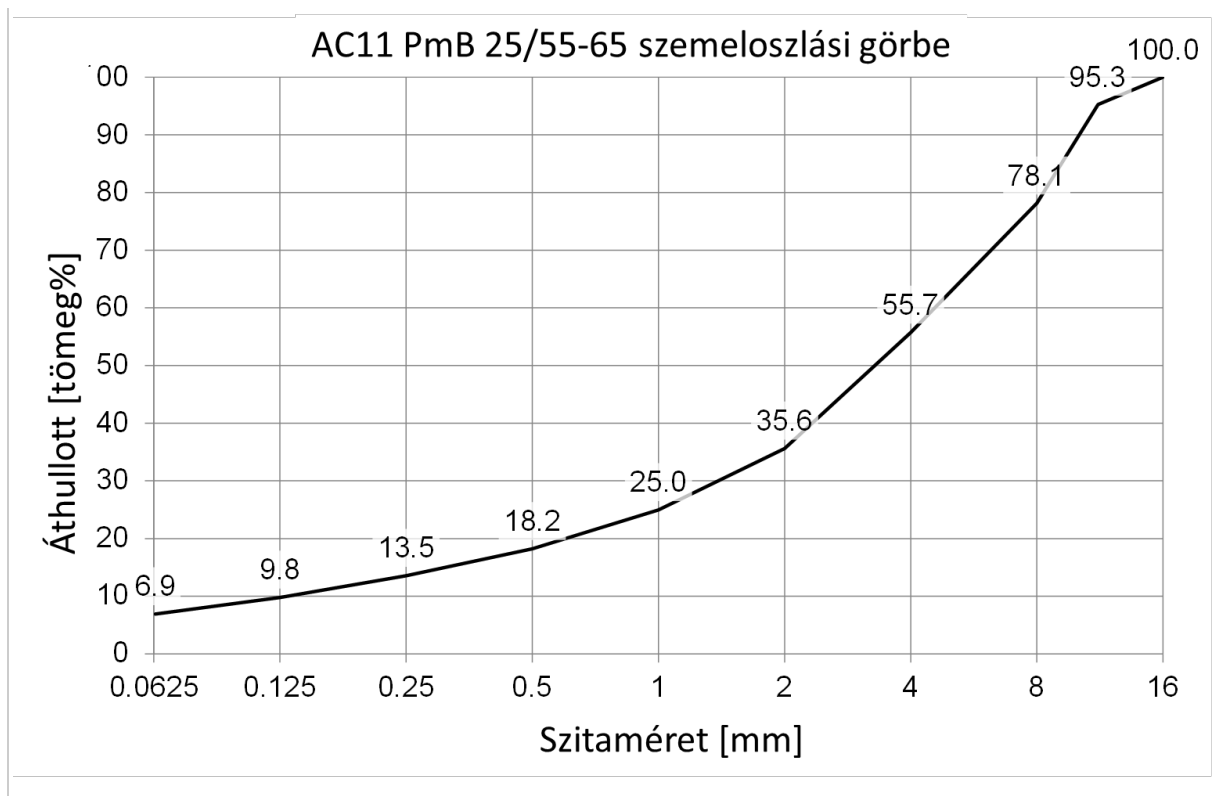
### 2.1. Anyagok és próbatestek

A bemutatott kutatáshoz 11 mm névleges szemcse nagyságú aszfaltbeton keveréket (AC11) használtunk, mely zúzott kőanyagból, mészkőliszt töltőanyagból, valamint SBS modifikált, PmB 25/55-65 kötőanyagból állt. A kötőanyag fő jellemzőit az *1. táblázat* tartalmazza. Az optimális kötőanyag-tartalom 5,3 m% volt. Az *1. ábra* a keverék szemeloszlását mutatja.

<b>Paraméter</b>	<b>Érték</b>
<b>Penetráció 25°C-on</b>	46,0 $\frac{1}{10}$ mm
<b>Gyűrűs-golyós lágypont</b>	73,0 °C
<b>SHRP szerinti teljesítményfokozat</b>	>82-16

**1. táblázat**

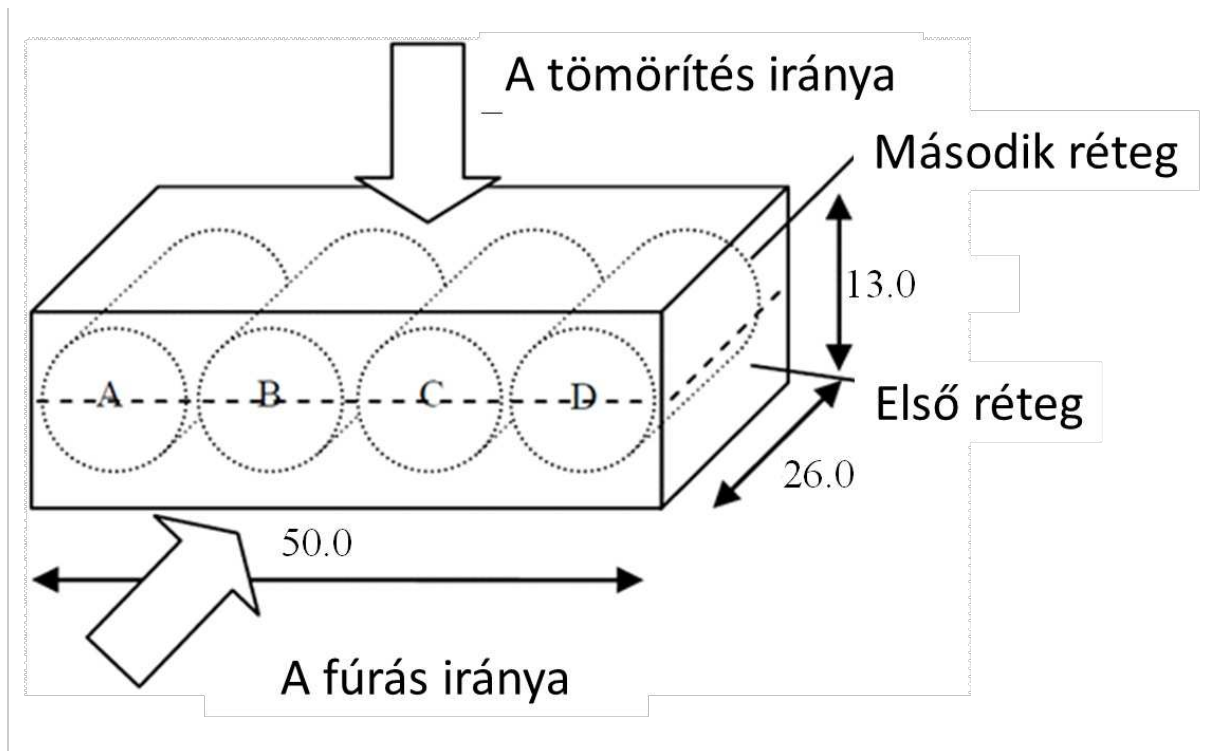
A PmB 25/55-65 kötőanyag jellemzői



**1. ábra**  
Az AC 11 keverék szemeloszlása

Az aszfaltkeveréket irányváltós kényszerkeverővel készítettük el. A forró bitumen hozzáadását az előmelegített adalékanyagok és töltőanyag 1 perces keverése előzte meg. A kötőanyag hozzáadása után további három perces keverés következett. Ezután hengeres szegmenstömörítő berendezéssel 500 x 260 mm alapterületű, 130 mm magas lapok készültek. Az egyrétegű tömörítés során a próbatestben fellépő sűrűség egyenlőtlen eloszlásának elkerülése érdekében a lapok két rétegben készültek (Hoeflinger, 2006). Szintén Hoeflinger szerint, a próbatestekben lévő két réteg jelenléte nem befolyásolja az eredményeket az egy rétegben gyártott, homogén lapokból vágott próbatestekhez képest.

Minden lapból négy darab 100 mm átmérőjű hengeres próbatest került kifűrésra. A fűrt próbatesteket ezután 200 mm magasságúra fűrészelték. A 2. ábra a szegmens lapokat és a belőlük fűrt próbatestek elhelyezkedését mutatja.



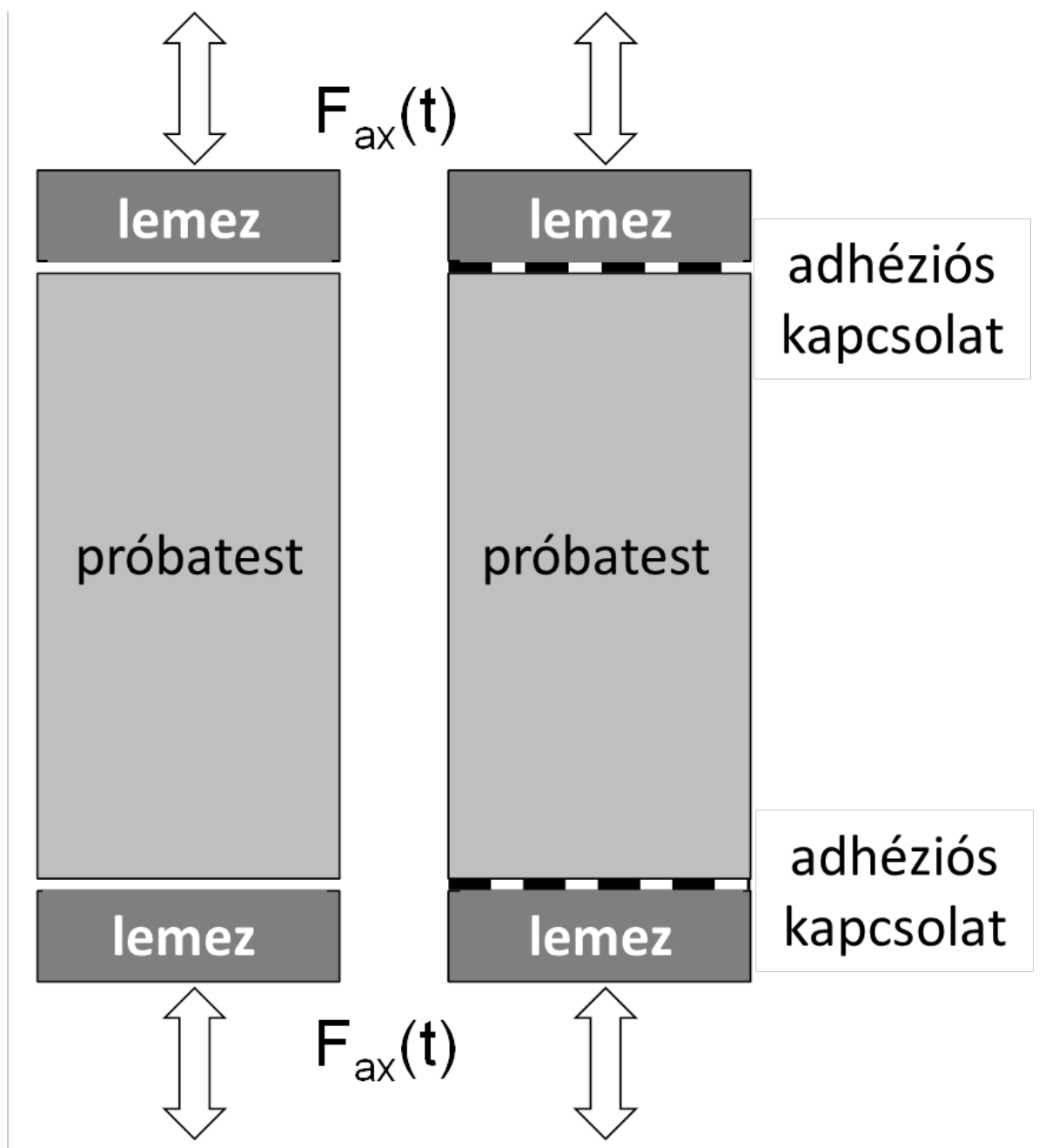
**2. ábra**

*A hengeres próbatestek elhelyezkedése a lap-próbatestekben*

## 2.2. Vizsgálati összeállítás és kísérleti terv

A próbatest és a terhelő lemezek közötti kapcsolatot, valamint a mért viszkoelasztikus anyagjellemzőkre gyakorolt hatásának két különböző vizsgálati elrendezést alkalmaztunk. A 3. ábra bal oldala a standard CCT vizsgálatot mutatja, melyben nincs teljes kapcsolat a próbatest és a terhelő lemezek között. Itt a próbatest határoló lapjaira felvitt szilikon zsír csökkenti a súrlódást, emiatt a próbatest végeinél egyenletes eloszlású, keresztirányú alakváltozás jön létre. Az ábra jobb oldalán a terhelő lemezekhez kétkomponensű ragasztóval rögzített próbatest látható. Ebben az esetben a próbatest felületén nem jön létre keresztirányú alakváltozás.





**3. ábra**

A CCT vizsgálatok során alkalmazott két vizsgálati elrendezés

Mindkét elrendezés alkalmazásával négy-négy próbatestet vizsgáltunk. A próbatestek adatait a 2. táblázat tartalmazza. A kutatás előkészítése során előzetes CCT vizsgálatok történtek több hőmérsékleten (10°C, 30°C, 50°C) és több feszültség szinten a próbatestek lineáris viszkoelasztikus tartományának azonosítása érdekében. Airey szerint melegaszfaltok esetében 10-4, vagy annál kisebb megnyúlást előidézve az anyag biztosan a lineáris viszkoelasztikus tartományban marad (Airey et. al, 2003). Az előzetes vizsgálatok eredményei alapján látható, hogy a 30°C hőmérsékleten, 0,25 N/mm<sup>2</sup> átlagos nagyságú és 0,15 N/mm<sup>2</sup> amplitúdójú tengelyirányú feszültség esetén a próbatestekben legfeljebb 10-4 alakváltozás keletkezik, így a próbatest a lineáris viszkoelasztikus tartományban marad. A frekvencia söpréssel a 0,1 – 10 Hz frekvenciatartományban végzett vizsgálatok ciklusszámait és eredményeit a 3. táblázat tartalmazza.

<b>Próbatest jele</b>	<b>Hézagtartalom [% (v/v)]</b>	<b>Ragasztott / Nem ragasztott</b>
T404C	6,4	<b>Nem ragasztott</b>
T406E	5,5	
T406G	5,0	

T406H	7,0	<b>Ragasztott</b>
T404A	3,8	
T405C	3,5	
T406A	5,2	
T406B	3,5	

**2. táblázat**  
A próbatetek jellemzői

<b>Frekvencia</b>	0,1	0,5	1,0	3,0	5,0	10,0
<b>Terhelési ciklusszám</b>	20	50	100	100	200	200

**3. táblázat**  
A CCT vizsgálatok során alkalmazott ciklusszámok frekvenciánként

A függőleges alakváltozást a felső terhelő lemezen elhelyezett két LVDT elmozdulásmérő rögzítette. Az adatfeldolgozáshoz a két adó jelének átlagát használtuk. A radiális összenyomódást a próbatetek felszínén elhelyezett nyúlásmérő bélyegek mérték. A 150 mm aktív hosszúságú bélyegeket a próbatest magasságának felében, körmentén helyeztük el.

Annak érdekében, hogy a CCT vizsgálatok eredményei egy elfogadott, szabványos merevségvizsgálat (EN 12697-26:2004) eredményeivel összehasonlíthatóak legyenek, az ugyanazon keverékből gyártott négy próbatestet négy pontos hajlítóvizsgálatnak vetettük alá. A vizsgálatok 30°C-on, 0,1-10 Hz közötti frekvenciatartományban történtek. A vizsgálatok során 35 µm/m megnyúlást állítottunk be. A vizsgálati próbatetek jellemzőit a 4. táblázat tartalmazza.

<b>Próbatest jele</b>	<b>Hézagtartalom [% (v/v)]</b>
E454A	4,3
E454B	4,6
E454D	3,9
E454F	4,0

**4. táblázat**  
A négy pontos hajlítóvizsgálat során használt próbatetek jellemzői

### 3. Az adatok kiértékelése

Az erő- és elmozdulásmérők jeleit regresszió-analízissel vizsgáltuk az alábbi függvények szerint (1) (2):

$$f(t) = a_1 + a_2 * \sin(2\pi * f * t + a_3) + a_4 * t$$

$$f(t) = a_1 + a_2 * \sin(2\pi * f * t + a_3) + a_4 * t + a_5 * \sin(4\pi * f * t + a_6)$$

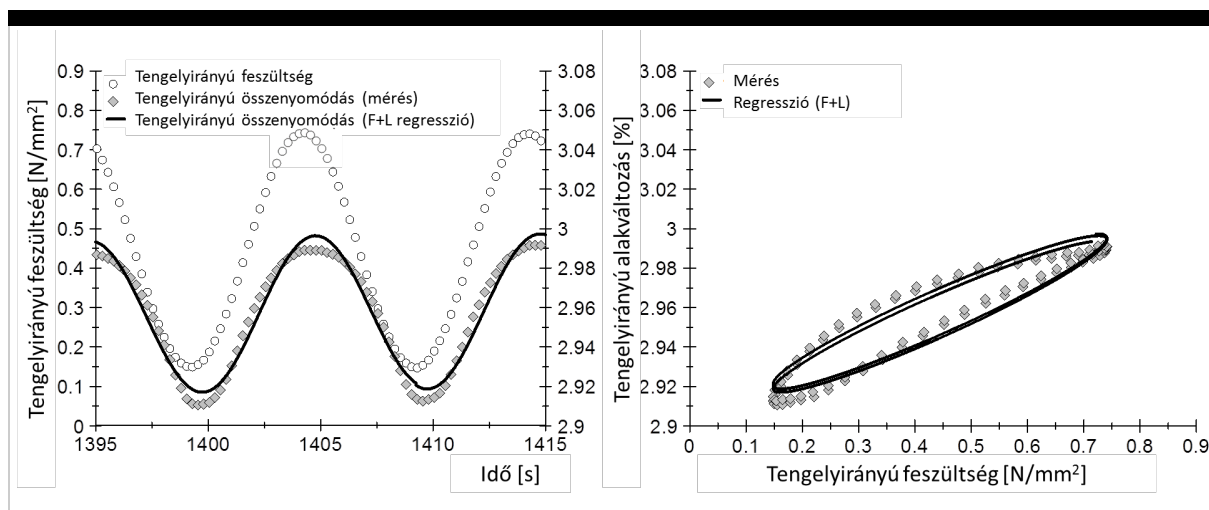
ahol,

- a<sub>1</sub> - az alaprezgés eltolása,
- a<sub>2</sub> - az alaprezgés amplitúdója,
- a<sub>3</sub> - az alaprezgés fázisszöge,
- a<sub>4</sub> - a lineáris tag meredeksége,

- $a_5$  - az első harmonikus amplitúdója,
- $a_6$  - az első harmonikus fázisszöge,
- $f$  - a rezgés frekvenciája,
- $t$  - az idő,

Az (1) egyenletet a továbbiakban  $F+L$ -el jelöljük, tekintve két tagját, egy alaprezgés (F) és egy lineáris szakasz (L) egyenletét. A (2) egyenletet  $F+L+1H$ -val jelöljük, mivel az előzők mellett a rezgés első harmonikusát (1H) is tartalmazza. Az elemzés megkönnyítése érdekében az adatokból 3 terhelési ciklusból álló adatszoportokat képeztek, melyek megfelelő alapként szolgálnak a regresszió analízishez. Ezután elvégezték a regresszió analízist. Az összetettebb,  $F+L+1H$  egyenlet alkalmazásával, az első harmonikus paramétereinek köszönhetően a szinuszos jel torzultsága matematikailag vizsgálható. A CCT vizsgálat során mért tengelyirányú alakváltozás Kápl [6] szerint nem írható le az egyszerű  $F+L$  (1) regressziós egyenlettel. A 4. ábra a CCT eredmények  $F+L$  egyenlettel való közelítését ábrázolja. A baloldal a tengelyirányú feszültség ( $\sigma_{ax}$ ) és alakváltozás ( $\epsilon_{ax}$ ) alakulását mutatja két periódus hosszon az idő függvényében, illetve az  $\epsilon_{ax}$  függvény regressziós közelítését.

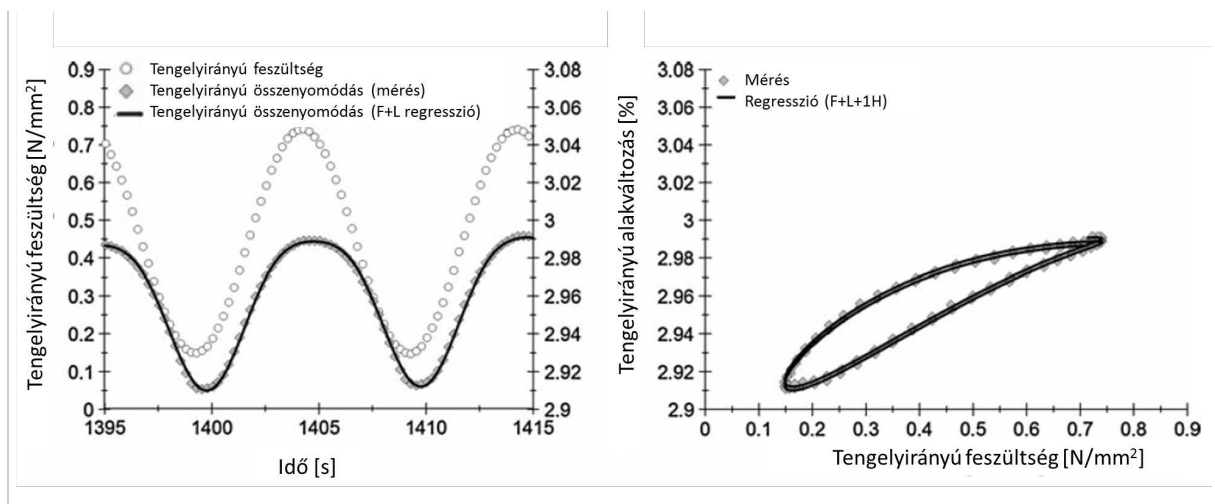
Részletesebben vizsgálva látható, hogy az egyszerű szinuszos és lineáris részből álló egyenlet nem írja le megfelelően a CCT vizsgálat során mérhető deformációt.



4. ábra

Példa CCT vizsgálati eredményre: a tengelyirányú feszültség és alakváltozás, valamint az adatok matematikai közelítése (a) az idő függvényében; (b) feszültség-alakváltozás koordináta-rendszerben

A közelítés függvényének a terhelés maximumánál mért alakváltozás görbéje szélesebb és laposabb, míg a legkisebb terhelésnél az alakváltozás keskenyebb és magasabb a csúcspontja. Az ábra jobb oldala ugyanannak a mérésnek a feszültség-alakváltozás ábráját mutatja. Az ábrán jobban látható, hogy a mérési adatok jobban eltérnek az  $F+L$  közelítéstől, vagyis hogy az összefüggés nem képes kielégítő pontossággal leírni a mért adatokat. Az adatsorok, különösen a terhelési és tehermentesítési fázisban, torzulást mutatnak a szinuszos közelítéshez viszonyítva. Erre az esetre Kápl bevezetett egy összetettebb közelítő függvényt a CCT vizsgálatok esetére, az  $F+L+1H$  alakú regressziós függvényt. Az eredetihez egy második szinuszos tagot adott hozzá, mely a rezgés első harmonikusát képviseli, és az alaprezgés frekvenciájának kétszeresére vonatkozik. Az 5. ábra a 4. ábra adataira illesztett  $F+L+1H$  alakú közelítést mutatja. A függvények összevetése alapján megállapítható, hogy az összetett függvénnyel a mért adatok jobban közelíthetők, mint az egyszerű szinuszos egyenlettel. Ez egyaránt igaz a szélsőértékekre és a terhelési illetve tehermentesítési szakaszokra. Az  $F+L+1H$  megközelítés a torzult szinuszos jelekre is alkalmazható.



**5. ábra**

Példa CCT vizsgálati eredményre: a tengelyirányú feszültség és alakváltozás, valamint az adatok matematikai közelítése (a) az idő függvényében; (b) feszültség-alakváltozás koordináta-rendszerben

Az összetett közelítő függvényt torzult szinuszhullámok esetén a torzulás mértékének és alakjának leírására használták (Kappl, 2007). A regressziós függvény alakját, szélsőértékeit és meredekségeit az első harmonikus és az alaprezgés aránya, valamint az első harmonikus és az alaprezgés közötti eltolási tényező is befolyásolja. Az amplitúdó arány (AR) a 3. egyenlet szerint:

$$AR = \frac{a_5}{a_2}$$

ahol,

AR - az első harmonikus és az alaprezgés aránya [-]

valamint a két szinuszos tag közötti shift-faktor:

$$\gamma = a_6 - a_3$$

ahol,

$\gamma$  - az első harmonikus és az alaprezgés közötti shift faktor [°]

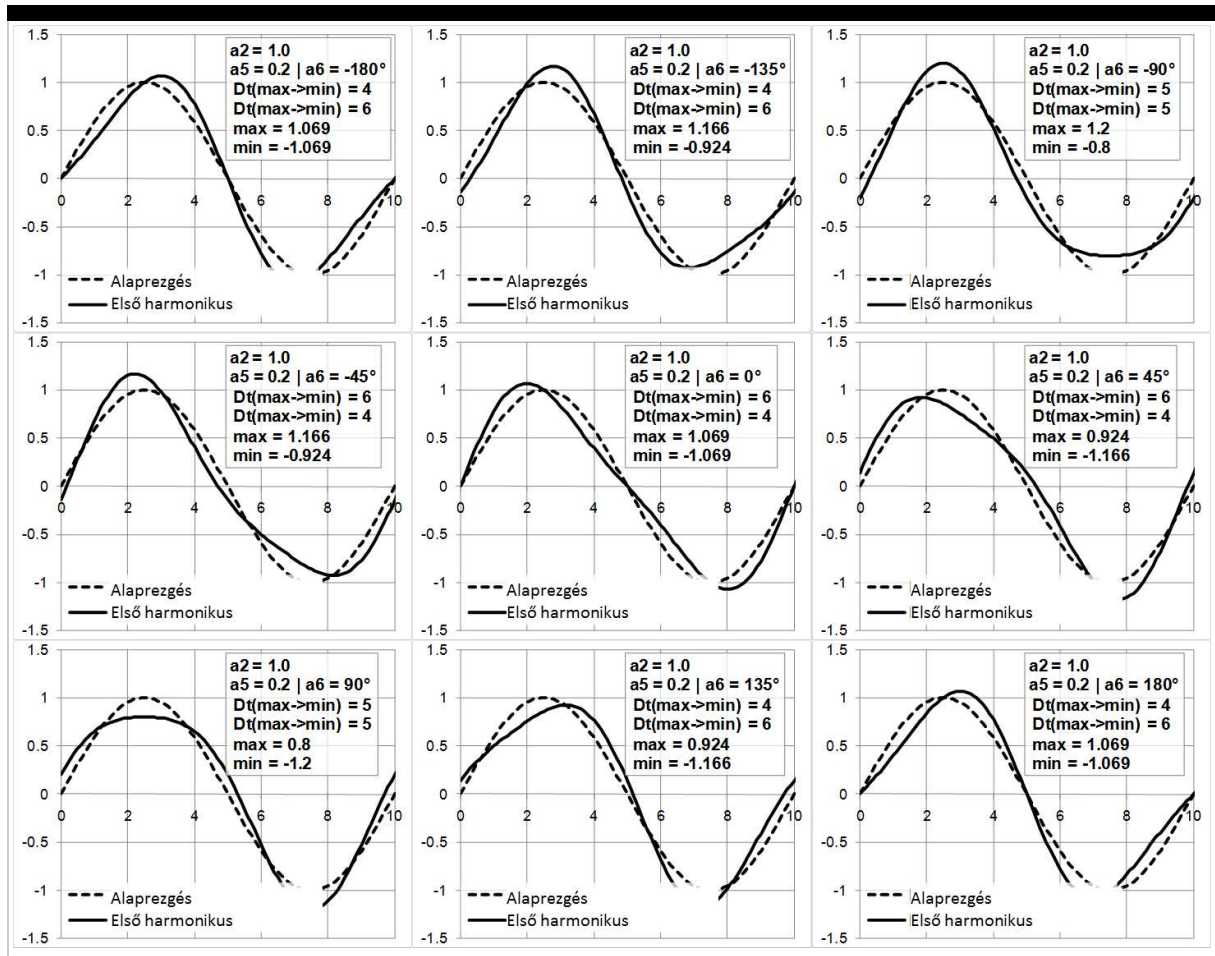
Az első harmonikus hatása az alábbi elméleti példában adott paraméterek alapján illusztrálható. Az eltolás ( $a_1$ ), az alaprezgés fázisszöge ( $a_3$ ) és a lineáris tag ( $a_4$ ) értéke legyen zérus. Az alaprezgés amplitúdója ( $a_2$ ) legyen 1,  $a_5$  pedig egyenlő az AR amplitúdó aránnyal a 3. egyenlet szerint, ami 0,2. Az első harmonikus fázisszöge a ( $a_6$ )  $-180^\circ - 180^\circ$  közötti tartományban mozog a paraméter hatásának szemléltetése érdekében. A vizsgálati eredmények javarészt ebben a tartományban mozognak. Mivel  $a_3$  zérus,  $a_6$  egyenlő a két szinuszos tag közötti shift-faktoral, a 4. egyenlet szerint. Az  $f$  frekvencia 0,1 Hz. A paramétereket az 5. táblázat foglalja össze.

Paraméterek	Értékek	Részletek
$a_1$	0	Eltolás
$a_2$	1	Az alaprezgés
$a_3$	0	Az alaprezgés fázisszöge
$a_4$	0	A lineáris tag meredeksége
$a_5 = AR$	0,2	Az első harmonikus amplitúdója

$a_6 = \gamma$	$-180^\circ - 180^\circ$	Az első harmonikus fázisszöge
f	0,1 Hz	Frekvencia

5. táblázat

Az összetett  $F+L+1H$  függvény vizsgálatához kiválasztott bemeneti adatok



6. ábra

A shift faktor változása az első harmonikus és az alaprezgés között.  $a_6 = -180^\circ$  (bal felső) és  $+180^\circ$  között (jobb alsó)

A 6. ábra kilenc esetet mutat, melyekben a  $\gamma$  shift-faktor az alaprezgés és az első harmonikus között szisztematikusan változik. A bal felső ábrán  $\gamma$  értéke  $180^\circ$ , mely ábránként  $45^\circ$ -kal nő, míg a jobb alsó ábrán végül a  $+180^\circ$ . A közelítést az egyszerű szinuszos közelítéshez viszonyítva az alábbi megállapítások tehetőek. A  $-180^\circ$ -os shift faktor értéknél az első harmonikus hatása domináns a terhelési és tehermentesítési fázisban, és a szélsőérték alakja nem változik. A  $-180^\circ$  és  $-90^\circ$  közötti tartományban az első harmonikus hatása a másik szélsőérték felé tolódik el. A  $-90^\circ$  értéknél a szélsőérték környéke egyértelműen deformálódik. A függvény alakját tekintve elmondható, hogy az első harmonikus tag hatása a szinuszgörbe deformációjára folyamatos,  $90^\circ$ -onkénti váltásokkal.

Világos tehát, hogy a fejlettebb összefüggés felhasználható adott szinusz görbe alakjának gyors vizsgálatára az AR és  $\gamma$  paraméterek felhasználásával. Az AR a torzulás mértékét (mennyiségét) mutatja, míg a  $\gamma$  shift faktor a torzulás módját (minőségét) jellemzi.

#### 4. Az eredmények értékelése

A próbatest és a terhelő lemezek közötti kapcsolat viskoelasztikus anyagjellemzőkre gyakorolt hatásának vizsgálatára mérésorozatot végeztünk a két vizsgálati elrendezés alkalmazásával, melyeket az alábbiakban összehasonlítottunk. A mérési adatokra vonatkozóan regresszió analízist végeztünk  $F+L$  és  $F+L+1H$  alakú függvényekkel. A továbbiakban bemutatott diagramokon a folytonos vonal a „nem-ragasztott”, a szaggatott

vonal a „ragasztott” elrendezés eredményeit mutatja, míg a vastag vonal a kettő átlagát. Az átlagértékek a két elrendezésben vizsgált 4-4 próbatést egyes frekvencián mért adataiból származnak. Az átlagértékkel párhuzamos vékony vonalak a 95%-os konfidencia intervallumhoz tartozó értékeket jelölik.

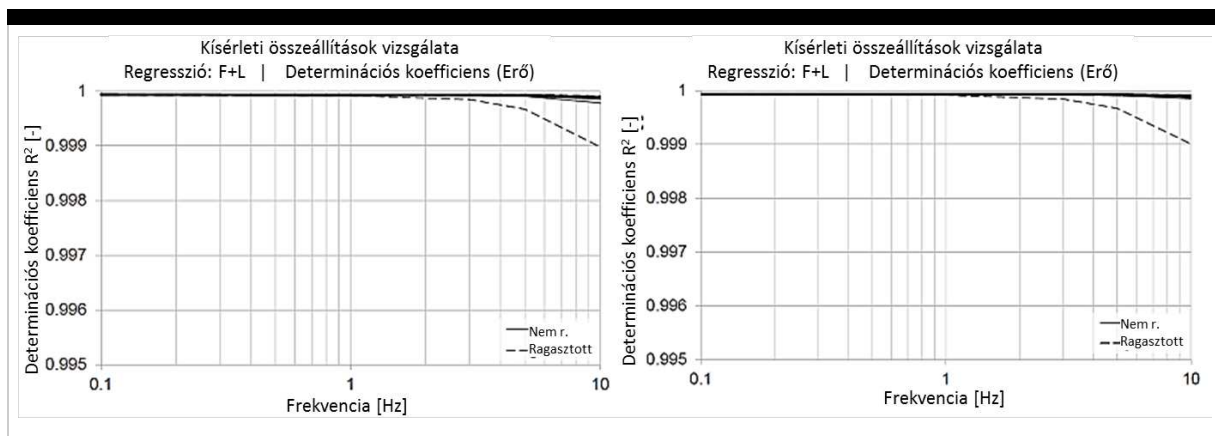
Az elemzés az erőmérők jelének vizsgálatával kezdődik. Mivel a vizsgálatokat erővezérelt módban végeztük, a jel elemzése a berendezés vezérlésének minőségéről ad információt, vagyis arról, hogy a műszer a szinuszos terhelést milyen pontosan képes létrehozni.

A következő lépés az elmozdulásmérők jelének vizsgálata. Érdekes látni, hogy az anyag reakciójának függvénye mennyire tükrözi a szinuszos terhelést az összenyomódási fázisban, illetve hogy van-e különbség a ragasztott és a nem ragasztott elrendezés közötti esetekben. A vizsgálat lezárásaként az adatokból számolt paramétereket (merevség és fázisszög) elemezzük mindkét elrendezés esetén a lineáris viskoelasztikus tartományban. Az így kapott CCT eredményeket összehasonlítjuk a négyponos hajlításvizsgálattal kapott merevség értékekkel.

#### 4.1. Az erőmérők jelének vizsgálata

Az alábbiakban az erőmérők ragasztott és nem-ragasztott vizsgálati elrendezés során rögzített jelének részletes elemzését mutatjuk be. A 7. *ábra* bal oldala az erőmérők jelének F+L alakú egyenlettel való közelítésének korrelációs együtthatóját mutatja a frekvencia függvényében, a két elrendezés esetében. Egyértelműen látható, hogy az illeszkedés a két elrendezés esetében megegyezik és a regresszió korrelációs együtthatója igen magas, 0,999 fölötti. Ez a magas korreláció azt mutatja, hogy a berendezés megbízhatóan működik a vizsgált tartományban egészen 10 Hz-ig, és a két elrendezés között nincs különbség.

A 7. *ábra* jobb oldala ugyanezt mutatja az F+L+1H alakú közelítés esetében. Hasonlóképpen a bal oldali ábrához, látható, hogy a két elrendezés között nincs különbség, valamint hogy a közelítés igen erős regressziós együtthatóval jellemezhető.



7. *ábra*

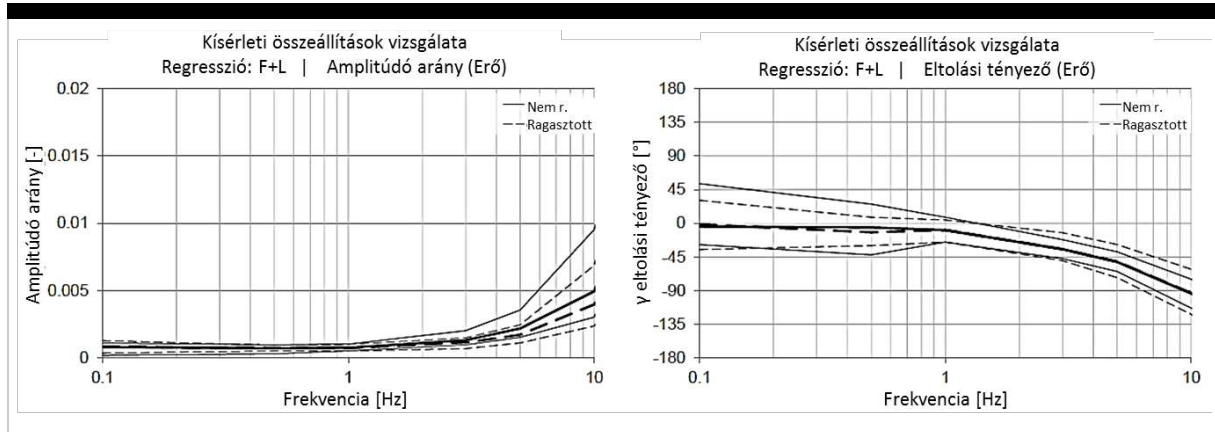
A determinációs együttható ( $R^2$ ) középértékei és 95%-os konfidencia intervalluma a ragasztott és nem ragasztott összeállítások erőmérővel mért adatai esetén. (a) F+L függvény, (b) F+L+1H függvény

Az, hogy az erő szinuszos függvényének alakja változik-e a frekvencia függvényében vagy a kétféle vizsgálati elrendezés között eltérő-e, az első harmonikus és az alaprezgés közötti AR amplitúdó arány és a  $\gamma$  shift faktor felhasználásával vizsgálható. E kettő több információt nyújt a korrelációs együtthatónál, hiszen együtt az eltérés minőségét és mennyiségét is leírják.

Az eredményeket a 8. *ábra* mutatja. Az *ábra* bal oldalán lévő amplitúdó arány diagramját tekintve látható, hogy lényegében nincs torzulás, hiszen AR értéke az alacsonyabb frekvenciák esetén is 1‰ alatt van. Habár a frekvencia növekedésével AR értéke nő, értéke mindvégig alacsony marad, még 10 Hz frekvencia esetén is csak 5‰ körüli, azaz a berendezés szinte torzulásmentes szinuszos terhelést ad le. Az AR frekvenciával növekvő tendenciája azonban azt jelzi, hogy a berendezés magas frekvenciákon nehezebben irányítja a terhelő egységet. A 95% konfidencia intervallumon számított AR érték alapján megállapítható, hogy a két elrendezés között nincs jelentős különbség, habár a nem-ragasztott beállítás esetében AR átlagértéke mintegy 20% magasabb, mint ragasztott elrendezés esetén.

A jobb oldali diagram a shift faktor értékeit mutatja. Hasonlóképpen az előzőekhez a két elrendezés a  $\gamma$  értékét tekintve sem tér el egymástól. Az eltérés alacsony frekvenciák esetén magas, de az alacsony AR arány miatt ez

nem befolyásolja az erő becslését. A 10 Hz-en mért fázisszög  $-100^\circ$  körüli, de az AR arány kis értéke miatt ez sem befolyásolja számottevően az erő szinuszos leadását.



**8. ábra**

Az erőmérők jelének jellemzése (a) AR, (b)  $\gamma$  alapján. Középértékek és a 95%-os konfidencia intervallumhoz tartozó értékek ragasztott és nem-ragasztott összeállítás esetén,  $30^\circ\text{C}$ -on

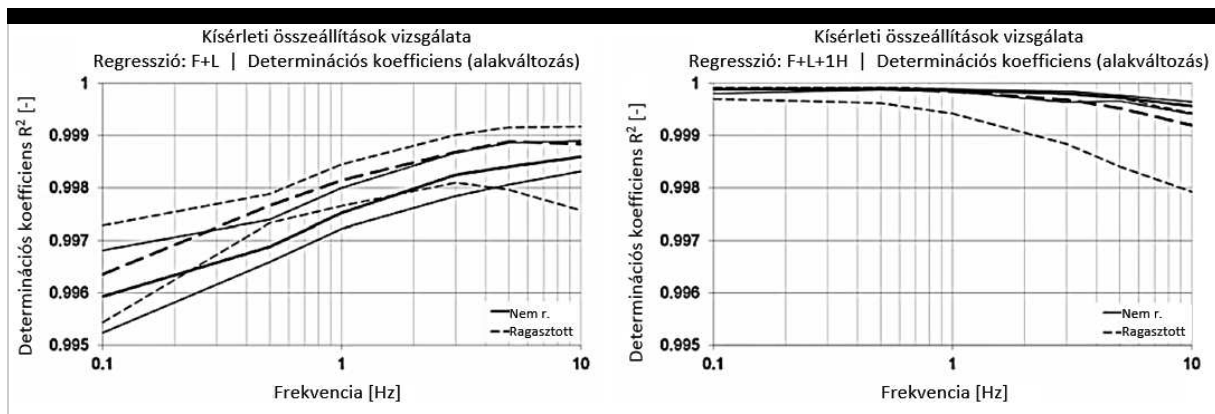
A bemutatottak alapján kijelenthető, hogy a terhelő rezgés alakját tekintve a berendezés megfelelő szinuszos jelet ad le. Az eredmények alapján szintén belátható, hogy a próbatest ragasztott, vagy nem-ragasztott volta nem befolyásolja számottevően az erő szinuszos alakját.

#### 4.2. Az elmozdulásmérők jelének vizsgálata

A 9. ábra a tengelyirányú elmozdulásmérők jelét mutatja a két elrendezés esetén. Az ábra bal oldala az alap  $F+L$  függvénnyel való közelítés korrelációs együtthatóját mutatja. Látható, hogy mindkét elrendezés igen jól ( $R^2 > 0,995$ ) közelít a teljes vizsgált frekvencia tartományban. Az eltérés mindkét esetben hasonló.

Az adatok azt mutatják, hogy az egyszerű szinuszfüggvénnyel jobban közelíthető a deformáció magasabb frekvenciák esetén, 3 Hz-től kezdve a korrelációs tényező értéke 0,998 körüli vagy a fölötti. Alacsonyabb frekvenciák esetén, amikor az anyag viszkózus viselkedése még domináns, az egyszerű függvény gyengébben, de még elfogadható szinten írja le annak viselkedését.

A 9. ábra jobb oldala az  $F+L+1H$  függvénnyel való közelítés esetén kapott korrelációs együttható mutatja a két vizsgálati elrendezés esetén. Az egyszerűbb függvényhez képest a regresszió mindkét esetben számottevően erősebb. A nem-ragasztott vizsgálatok esetén az  $R^2$  0,999 fölötti a teljes vizsgált frekvenciatartományban, alacsony szórással. Az illeszkedések közötti különbség különösen alacsony frekvenciák esetében látható, amikor a viszkózus anyagviselkedés dominánsabb.



**9. ábra**

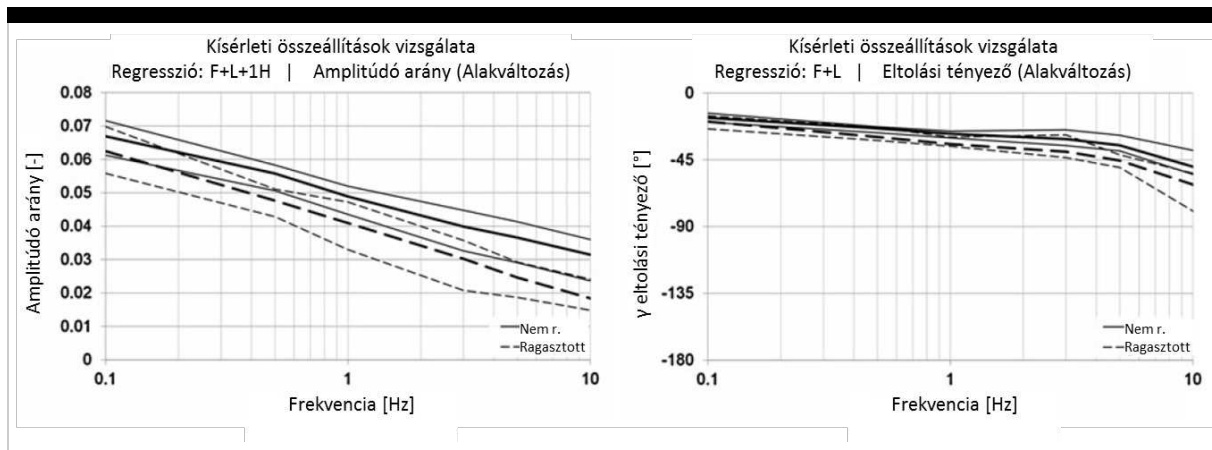
Az elmozdulásmérők jelének közelítése (a)  $F+L$ , (b)  $F+L+1H$  alakú függvénnyel. A determinációs koefficiens középértéke és 95%-os konfidencia intervallumhoz tartozó értéke a ragasztott és nem-ragasztott összeállítások esetén,  $30^\circ\text{C}$ -on



A 10. ábra az AR amplitúdó arányt és a  $\gamma$  eltolási tényezőt mutatja a tengelyirányban elhelyezett elmozdulásmérők jeleinek esetében. Az AR és a vizsgálati frekvencia között egyértelmű kapcsolat figyelhető meg. Minél magasabb a frekvencia, azaz minél dominánsabb a rugalmas viselkedés, annál alacsonyabb az első harmonikus részaránya. A vizsgálatok adatai 0,1 Hz környékén kezdődnek, ahol a nem-ragasztott összeállítás esetében az AR értékek 6,2-7,1%, míg a ragasztott esetben 5,5-7,0% közöttiek. A frekvencia növekedésével az arány a ragasztott összeállítás esetében gyorsabban csökken, 10 Hz-nél 1,4-2,4% közötti, míg a nem-ragasztott összeállításnál az amplitúdó arány értéke 10 Hz-nél 2,4-3,6% közötti. A középértékeket tekintve az AR nem-ragasztott esetben 0,1 Hz frekvencián 7%-al, míg 10 Hz-nél már 42%-kal nagyobb a ragasztott összeállításhoz képest. Ez azt is jelenti, hogy a frekvencia növekedésével az első harmonikus hatása csökken, ami összhangban van az egyszerű függvény determinációs együtthatójának 8. ábrán bemutatott adataival.

A függvények illeszkedésének minősége az  $F+L$  függvény esetében a frekvencia növekedésével javul. Ez érthető, hiszen magasabb frekvenciákon az első harmonikus dominanciája egyre inkább csökken. A teljes vizsgált frekvencia-tartományt tekintve a ragasztott összeállítás esetén az AR értéke alacsonyabb, ami azt mutatja, hogy a ragasztott próbatestek alakváltozása jobban követi a szinuszos terhelést, mint a nem-ragasztottaké.

A 10. ábra jobb oldala a  $\gamma$  eltolási tényező adatait szemlélteti, mely középértékét tekintve 0,1 Hz-en  $-17^\circ$  a nem-ragasztott, míg  $-19^\circ$  a ragasztott összeállítás esetén. Ez azt jelzi, hogy a terhelés fázisában a közelítés meredekebben nő, a tehermentesítés fázisában pedig laposabban csökken. 5 Hz vizsgálati frekvenciáig az eltolási tényező értéke  $-45^\circ$  fölött marad. Hasonlóképpen, az AR értéke csökken, ami a terhelés és tehermentesítés fázisa közötti egyre csökkenő gradienst jelzi. Amikor a frekvencia 10 Hz, a  $\gamma$  értéke a ragasztott összeállításnál a  $-60^\circ$ -ot, a nem-ragasztott összeállítás esetében pedig a  $-50^\circ$ -ot is meghaladja. Az egyre csökkenő amplitúdó aránnyal együtt az alakváltozás függvényének torzulása egyre kevésbé domináns. A fejezetben megmutattuk, hogy a deformáció alakja a magasabb rendű  $F+L+1H$  alakú közelítéssel jobban leírható, mint az alap  $F+L$  függvény szerinti közelítéssel. Ez különösen alacsony, 3 Hz alatti frekvenciák esetében igaz. A ragasztott esetben kissé jobb közelítés érhető el az alapfüggvénnyel, ezért arra következtethetünk, hogy a ragasztott próbatestek kevésbé zavart szinuszfüggvény szerinti deformációval reagálnak a szinuszos terhelésre. E feltevést az első harmonikus és az alaprezgés közötti AR igazolja, mely a ragasztott esetekben szintén magasabb a teljes frekvenciatartományban.



**10. ábra**

*Az elmozdulásmérők jeleinek jellemzése (a) AR, (b)  $\gamma$  alapján. Középérték és 95% konfidencia intervallumhoz tartozó értékek ragasztott és nem-ragasztott összeállítás és négy pontos hajlítóvizsgálat esetén,  $30^\circ\text{C}$ -on*

### 4.3. Az anyagjellemzők vizsgálata a lineáris viszkoelasztikus tartományban

Az előzőekben az erő- és elmozdulásmérők jeleinek elemzését mutattuk be. Érdekes kérdés, hogy a vizsgálati elrendezés befolyásolja-e a származtatott jellemzőket, és ha igen, hogyan. Szintén fontos elemezni, összehasonlíthatóak-e a lineáris viszkoelasztikus tartományban elvégzett CCT vizsgálatok alapján számított anyagparaméterek és egy jól megalapozott merevségvizsgálat eredményei.

Ennek megállapítása érdekében – ugyanazon keverékből gyártott négy próbatesten – négy pontos hajlítással (4PBB) merevségvizsgálatokat végeztünk el az EN 12697-26:2004 szerint. A 4PBB vizsgálatok eredményeit a

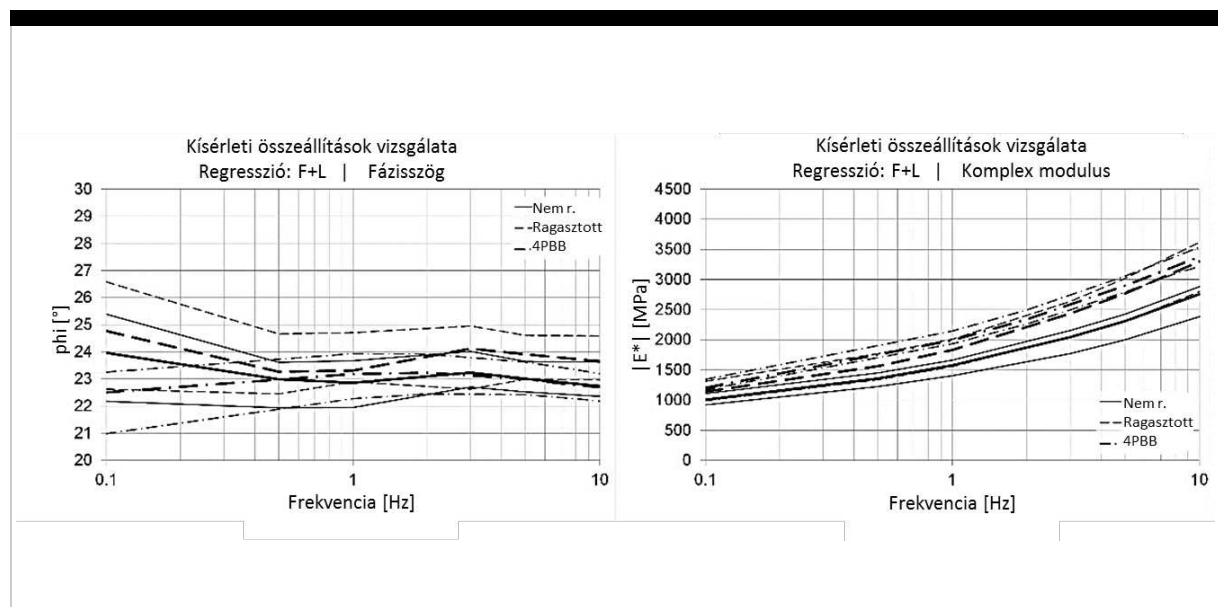


diagramokon pontvonallal jelöltük. Az előzőekhez hasonlóan vastag vonal jelzi a vizsgált próbatestek középértékeit, míg a párhuzamos vékony vonalak a 95%-os konfidencia intervallumhoz tartozó értékeket mutatják.

A 11. ábra bal oldala a fázisszöget ( $\varphi_{ax,ax}$ ) mutatja a tengelyirányú terhelés és alakváltozás között az F+L alakú függvény alkalmazása esetén, valamint a 4PBB vizsgálati eredményekből számított  $\varphi$  fázisszöget. A két CCT vizsgálati összeállítás fázisszöge közötti eltérés nem jelentős, értéke a teljes frekvencia-tartományban  $1^\circ$ -nál kisebb. A CCT és 4PBB vizsgálatokból számított fázisszög-különbség maximuma a ragasztott összeállítás esetén 0,1 Hz-nél található. A középértékek között 2,2° eltérés tapasztalható, de a 95%-os konfidencia intervallum határai a két esetben egybevágnak még 0,1 Hz frekvencia esetén is. Következésképpen a különbség elhanyagolhatóan tekinthető.

A 11. ábra jobb oldala az  $|E^*|$  komplex modulus értékét mutatja mindkét CCT összeállítás, valamint a 4PBB esetében. Az adatok elemzése előtt megjegyzendő, hogy a vizsgált próbatestek térfogatjellemzői lényegesen különböznek. A próbatestek hézagtartalmának középértéke a nem-ragasztott összeállítás esetében 6,0 tf%, míg a ragasztott összeállításnál 4,0 tf% (2. és 4. táblázat). A négyponthoz hajlítással vizsgált próbatestek hézagtartalma 4,2 tf%, így az eredmények inkább a ragasztott vizsgálatokkal vethetők össze, ugyanis Hofko és Blab kutatásában megmutatta, hogy a komplex modulus tekintve a hézagtartalomnak jelentős hatása van a merevségre (Hofko & Blab, 2012). Ennek mértéke magas (10 Hz) frekvenciák esetén az alacsonyabbakhoz képest (0,1 Hz) mintegy négyszeres. Hasonló arány látható a komplex modulus vizsgálva a CCT vizsgálatok esetében. A ragasztott (magasabb hézagtartalmú) és nem-ragasztott (alacsonyabb hézagtartalmú) összeállítások esetében mért komplex modulusok közötti különbség 0,1 Hz frekvencián 130 MPa, míg 10 Hz-en már 540 MPa.

Jelen és a Hofko és Blab kutatásában (Hofko & Blab, 2012) bemutatott vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a modulusok közötti különbség mindkét CCT vizsgálat esetén nagymértékben függ a hézagtartalomtól, ugyanakkor nem függ a vizsgálati összeállítás voltától. A 4PBB eredményeit tekintve megállapítható, hogy a ragasztott CCT vizsgálatokhoz képest értelmezhető eltérés van, melynek maximuma 1 Hz frekvencián 162 MPa (10,4%). A 95%-os konfidencia intervallumot tekintve azonban az eltérések nem jelentősek. Kijelenthető, hogy a CCT vizsgálatokból nyert anyagi paraméterek (merevség és fázisszög) a lineáris viszkoelasztikus tartományban jól összehasonlíthatók olyan szabványos vizsgálatok eredményeivel, mint a 4PBB.



**11. ábra**

Az (a)  $\varphi_{ax,ax}$  és (b)  $|E^*|$  középértékei és 95%-os konfidencia intervallumhoz tartozó értékei ragasztott és nem ragasztott CCT, valamint 4PBB vizsgálat esetén,  $30^\circ\text{C}$ -on, F+L függvény szerint

## 5. Összefoglalás

Kétféle CCT vizsgálati elrendezés eredményeinek  $F+L+1H$  alakú egyenlet szerinti regresszióját vizsgálva és 4PBB vizsgálati eredményekkel való összehasonlítása alapján az alábbi következtetések vonatkoznak le:

- az összetett  $F+L+IH$  egyenlet szerinti regressziós függvény alkalmas a szinuszos függvények alakjának gyors vizsgálatára. Ha a függvény torzult, az  $AR$  amplitúdó arány és a  $\gamma$  shift-faktor segítségével jellemezhető a torzulás
- Az  $F+L+IH$  megközelítés értékes adatokat szolgáltat az oszcilláló vizsgálati adatokról. Segítségével a vizsgálóberendezés vezérlésének meghibásodása és a terhelés függvény torzulásának mértéke könnyen kimutatható és leírható.
- Az erőmérő adatait vizsgálva nem található lényeges torzulás a szinuszos függvényhez képest. Az alap és az összetett regressziós függvénnyel is jó illeszkedés tapasztalható mindkét vizsgálati elrendezés esetén, a teljes vizsgált frekvenciatartományban. Az  $AR$  amplitúdó arány 10 Hz-ig igen alacsony (<5‰), így a szinuszos terhelésben nem érzékelhető figyelemre méltó torzulás. Mivel a vizsgálatokat erővezérelt módon végeztük, az eredmények a berendezés vezérlőegységének pontos működését mutatják egészen 10 Hz frekvenciáig, a próbatest és a terhelő lemezek közötti kapcsolattól függetlenül.
- Az adatok vizsgálata alapján látható, hogy az elmozdulásmérők jele nem közelíthető olyan jól az alap szinuszfüggvénnyel, mint az erőmérők jele esetén. A ragasztott adatokra jobban illeszkedik az  $F+L$  szerinti regresszió. Az összetett függvény szerinti regresszió esetén a korrelációs együttható értéke 0,999 fölötti mindkét vizsgálati elrendezés esetén. Az  $AR$  amplitúdó arány vizsgálata alapján megállapítható, hogy különösen alacsonyabb frekvenciák esetén, az alakváltozás torzulása a terhelési fázisban meredekebb, a tehermentesítés fázisában laposabb függvényt eredményez. Ez a torzulás nem-ragasztott vizsgálatnál erősebb.
- A mechanikai anyagparamétereket tekintve, nem találtunk különbséget a két vizsgálati elrendezés között a fázisszögeket vizsgálva. Hasonlóképpen, nem találtunk szignifikáns eltérést a fázisszögek között a CCT és 4PBB vizsgálatokat összehasonlítva sem.
- A komplex modulust vizsgálva a nem-ragasztott vizsgálatok esetében alacsonyabb eredményeket kaptunk, mint ragasztott esetben. Kimutatható, hogy a különbség a próbatestek közötti hézagtartalombeli eltéréssel függ össze, és nem a vizsgálati elrendezésből eredő különbségekkel. Az előzőkhez hasonlóan, szignifikáns eltérések a CCT és a 4PBB eredmények között nem mutathatóak ki.
- Következésképpen kijelenthető, hogy az összenyomódás fázisában végzett vizsgálatok alkalmasak az aszfaltkeverékek anyagi tulajdonságainak leírására a lineáris tartományban a próbatestek és a terhelő lemezek közötti kapcsolattól függetlenül, és a CCT eredmények összehasonlíthatóak a 4PBB eredményekkel.

## Hivatkozások

[1] Francken L (1977) Permanent deformation law of bituminous road mixes in repeated triaxial compression. Proceedings of the 4<sup>th</sup> international conference on structural design of asphalt pavements, Ann Arbor

[2] European Standard EN 12697-25(2005) Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 25: Cyclic compression test

[3] Jaeger W (1980) Mechanical Behavior of Hot Mix Asphalt Specimens (Mechanisches Verhalten von Asphaltprobekörpern). Publication of the Institute of Road and Railway Engineering, University of Karlsruhe, Germany

[4] Weiland N (1986) Deformation Behavior of Hot Mix Asphalt Specimens under repeated loading (Verformungsverhalten von Asphaltprobekörpern unter dynamischer Belastung. Publication of the Institute of Road and Railway Engineering, University of Karlsruhe, Germany

[5] von der Decken S (1997) Triaxial tests with sinusoidal axial and radial loading to investigate the deformation resistance of hot mix asphalt (Triaxialversuch mit schwellendem Axial- und Radialdruck zur Untersuchung des Verformungswiderstandes von Asphalten). Publication of the Institute of Road Engineering, Technical University of Brunswick, Germany

[6] Kappl K (2007) Assessment and modeling of permanent deformation behavior of bituminous mixtures with triaxial cyclic compression tests. Dissertation, Vienna University of Technology, Austria

[7] Hofko B (2011) Towards an enhanced characterization of the behavior of hot mix asphalt under cyclic dynamic compressive loading. Dissertation, Vienna University of Technology, Austria, <http://www.ub.tuwien.ac.at/diss/AC07812414.pdf>

[8] Di Benedetto H, Partl M, Francken L, De La Roche Saint André C (2001) Stiffness testing for bituminous mixtures. Materials and Structures, 34, 2, p 66-70, Springer Netherlands, 66-70, Doi: 10.1007/BF02481553

[9] European Standard EN 12697-26 (2004) Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 26: Stiffness

[10] Hoeflinger G (2006) Investigation of specimen preparation of hot mix asphalt using the segment roller compactor. Master Thesis, Vienna University of Technology, Austria

[11] Airey G, Rahimzadeh B and Collop A (2003) Viscoelastic Linearity Limits for Bituminous Materials. Proceedings of the 6th International RILEM Symposium on Performance Testing and Evaluation of Bituminous Materials, Zurich, Switzerland

[12] Hofko B and Blab R (2012) Impact of air void content on the viscoelastic behavior of hot mix asphalt. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Four-point bending beam conference, Davis, CA.

Fordította:

Soós Zoltán

Géber Róbert

*Adatok*

*Megjelent itt*

**6. szám**

2015. ősz



*Szerző*

**Dr. Bernhard Hofko**

Universität Assistant, Technische Universität Wien, IVWS – Institut für Verkehrswissenschaften

**Prof. Ronald Blab**

Universität Professor, Technische Universität Wien, IVWS – Institut für Verkehrswissenschaften

*Témakörök*

Kiemelt • Kötőanyagok • Témakörök

*Kulcsszavak*

ciklikus nyomóvizsgálat • melegaszfalt • merevségvizsgálat • négyponthajlításvizsgálat • regresszióanalízis • viszkoelasztikus anyagok

*Befogadva*

2015. december 7.

---

**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](#)

[Szakolvasó](#)

[Témakörök](#)

---

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



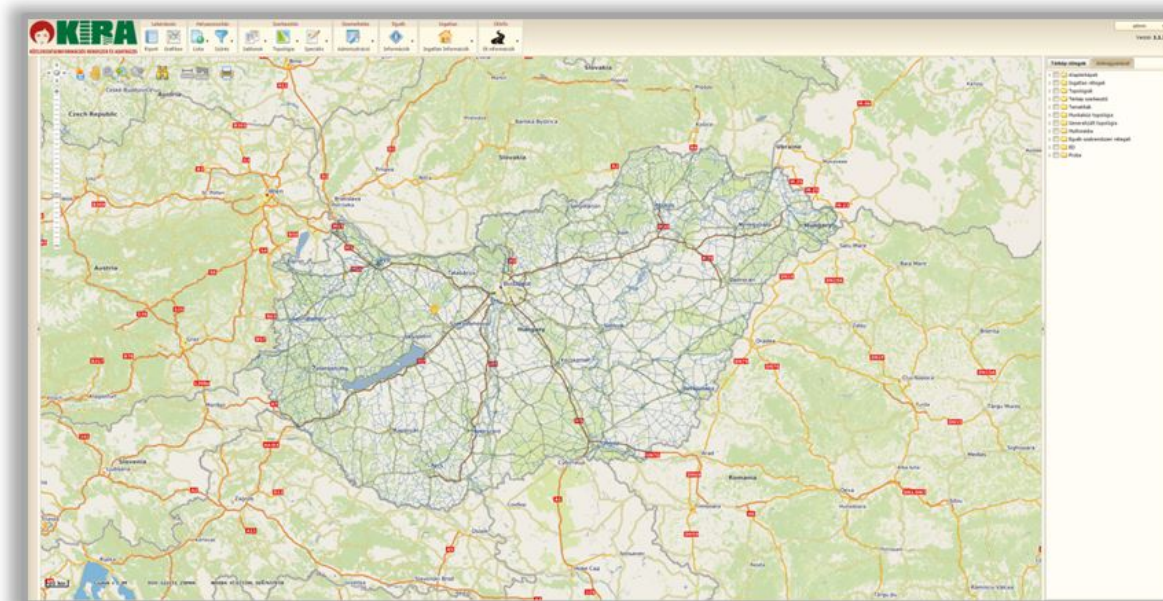
Loading [MathJax]/extensions/MathMenu.js

# Közlekedési információs portál a közlekedési szakma szolgálatában KIRA (Közlekedési Információs Rendszer és Adatbázis)

Szerző(k) **Stegena Zsolt és Zubriczky Levente**

## Kivonat

A szerzők betekintést adnak a KIRA (Közlekedési Információs Rendszer és Adatbázis) néven megvalósult közlekedési ágazatok térinformatikai alapokon segíteni kívánó rendszer felépítésébe és működésébe. A rögös úton bejárt kezdetektől egy a felhasználókat mind egyre jobban kielégítő webes felületen publikussá vált alkalmazásról szól a cikk. Bemutatja az egyes modulokat, funkciókat melyek jelenleg elérhetőek a felhasználók számára, és feltárja a nyílt forráskódú szoftverek alapján megvalósult rendszer elemeit. Információt kapunk a jövőbeli és távlati tervekről, melyek a KIRA rendszert egy igazán felhasználó barát platformként jellemzik majd.



## 1. Kezdetek...

Egy a különböző közlekedési szakágakat kiszolgálni képes komplex térinformatikai rendszer és adatbázis gondolata a 2010-es év környékén fogalmazódott meg először a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központban (továbbiakban KKK). Európai Unió forrásból, az EasyWay II program keretében lefejlesztésre került az első verzió. Habár a fejlesztés során egy összetett, szakmai produktum született, ez az alkalmazás a funkciók megbízható működésének hiányában még nem érte el azt a szintet, hogy publikusan elérhetővé váljon.

A Közlekedési Információs Osztály, miután több szálon felmérte a belső felhasználók és a különböző partner felhasználók (pl. Magyar Közút NZrt., NIF Zrt.) igényeit, saját intézményi forrásból megvalósuló fejlesztéseket indított. A fejlesztések elsődleges célja a portál funkcionalitásának bővítése, az adatbázis finomítása volt, azzal a céllal többek között, hogy az elavult utadat.hu portált is képes legyen felváltani. Ennek a fejlesztés sorozatnak

köszönhetően a KIRA portál felhasználói felülete mára funkcionalitásában és megjelenítésében is felülmúlta a korábbi utadat.hu közutas információs weboldal által nyújtottakat, a portálon hozzáférhető adatok és a felület felhasználóbarát volta miatt gyorsan és széles körben vált ismertté.

## 2. A rendszer felépítése

A KIRA rendszer felépítését open source (nyílt forráskódú) szabványokon alapuló komponensek integrációjával valósították meg. Ennek számos előnye, de ugyanakkor hátránya is van. Előbbihez tartozik a gazdaságosabb kivitelezés, az egyszerűbb fejleszthetőség, az új technológiák bevezetése és alkalmazása a rendszerben. Jelen esetben hátrányként mutatkozik az egyes modulok, mint például az Apache Tomcat webservert, vagy a Geoserver verziófrissítésnek lehetősége. Ez a művelet több utánajárást igényel, a felmerülő kérdésekre internetes szakmai fórumokon lehet válaszokat találni.

### ***Fizikai felépítés***

A fizikai megoldásokat illetően a piacon a kornak megfelelő modern Blade rendszerek (szerver, tároló, hálózati egység együttes) nyújtják a KIRA rendszer alapját. Ezek párban vannak, így az egyik szolgáltatja az éles rendszer alkalmazás szerverét és a teszt szerver adatbázis szerverét, míg a másik ugyanezt fordítva.

Az imént említett megoldás adatbiztonsági szempontból fontos. A KIRA alkalmazás kiszolgálását egy-egy Windows 2008 R2 szerver biztosítja és külön az éles, valamint külön a teszt környezethez tartozik egy-egy Ubuntu Linux operációs rendszeren futó PostgreSQL adatbázis. A PostgreSQL adatbázis elérését a könnyebb kezelhetőség érdekében a Windows szerverekről a Pgdadmin nevű segédprogram garantálja.

Párhuzamosan három - a Windows szervereken futó - Apache Tomcat web szervlet konténer szolgáltató ki a Geoservereket, valamint a KIRA alkalmazás webes publikálásáért is felelős.

A PostGIS bővítménnyel kiegészült PostgreSQL képes a térinformatikai adatok megjelenítésére az alkalmazás szerveren futó Geoserveren keresztül (*GeoserverMap* elnevezésű interfész). Ezen kívül a Geoserver működési területére terjed ki a különböző szakrendszerei adatbázisokhoz – jelenleg a kerékpáros adatbázis, baleseti adatbázis, híd adatbázis – való hozzáférés és adattovábbítás (*GeoserverIF* elnevezésű interfész).

### ***Logikai elgondolás***

A KIRA alapvető logikai felépítését tekintve a különböző szakrendszerek térképi formában megjeleníthető adatait és a térbeli lekérdezésekhez kapcsolható attribútum adatok halmazát foglalja magában. Ez a megjelenítés egy bárholnan elérhető webes felületet takar, melyen a szakrendszerek térképi adatai ki-be kapcsolható rétegek formájában jelennek meg. A kapcsolódó attribútumok pedig riport készítési és lekérdezési műveletek segítségével érhetőek el.

Az adatbázisból a rendszer pontosan definiált időben ArcGIS replikát állít elő, ami azt jelenti, hogy ESRI shape file-ok napi frissességgel rendelkezésre állnak. Ennek az oka egyrészt, hogy a shape file-ok megfelelően tömörítettek – kis helyigényűek – ahhoz, hogy jól mozgathatóak legyenek, másrészt szerkezetük pontosan megfelel az ESRI szabványoknak. Ezek az állományok elérhetőek web service-ek (WFS, WMS) segítségével, akár a KIRA felületén, vagy közvetlen a Geoserverből.

A szakrendszerek egysége egy gráf hálózatot alkot, mely topológiai az útszakaszok csomóponttól csomópontig, azaz kereszteződéstől kereszteződésig tartó éleiből épül fel. Alapvető működési sajátosság a helyazonosítás fogalma, mely a térképi felületen történő beazonosításhoz és lekérdezések generálásához elengedhetetlen. A helyazonosítás leginkább a közutakra jellemző formában kilométer szelvény megadásával történik, ám lehetőség van koordináta alapú helyazonosításra is. Ez utóbbi esetben a nemzetközi WGS84 (GPS) alapú, illetve EOVS (Egységes Országos Vetületi rendszerű) helyazonosítás és az ezek közötti átváltás működik. Nagy előnye a rendszernek a koordináták és az út szelvények közötti automatikus konvertálási lehetőség is. Megemlítendő az ingatlan-nyilvántartási térképi adatbázisból helyrajzi számon alapuló földrészlet poligonokra való kereshetőség és a keresési kombináció a földrészletek és közutak kapcsolatában.

### ***Betöltött adatok***

Az adatbázisba sql scriptek segítségével lehetséges a negyedévente frissülő Országos Közúti Adatbanki adatok betöltése. Az áttöltés jelenleg 10-15 lépésből valósítható meg, ami az ellenőrzésekkel együtt 1-2 napot vesz igénybe. Ez magában foglalja a geometria betöltését és topológia ellenőrzését, valamint a kapcsolódó

attribútum adatokat tartalmazó adattáblák kialakítását.

Az intézményen belül működő rendszerekből a GeoserverIF elnevezésű interfészen keresztül töltődnek az adatok a KIRA gyorsító tárbá, ami egy olyan adattároló terület, ahonnan a KIRA térképi felületén megadott lekérdezések sokkal gyorsabban jutnak vissza a felhasználóhoz annál, mintha a szakrendszeri adatbázisból közvetlen hálózati kapcsolaton töltené be az adatokat. Ezt a megoldást alkalmazzuk a kerékpáros adatok (KENYI), a baleseti és forgalomtechnikai adatok (WEBBAL), valamint a híd adatok (EHR) esetében is.

Bár a rendszer a kezdetekben még nem tartalmazott poligonszerű adatokat (ingatlan-nyilvántartási térkép földrészelei), mára már alkalmas ezen adatok tárolására és természetesen lekérdezésére is. Az ingatlan-nyilvántartási térképi adattáblák egy külön sémában kerültek tárolásra a postgres adatbázisban.

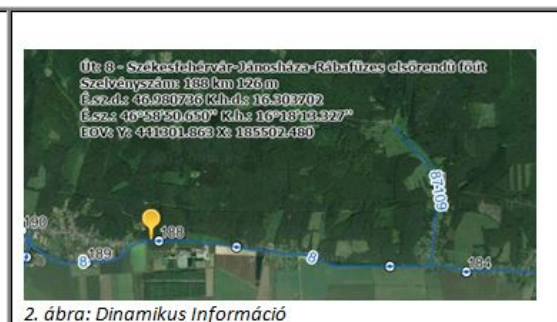
### 3. Elérhető információk a KIRA rendszerben

#### ÚtInfó modul:

A funkció lefejlesztése előtt több alkalommal egyeztettünk mind belső, mind pedig külső, felhasználókkal a legnagyobb fokú használhatóság érdekében. Az apró lépésekből összeállt fejlesztés így kiváltotta az utas szakmában népszerű utadat.hu portál szolgáltatásait. Bár ez egy helyazonosítást lehetővé tevő és elősegítő funkció, mely elsődlegesen a közutakra való keresési lehetőséget valósítja meg, sok egyéb információra tehetünk szert a használatával. Ilyen információkat kaphatunk az útszám/km szelvényes keresés mellett a koordináták, települések vagy csomópontok alapján történő kereséssel (1. ábra).

Egy másik fő adatnyerési lehetőséget használhatunk ki a képernyőről történő információ lekérdezésével. Erre két fajta funkció, az úgynevezett *dinamikus információk*, valamint a *kattintás infó* a d lehetőséget. Előbbi alkalmazásához elég az egér kurzort a térképi felület fölé – jó esetben közút fölé – vinnünk és a térképi felületen megjelenik az adat (2. ábra). A második esetben egy egérkattintással a közúton jutunk a kért információkhoz (3. ábra).

1. ábra: Útinfó Kereső panel



#### Ingtatlan modul:

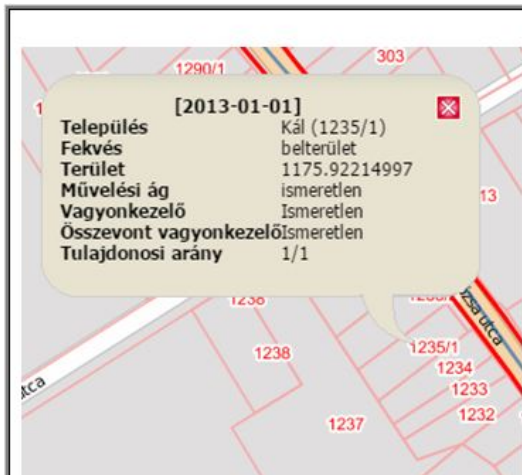
Ez a modul a KIRA rendszer egyik legfontosabb információs bázisává emelkedett, felváltva ezzel a hasonló adat tartalommal bíró korábbi ESRI (ArcGIS server) alapú szolgáltatást. Az utóbb említett alkalmazás elsősorban az intézményen belül működő vagyongazdálkodási, valamint a különböző külső szakmai partnerek (pl. NFM,



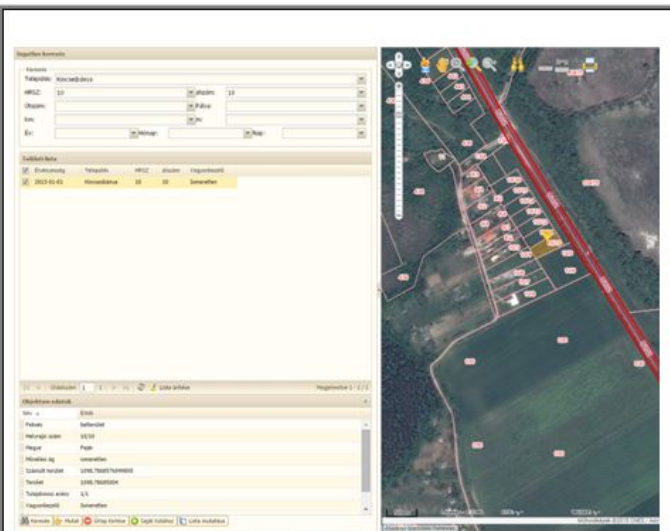
Magyar Közút NZrt.) számára biztosította az ingatlan-nyilvántartási térképi hozzáférést. A kezdetekben még nem volt egyértelmű, hogy a KIRA rendszer technikailag képes ilyen nagy mennyiségű adatmennyiség feldolgozására és kiszolgálására, ám a szoftverfejlesztéseknek köszönhetően most már elmondható, hogy a KIRA ingatlan modulja funkcionalitásában eléri, és a közeljövőben a felhasználói igényeket szem előtt tartva meg is haladja elődjét.

A modul fő szolgáltatása természetesen az ingatlan adatbázisból való lekérdezhetőség és a megjelenítés. A helyazonosítás tehát két irányból közelíthető meg, egyrészt a térképi felületen történő egérgattintással kinyerhető információ megszerzése (4. ábra), másfelől az ingatlan kereső panel használata. Ez utóbbi lehetőséget ad egész települések helyrajzi számainak lekérdezésére, utak alatti földrészletek keresésére, vagy a legáltalánosabban használt település és helyrajzi főszám, majd alátörés megadásával történő keresésre (5. ábra). A keresések saját találati listába rendezhetők, melyek a munkafolyamat során bármikor tetszőlegesen a rendelkezésre állnak (6. ábra).

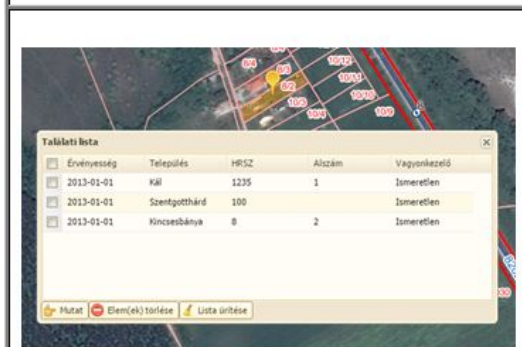
Az ingatlan adatok szolgáltatásához hozzátartozik az intézményi és a már említett partner felhasználók igényeit kielégítő, opcionálisan ki-be kapcsolható ingatlanokkal kapcsolatos rétegek hozzáadása (7. ábra). Jól használható ilyen réteg például a közutak alatti ingatlan réteg (mely kiemeli azokat a földrészleteket, melyeken közutak haladnak keresztül), továbbá a vagyonkezelők különböző színel történő megjelenítésére létrehozott réteg (8. ábra).



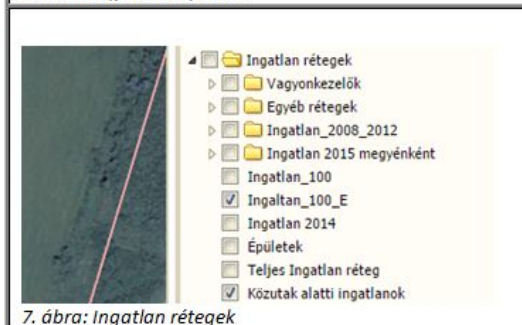
4. ábra: Ingatlan „gattintás” infó



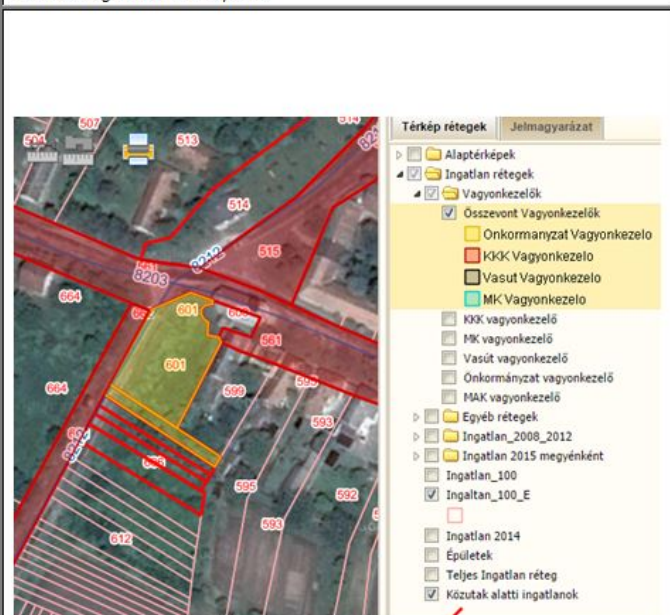
5. ábra: Ingatlan kereső panel



6. ábra: Ingatlan saját lista



7. ábra: Ingatlan rétegek



8. ábra: Ingatlan vagyonkezelők megjelenítése



A felhasználói kérdések megválaszolása, a felmerülő problémák kezelése fontos feladatként jelentkezik a Közlekedési Információs Osztály munkájában. Az e-mailen elküldött problémákat, észrevételeket legkésőbb 24 órán belül megválaszoljuk. Mivel néhány kérdés gyakran felmerült, ezért létrehoztunk a bejelentkező lapon egy Infó panelt, amely elolvasása hasznos lehet a felhasználók számára a megfelelő használathoz. Egy további, az aktuális eseményeket tartalmazó megjelenítő panel is látható a bejelentkezéskor karbantartás, szoftverfrissítés, stb. információs tartalommal.

## **Statisztika**

Az adminisztrátori felületen lehetőség van a statisztikai adatok részletes lekérdezésére is. A rendszer többek között naplózza a belépések számát felhasználónként. Az éles üzem indításakor alig 3-4 felhasználóval rendelkezünk, ami 2015. októberre közel 4000 regisztrált felhasználóra növekedett. A napi belépések száma 300 körülire tehető. Az ugrásszerű növekedések gyakran egy-egy fejlesztésnek köszönhetők.

## **Jövőbeni tervek**

A rendszer fejlesztése és üzemeltetése a Közlekedési Információs Osztály feladata. Az üzemeltetési feladatokat cégen belül, a fejlesztéseket nagy részben külsős vállalkozókkal oldjuk meg. A fejlesztések mértéke jelentősen függ a rendelkezésre álló forrás nagyságától. A forrás intézményi illetve Európai Uniósi lehet. Több fejlesztés is folyhat párhuzamosan, habár az elkészült verziók összehangolása ebben az esetben további feladatot jelenthet.

A jövőbeni tervek az alábbi kategóriákra oszthatók.

- **Hibajavítás**

Mivel a rendszer egyre összetettebbé válik, ezért elkerülhetetlen, hogy egy új verzió ne tartalmazzon néhány apróbb hibát. A tesztelés alapján, valamint a felhasználói visszajelzések figyelembe vételével a hibajavítás folyamatos. Továbbá a rendszer működését olyan tényezők is befolyásolják, mint pl. a böngészők vagy az interneten díjmentesen elérhető alaptérkép szolgáltatások (OpenStreetMap, Google, Bing) frissítése. Ezek az új verziójú böngészők gyakran hibát generálnak a KIRA rendszerben, amely kijavítása csak programozással lehetséges.

- **Meglévő funkciók módosítása**

Természetesen az első számú cél a felhasználók igényeinek kiszolgálása, ezért gyakran az elkészült funkciók is módosításra szorulnak a használat megkönnyítése érdekében. A jövő évre tervezett fejlesztések között szeretnénk megvalósítani a meglévő riport-készítő modul optimalizálását. A riport-készítés jelen pillanatban is elérhető (belső és partner felhasználók részére), működő funkció, de néhány módosítással, például kész sablonok létrehozásával még egyszerűbbé és kezelhetőbbé tehető a felhasználói felület.

- **Új funkciók fejlesztése**

A Közlekedési Információs Osztály folyamatosan gyűjti, és prioritás szerint osztályozza a beérkező illetve a tesztelés során felmerült észrevételeket, ötleteket. A legfontosabbnak ítélt javaslatok bekerülnek az éves fejlesztési tervünk műszaki specifikációjába.

Jelenleg az adminisztrátori felületen megtalálható a tematikus térkép készítő funkció, amely bizonyos szempontok, attribútumok alapján megjeleníti az úthálózat egyes elemeit, szakaszait szöveges információ hozzárendelésével. A tervek szerint a felhasználók számára is elérhető lesz egy hasonló funkció tematikus térkép készítésére. Az elkészült térképeket ezek után a felhasználók letölthetik szabványos formátumban (pl. ESRI shape vagy Google kml) így használhatják más alkalmazásokban vagy a már előzetesen elmentett állományt egy újabb belépés alkalmával megnyithatják a KIRA felületen.

- **Új modulok fejlesztése**

A célok között szerepel a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ egyéb térinformatikai rendszereinek kiváltása is. Ennek a folyamatnak a haszna az egyszerűbb és olcsóbb üzemeltetés, valamint a meglévő adatok modernebb, magasabb szintű megjelenítése.

Az egyik ilyen térinformatikai rendszer a baleseti adatok megjelenítésért felelős Web-Bal, melynek funkciói és adatbázisa reményeink szerint hamarosan elérhetőek lesznek a KIRA rendszerben is. Az integrálás által olyan új funkciók kerülnek kialakításra, mint: baleseti helyazonosítás, lekérdezések, statisztikai célú lekérdezések, gócpontkeresés, ellenőrzés, szerkesztés.

- Kezelő felület fejlesztése

#### a) Arculat

A jelen trendek szerint a web-es alkalmazások egyre egyszerűbbé, könnyen kezelhetővé válnak. Az átlag felhasználó oktatás nélkül is kiigazodik egy modern kezelő felületen, és kevés kattintással eljut az elvégezni kívánt feladat végeredményéhez. A KIRA kezdetben egy szakmai alkalmazásnak indult kizárólag a szakmában dolgozó felhasználók részére. A funkciók egy része nagyon részletes beállítási lehetőséggel rendelkezik, amihez egy összetett kezelői felület társul. Nem célunk az elérhető funkciók csökkentése, de egy megfelelő dizájn elősegítheti a felhasználók számára az egyszerűbb navigációt. Úgy gondoljuk, jelen pillanatban is jól kezelhető a rendszer, de idővel aktuálissá válhat egy modernebb kezelői felület fejlesztése. A tervek szerint ez egy-két éven belül meg is valósulhat.

#### b) Mobil applikáció

Felmerült az igény, hogy az alkalmazást ne csak irodai körülmények között, hanem terepen is lehessen használni. Ehhez szükség lenne egy androidos fejlesztésre, ami lehetővé tenné a használatot mobiltelefonon illetve tableten is. A fejlesztés nagy valószínűséggel egy EU projekt keretén belül valósulhatna meg.

## 4. Célok

Hosszú távú célunk a KIRA rendszer folyamatos fejlesztése az adatbázis, valamint a rendelkezésre álló funkciók bővítése által. Fontos, hogy a rendszer stabil legyen, ezért egyre nagyobb hangsúlyt fektetünk az üzemeltetésre, valamint a felhasználói visszajelzések kezelésére. Az adatbázisok frissen tartása, a rendszer tesztelése elengedhetetlen feladat ahhoz, hogy a rendszer igazán elismerté váljon a felhasználók körében.

### *Adatok*

*Megjelent itt*

**6. szám**  
2015. ősz



### *Szerző*

#### **Stegena Zsolt**

2009-ben végzett levelező tagozaton a Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Főiskolai Karán mint földmérő-földrendező mérnök. Diplomamunkáját térinformatikai témában írta, egy kerékpáros közlekedési rendszert modellezett. 2013 óta a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központban, térinformatikusként dolgozik.

#### **Zubriczky Levente**

A Széchenyi István Egyetemen diplomázott építőmérnöki karon. Az egyetem elvégzése után többek között a Magyar Közút forgalomtechnikai osztályán, majd az üzemeltetési osztályon dolgozott. 2013-ban nyert felvételt a KKK Közlekedési Információs Osztályára. Kezdetben EU finanszírozású projektek projektmenedzsereként tevékenykedett, majd 2014 októbertől osztályvezető.

### *Témakörök*

Kiemelt • Útgazdálkodás

*Abstract*

In this paper the authors provide a summarizing insight into a web based platform called KIRA. The acronym stands for Transport Information System and Database in Hungarian language. The system can generate detailed GIS information for the user about the Hungarian national road network and its connection to other specialized systems such as railway, bicycle, bridges, accidental data and cadastral parcel information as well. Information is obtained by reading the article on future plans and prospects which characterize KIRA system as a truly user-friendly platform.

---

**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

Szakolvasó

Témakörök



# Európában használatos tömörség- és teherbírás mérési módszerek - Portugáliai beszámoló

Szerző(k) **Subert István**

## Kivonat

A Portugáliai Műszaki Egyetem Geotechnikai Tanszéke (Prof Correia) meghívására, egy kísérleti szakaszon - sok más Európai és Amerikai módszer mellett - a magyar B&C dinamikus tömörség- és teherbírás mérő berendezés is tesztesztelésre kerülhetett. Ezeket ismerhettük meg egy kísérleti próbabeépítés kapcsán Evora város mellett, ahol új, nagysebességű vasútvonalon próbaszakasz épült.

A tanulmány második része bemutatja a Proctor-vizsgálat egy új szemléletű, „összetett-görbe” szerinti értékelését az optimális víztartalom és legnagyobb száraz sűrűség megállapítására. Ebben a K+F kutatásban 566 db módosított - Proctor eredményt dolgoztunk fel. Nyolc különböző hazai földmű- és szemcsés anyagra állapítottuk meg regressziós analízissel az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom és telítettség összefüggését. Jellemző volt, hogy 3-4tf% levegőtartalom adódott általában az optimális víztartalomnál és ezek eloszlása nem szimmetrikus.

## Bevezető, előzmények

A földművek, közúti- a vasúti- és vízépítési műtárgyak építésének egyik legfontosabb minősítő paramétere a tömörség. Az után-tömörödés megelőzéséhez, a vízbehatolás mérsékléséhez szükséges határértékeket valamennyi európai szabályozás fontos paraméterként kezeli. A tömörség precíz mérése sem az Unióban, sem az EU-n kívül nem egységes. Nincs olyan mérési módszer, melyet a világ geotechnikusai egyöntetűen elfogadnának. Számos egyéb módszer kerül napvilágra ezért (dinamikus penetrométer, vagy az Evib, Omega CCC-method stb.) A tömörségi fok – hagyományosan - a beépítés során elért sűrűség és a viszonyítási sűrűség hányadosa, százalékban kifejezve. A tömöríthetőségi vizsgálat fő jellemzője ezért a legnagyobb száraz sűrűség - mint viszonyítási sűrűség –egy lehetséges és elterjedten alkalmazott, laboratóriumban meghatározott érték.

A viszonyítási sűrűséget a laboratóriumban hazánkban - mértékadóan - a módosított Proctor-vizsgálatokkal végezzük, Proctor-edényben, ejtősúlyos tömörítő géppel. A német területeken jellemző az egyszerűsített Proctor vizsgálat, mely kisebb tömörítő munkával, vastagabb rétegvastagsággal és kevesebb réteggel dolgozik, ezért a 100% feletti tömörségi fok is lehet követelmény. Az európai szabvány újabb típusú tömöríthetőségi vizsgálati módszereket is megenged a viszonyítási sűrűség meghatározására, mint a vibrátoros vizsgálatok:

EN 13286-3 viszonyítási sűrűség meghatározása vibro-sajtólasos módszerrel

EN 13286-4 viszonyítási sűrűség meghatározása vibro-kalapácsos módszerrel

EN 13286-5 viszonyítási sűrűség meghatározása vibro-asztalos módszerrel

Ezek alkalmazása, kipróbálása még nem történt meg. Egymással való egyenértékűségük e vizsgálatoknak egyelőre nem ismeretes, átszámításuk nincs. Várhatóan azonban ezek aligha fognak egyezni a különböző modellhatás miatt. Az alapvető feltétel azonban ezek összehasonlításánál, hogy a *tömörítési munka* megegyező legyen.

A tömörségi fok mellé újabb követelmények, ajánlások is terjednek. Ilyen például a telítettség, vagy levegőtartalom ajánlott értékeinek előírása. Már az FGSV 516, de az ÚT 2-1.222 ÚME (e-UT 06.02.11) is, egyes esetekben  $\leq 12\%$  levegőtartalom biztosítását kéri az előírt tömörségi fok elérése mellett. A megengedett telítettségre nincs közvetlen előírás, bár az említett levegőtartalom ilyen előírásnak is értelmezhető. Nagyfelületű földmunkákra dolgozott ki minősítési lehetőséget a tömörség és teherbírás kontrolljára az osztrák Prof D.Adam és Prof Kopf, a hengerre szerelt gyorsulásmérővel határozva meg a tömörítés állapotát (CCC-Evib és Omega).

Teljesen új iránynak tekinthető a magyar dinamikus tömörségvizsgálat, mely a terjedőben lévő LFWD (Light

Falling Weight Deflectometer) terhelési mód mellett egy módosított tárcsa alatti terheléssel mér, az ejtések során kialakuló tömörödési görbe elemzésével.

Cégünk a portugál Correia professzor úr meghívására részt vett egy összehasonlító vizsgálat-sorozatban, így beszámolhatunk az ott tapasztalt új vizsgálati módszerekről is.

### ***Mérések a portugáliai EVORA-ban***

Portugáliai Műszaki Egyetem Geotechnikai Tanszéke és Professor Correia meghívására, egy kísérleti szakaszon - sok más műszer és módszer kísérleti alkalmazása mellett - a magyar B&C dinamikus tömörség- és teherbírás mérő berendezés is tesztelésre kerülhetett. Az európai szabadalmat kapott magyar módszert az Andreas Kft fejlesztette ki. A hazánkban jól ismert vizsgálati módszer megmérettetésére számos új és hagyományos mérés mellett valósulhatott meg.

A kísérleti próbabeépítés Evora város mellett volt, ahol K-Ny-i irányban az országot átszelő új, nagysebességű vasútvonal épül. Az elvégzett hagyományos és kísérleti mérések a földmű tömörségének, valamint teherbírásának minősítésére szolgáltak. Igen tanulságos, hogy amikor 1-2% különbségeket írnak elő a tenderek, a mérések ennél jóval nagyobb mérési-vizsgálati pontossága nem közismert.



**1. ábra**

*Portugália, elkészült pályaszakasz*



**2. ábra**

*Portugália, próbabeépítés helyszíne*

### ***Tömörésmérés radioizotópos műszerrel***

Az egyik legelterjedtebb mérési eljárás (ASTM D6938), mely során a talajba bocsátott, majd a talajon áthaladó gamma-sugárzást detektor észleli; és a mérési idő alatt összeszámlált impulzusok száma a talaj nedves sűrűségével arányos. Lapszondás és tűszondás mérések is történtek. A tömörségi fok meghatározásához kell még a víztartalom értéke és a viszonyítási sűrűség, amihez a terepi száraz sűrűséget hasonlítják. Európában jellemzően az EN 13286-2 szerinti „módosított-”, német területen még az „egyszerűsített” Proctor, legnagyobb száraz sűrűség alkalmazása használatos. A vizsgálat időigénye 15-25 perc és három párhuzamos vizsgálatot kell végezni, azt átlagolni. Két laboráns mérőszemélyzet az előírás.





**3. ábra**  
*Izotópos tömörségmérés MC-3*



**4. ábra**  
*Mérési helyek távolsága*



### **Homok-kitöltéses módszer**

A mérés (ASTMD4914) elve, hogy a vésővel, kanállal kiszedett talajmintát homokkal helyettesítik, hogy a térfogatát meghatározzák. A felületre körlemez nyílású sablont helyezik, majd a nyílásán át gondosan kiszedik, mérik a tömegét és a víztartalmát. Ezután száraz homokkal feltöltik a mélyedést, a térfogatot számítva. Kifejezetten idő- és energiaigényes, sőt „négykézlás” módszernek tartják. A módszer másik változata, amikor az üregbe gumimembrán, abba pedig mért térfogatú víz kerül. A kapott terepi sűrűségből számítják - a viszonyítási sűrűséget figyelembe véve - a tömörségi fokot.

A Bangkoki Ramkhamhaeng Egyetemen a CWA15846 dinamikus tömörségmérés validálási vizsgálatként harminc darabos összehasonlító tömörségmérésre kerülhetett sor, melynek értékelése szerint a homokkitöltéses módszerrel számított tömörségi fok és a B&C dinamikus tömörségi fok egy tizedre egyező értéket mutatott. A homokkitöltéses módszer vizsgálatának időigénye 25-35 perc a helyszínen, egy laboráns elegendő. Párhuzamos vizsgálatot nem alkalmaznak.



**5. ábra**

*ASTM Sand-filling homok-kitöltéses vizsgálat*



**6. ábra**

*ASTM Sand-filling homok-kitöltés vizsgálat*

Sikeres magyar vizsgálat, mely a Light Falling Weight terhelési módszert alkalmazza, kistárcsás mérőeszközre történő átalakításával egy tömörödési görbét állít elő az ejtések sorozatát képezve úgy, hogy adott magasságból, 10 kg tömegű testet csillapítórugó közvetítésével 163mm átmérőjű merev tárcsára ejti 10-18 alkalommal az ejtő súlyt. Ez  $p_{din}=0,35$  MPa tárcsa alatti dinamikus terheléssel tömöríti a réteget (CWA 15846, illetve ÚT 2-2.124, e-ÚT 02.09.35). A süllyedési amplitúdók sorozatából határozható meg a relatív helyszíni tömörségi fok (és a dinamikus modulus is), mely az adott víztartalom mellett elért helyszíni relatív tömörítést jellemzi. A dinamikus tömörségi fok a relatív tömörségi fok és a nedvességkorrekciós tényező szorzata. A nedvesség hatását figyelembe vevő tényező a talaj víztartalomtól függő tömörödését jellemzi. ( $T_w \leq 1,00$ ).





**7. ábra**  
*ANDREAS új dinamikus tömörség- és teherbírás mérő műszere*



**8. ábra**  
*ANDREAS új dinamikus tömörség- és teherbírás mérő műszere*

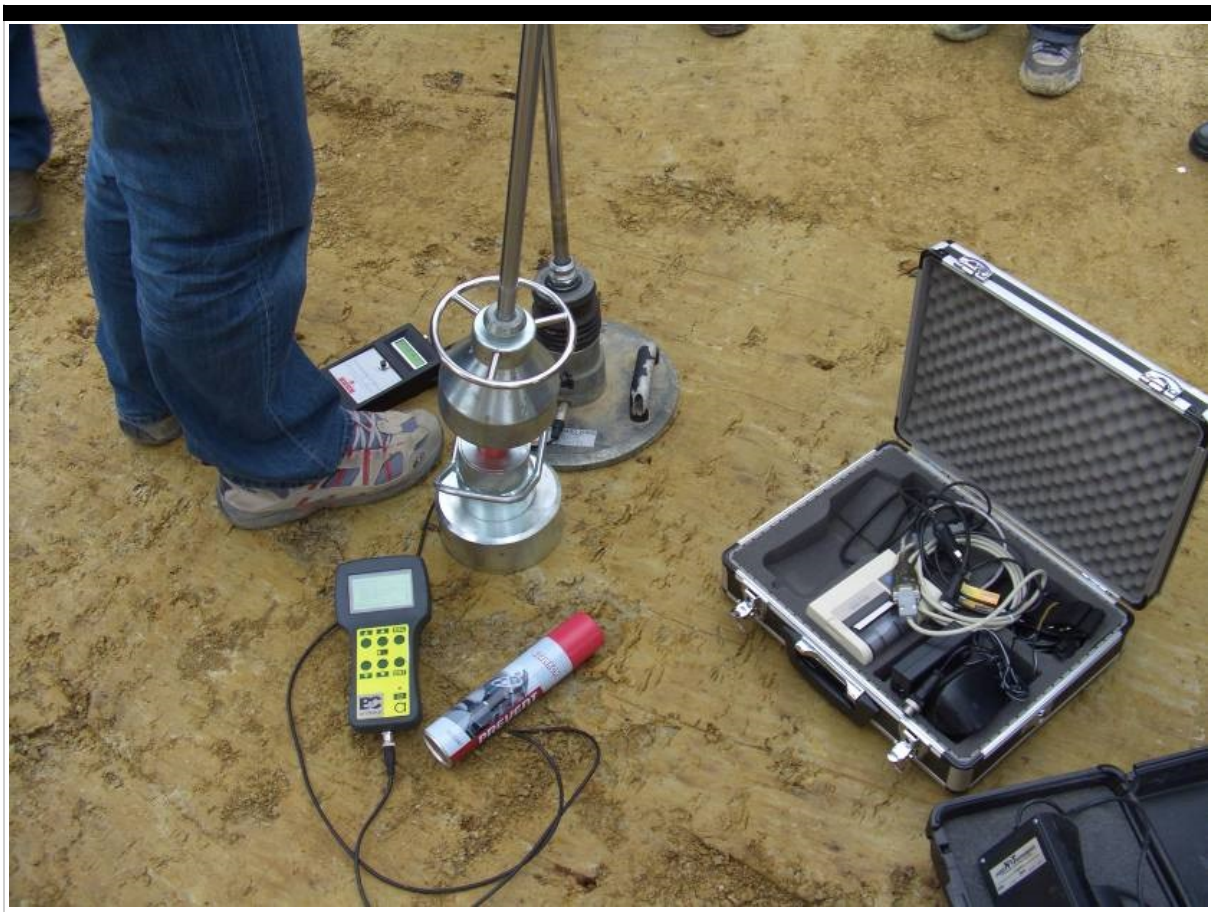
A dinamikus tömörségmérés  $\pm 2\%$ -os mérési pontossága lehetővé teszi a minőség-ellenőrzés hatékonyságának javítását, a korrekt minőségtanúsítást. A mérés igen gyors a többi mérési módszerhez képest, egy laboránst és 2-3 percet vesz igénybe, valamint párhuzamos méréssel képez átlagot.

A B&C dinamikus tömörségmérési módszer független a sűrűségtől, ezért alkalmas bármilyen anyagok, még az igen alacsony sűrűségű pernye, vagy az inhomogén sűrűségű kohósalak töltések, rétegek mérésére, de az izotópos készülékeket megbolondító meszes stabilizációk vizsgálatára is.

A B&C a dinamikus tömörségi fok mérésével egyidejűleg meghatározza a talaj  $E_d$  (MPa) teherbírási modulusát is. Párhuzamos mérést alkalmaz, melyből átlagot számít. Egy laboráns a méréshez elegendő.

### **Nagy tárcsás könnyű-ejtősúlyos berendezés**

Mint ismeretes, a 300 mm-es tárcsaátmérőjű BP-LFWD (más neven német-LFWD) a dinamikus modulus mérési eredményéből számítja az  $s/v$  (alakváltozás/tárcsasebesség) hányadost, ami a tömöríthetőséget, az elért tömörséget is jellemezheti. A *teherbírás meghatározására* Európában nagyon terjed a Light Falling Weight Deflectometer típusú berendezések alkalmazása, melynél adott magasságból, 10kg tömegű testet ejtenek. Ez a 300mm átmérőjű merev tárcsa alatt  $p_{din}=0,1$  MPa dinamikus terhelést hoz létre (TPBF-StB8.3, RVS08.03.04),  $c=2$  hajlékony Boussinesq tárcsaszorzót, valamint 0,5 fix Poisson tényezőt alkalmaz. Az LFWD-típusú teherbírás mérő készülékek előnye, hogy ellensúlyt, terhelő gépkocsit nem igényelnek. Az alakváltozást jellemző átlagos süllyedési amplitúdó a második mérési sorozatából határozható meg. Számítása  $E_{vd}=22,5/s$  (N/mm<sup>2</sup>). A vizsgálat időigénye 10-15 perc a helyszínen, egy laboráns a méréshez elegendő. Párhuzamos vizsgálatot nem alkalmaznak.



**9. ábra**

*Kistárcsás (SP) és nagy tárcsás (BP) LFWD könnyű-ejtősúlyos berendezés*

### **PORTANCEMETRE - módszer**

A földmű *teherbírásának folyamatos* mérésére használatos Francia műszer, melyet gépjárművel vontatnak. A teljes mérés a vezetőfülkéből vezényelhető, ahol az adatgyűjtő és feldolgozó rendszer is helyet kap. A



vibrációs terhelésű kerék, ennek érzékelő kerete a tréler vázára vannak függesztve. A mérés 1m/sec sebességű. A vizsgálat nagy előnye, hogy folyamatos menetben 30 perc alatt 1800 méter hosszú réteg mérhető a helyszínen. Egy laboráns (informatikus) és egy vezető szükséges a mérés elvégzéséhez. Párhuzamos vizsgálatként oda-vissza mérnek egymás melletti nyomon.



**10. ábra**

*Portancemetre folyamatos teherbírás mérési módszer*

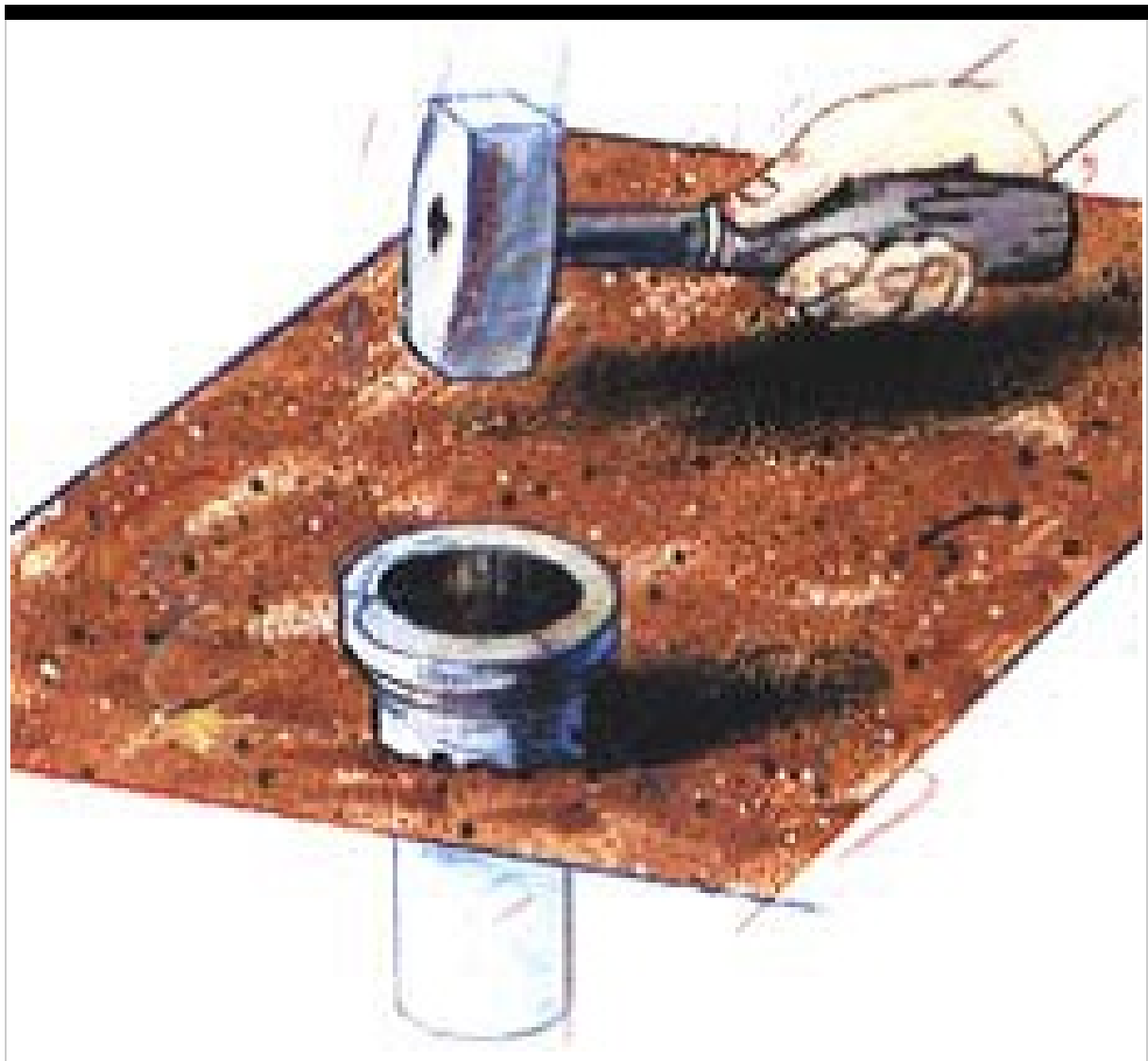


**11. ábra**

### **Kiszúróhengeres tömörség-mérési módszer**

A Portugáliai összehasonlításban nem alkalmazták ezt a mérési módszert. A kiszúróhengeres módszer hazánkban jól ismert, igen régóta alkalmazott eljárás, pontossága azonban egyes becslések, vélemények szerint rosszabb az izotópos mérésnél. A terepi sűrűség meghatározásához kell a hengerben maradó anyag tömege, a víztartalom értéke, majd az így számított száraz terepi sűrűség és a viszonyítási sűrűség aránya a tömörségi fok. Európában jellemzően az EN 13286-2 szerinti „módosított-”, német területen még az „egyszerűsített” Proctor, legnagyobb száraz sűrűség alkalmazása használatos. A vizsgálat időigénye 10-15 perc és három párhuzamos vizsgálatot kell végezni, azt átlagolni. Egy laboráns elegendő a méréshez.

Az M35-ös autópályán tudunk pernye-töltésen történt összehasonlító mérésről. A B&C mérés (CWA módosítás előtti) értékei néhány százalékkal *alacsonyabbak* voltak, mint a kiszúró-hengeres eredmények.



**12. ábra**  
Kiszúróhengeres módszer



**13. ábra**  
Durham MDI

### **Durham MDI (Moister Density Indicator) sűrűség- és víztartalommérő**

Dielektromos állandó elvén működő amerikai műszer. Nem csak a víztartalmat, hanem a sűrűséget is e módszerrel méri, megfelelő kalibrálás után. Hibája kisebb, mint az izotópos műszereké, de a viszonyítási sűrűség alkalmazását nem nélkülözheti. A terepi sűrűség meghatározásához kell a mért víztartalom értéke, majd az így számított száraz terepi sűrűség és a készülékbe a kezelő által beütött viszonyítási sűrűség aránya adja a tömörségi fokot. Az EN 13286-2 szerinti „módosított-” illetve az „egyszerűsített” Proctor, legnagyobb száraz sűrűség alkalmazása is lehetséges, ugyanúgy, mint a többi viszonyítási sűrűséget alkalmazó mérésnél. A vizsgálat időigénye 10-15 perc. Amerikai mérési előírás tudomásunk szerint elkészült, de európai változatáról nincs tudomásunk. Vélhetően egy laboráns is elegendő a méréshez.

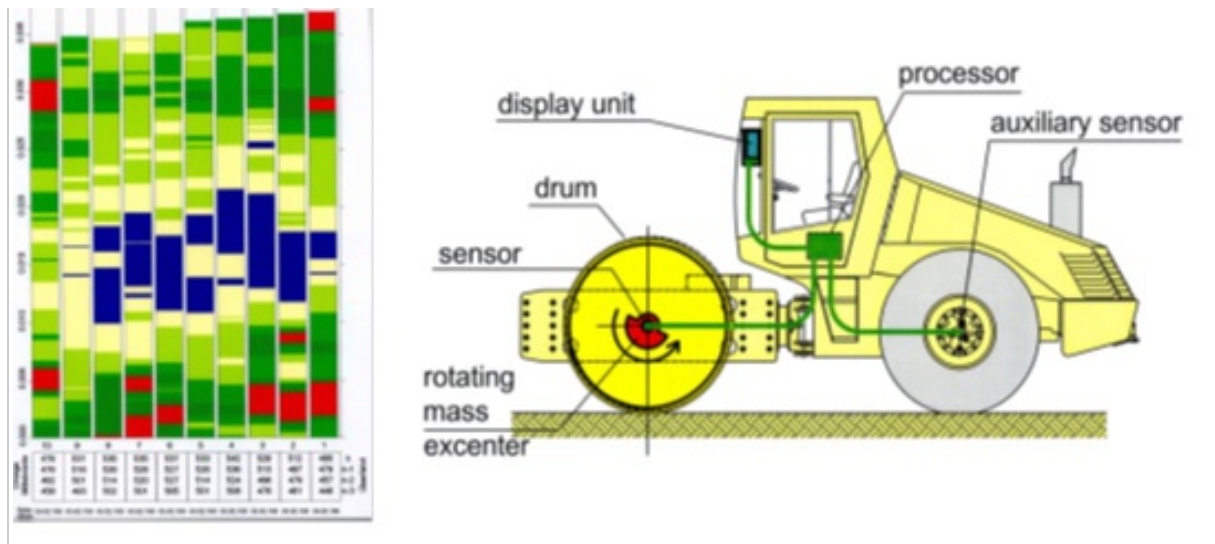
### **Continouos Compaction Control (CCC) – Nagyfelületű tömörségmérés**

Nagyfelületű tömörítések tömörség- és teherbírás mérésére, melyet Professzor H. Brandl vezetésével Prof Kopf és Prof Adam fejlesztettek ki. Ez a módszer nagy felületű földmunkák minősítésére alkalmazható. A tömörítő BOMAG hengerre szerelt gyorsulásmérővel határozzák meg a mért amplitúdók változásaiból a  $E_{vib}$  modulust és az Omega mérőszámot. A fejlesztő a Terrameter, és az Omega-értékének kidolgozását Dipl.-Ing. Uwe Blancke végezte, a Bomag GmbH keretében).

A mérési eredmények egy 3 dimenziós képen ábrázolhatók, színekkel. A tömörségi fokkal a próbabeépítésen tapasztalati úton hozzák összhangba, majd a végső 3D-s mérési eredményt nagyfelületű minősítésként is elfogadják.

Szlovéniában a Szlovén Műszaki Egyetem Geotechnika Tanszéke szakvéleményében a B&C dinamikus tömörségi fok és a CCC  $E_{vib}$  értéke között kiemelkedően jó korrelációt mutatott ki.





**14. ábra**  
CCC nagyfelületű tömörség és teherbírás vizsgálata

### **Statikus teherbírési modulusokból meghatározott tömörségi tényező**

A teherbírást Evorában a statikus tárcsás vizsgálattal hagyományosan (hazánkban is használt) 300mm-es (ASTM D1194) és a  $d=600$ mm-es Francia szabvány (NF P 94-117-1) szerint is vizsgálták. A második felterhelésből származó Ev2 teherbírési modulus és az első terhelésből adódó Ev1 modulusok aránya a hazánkban is ismert tömörségi tényező ( $T_t$ ), melynek a tömörséget közelítően jellemző hatást tulajdonítunk (lásd ÚT2-3.206 e-ÚT 07.04.13). A mérési módszerek felterhelési szakaszai és értékelése néhány ponton eltér a hazánkban megszokottól.

A vizsgálat időigénye 25-35 perc a helyszínen, egy laboráns a méréshez elegendő. A terheléshez ellensúly szükséges. Párhuzamos vizsgálatot nem alkalmaznak.



**15. ábra**  
Statikus teherbírás vizsgálat  $d=600$  mm tárcsával

### **Young-féle modulus**

A megfelelő teherbírési jellemző meghatározására alkalmas a GeoGauge elektromechanikus módszert (D 6758 –02) is alkalmazták. Ezt a gyártó a tömörségmérés mellé, a réteg teherbírasi homogenitásának ellenőrzésére javasolja alkalmazni. A módszert a szemcsés, kohézió nélküli anyagok mérésére ajánlják, valamint kissé iszapos és agyagos anyagok elemzésére, amelyek nincsenek kitéve a nedvességtartalom változásának. A módszer hátránya, hogy a mérési eredményt könnyen megzavarja a környezet vibrációs terhelése. Tudomásunk szerint a tömörség nem jellemezhető, a teherbírásból viszont következtetni lehet a próbatömörítés alapján várható megfelelésre. A vizsgálat időigénye 10-15 perc a helyszínen, egy laboráns a méréshez elegendő. Párhuzamos vizsgálatot nem alkalmaznak.

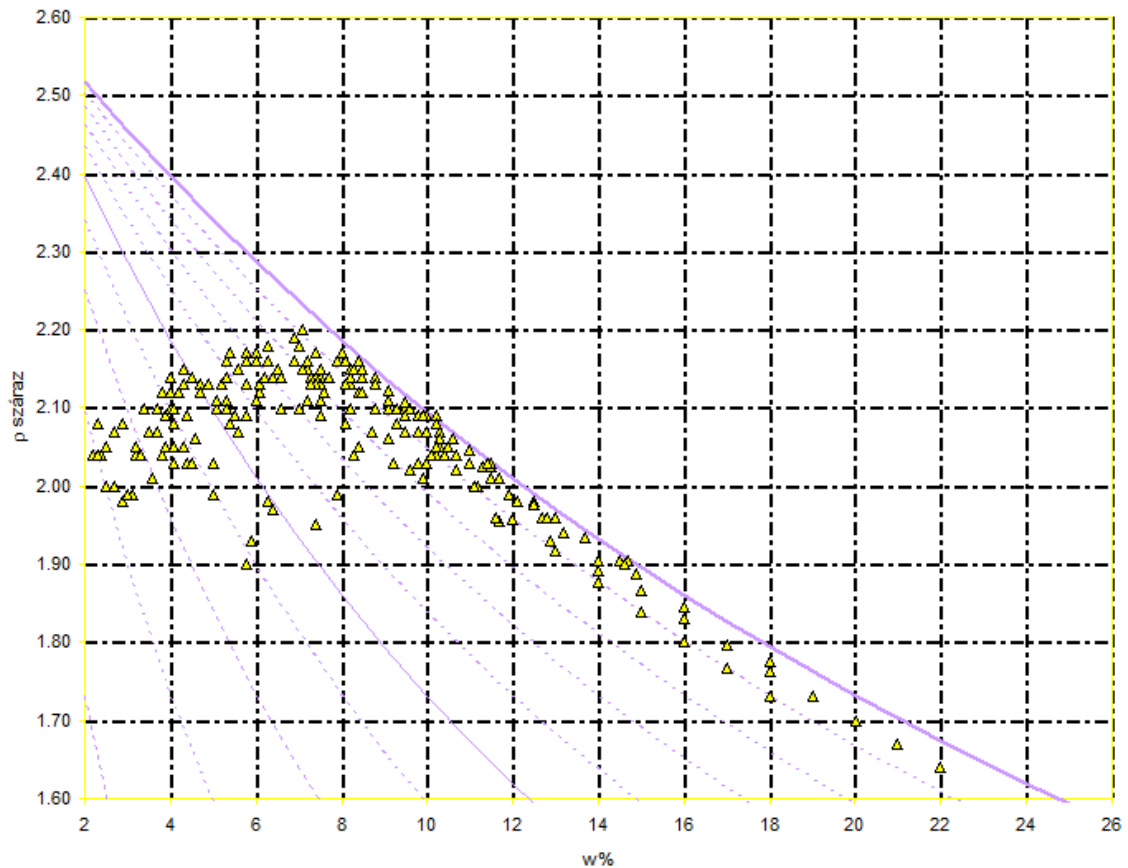




**16. ábra**  
*Geogaue-műszer Evorában*

### ***Viszonyítási sűrűség kérdései***

A módosított Proctor-vizsgálatra vonatkozó előírás Magyarországon az MSZ 14043/7, az uniós csatlakozás óta az MSZ EN 13286-2 szabványt is alkalmazzuk (illetve ennek 7.4 pontja ajánlott, mint a módosított Proctor-vizsgálat), jelentősebb eltérés nélkül. Magyarországon 2005 óta az európai előírásokat tükröző EN 13286-2 szabvány is érvényben van.



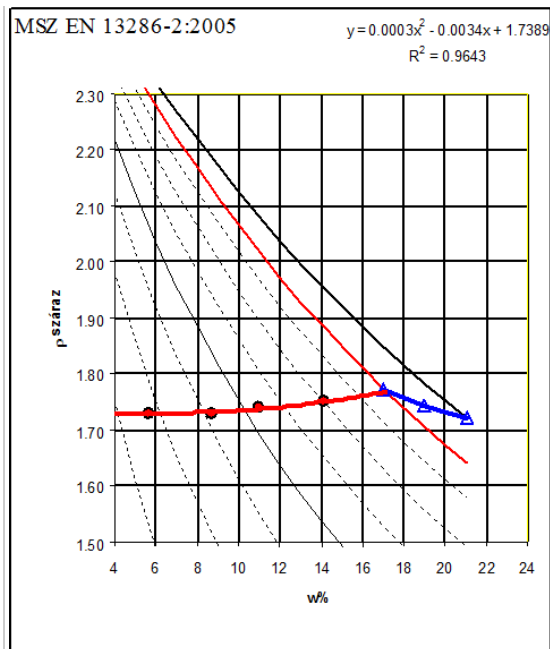
**17. ábra**

*Proctor körvizsgálat: Homokos kavics*

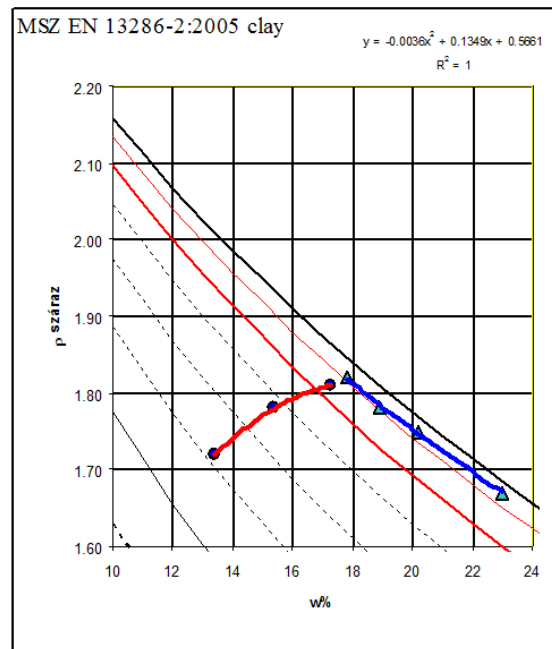
Nem eléggé közismert, hogy a viszonyítási sűrűséggel számított (hazánkban is minősítésre alkalmazott) izotópos tömörségi fok hibája egyes méréseknél elérheti a 4-6Trp%-ot is. A tömöríthetőségi vizsgálat olyan hosszadalmas és körülményes, hogy *nagy mintaszámú mérési sorozat a vizsgálati szórás meghatározására* igen ritkán készül, pedig azt az ÚT2-1.222 is javasolja a próbabeépítések fejezetében. Elemzést végeztünk egy nagyszámú körvizsgálatból (KTI 2005. évi Proctor körvizsgálat), mely a problémát jól bemutatja.

A tendencia jellemzésére a 18. ábrán feltüntettük a nagy víztartalmak tartományában néhány „virtuális” számított értékeket is annak jellemzésére, hogy a jellegzetes Proctor-görbe alakjánál igazoljuk, hogy az a telítési vonalak közé simul a nedves ágba (lásd 17. és 18. ábra).

Nem részletezzük, csak utalunk korábbi publikációinkra, melyben javasoltuk a  $w_{opt}$ -hoz tartozó telítési vonal (például  $S=0,88$  és  $S=0,95$ ) és a száraz ági Proctor-görbe metszéspontjától balra, illetve jobbra eső szakasz szétválasztását. Ennek oka az, hogy az anyag viselkedése döntően megváltozik a nedves ágba és ezért matematikailag sem szabad azonos feltételekkel (azaz egy görbeként) kezelni. A közös pont a két típusú görbe között tény, de ez nem ad felhatalmazást arra, hogy azokat azonos matematikai modellként is egy görbeként kezelhessük.



homok



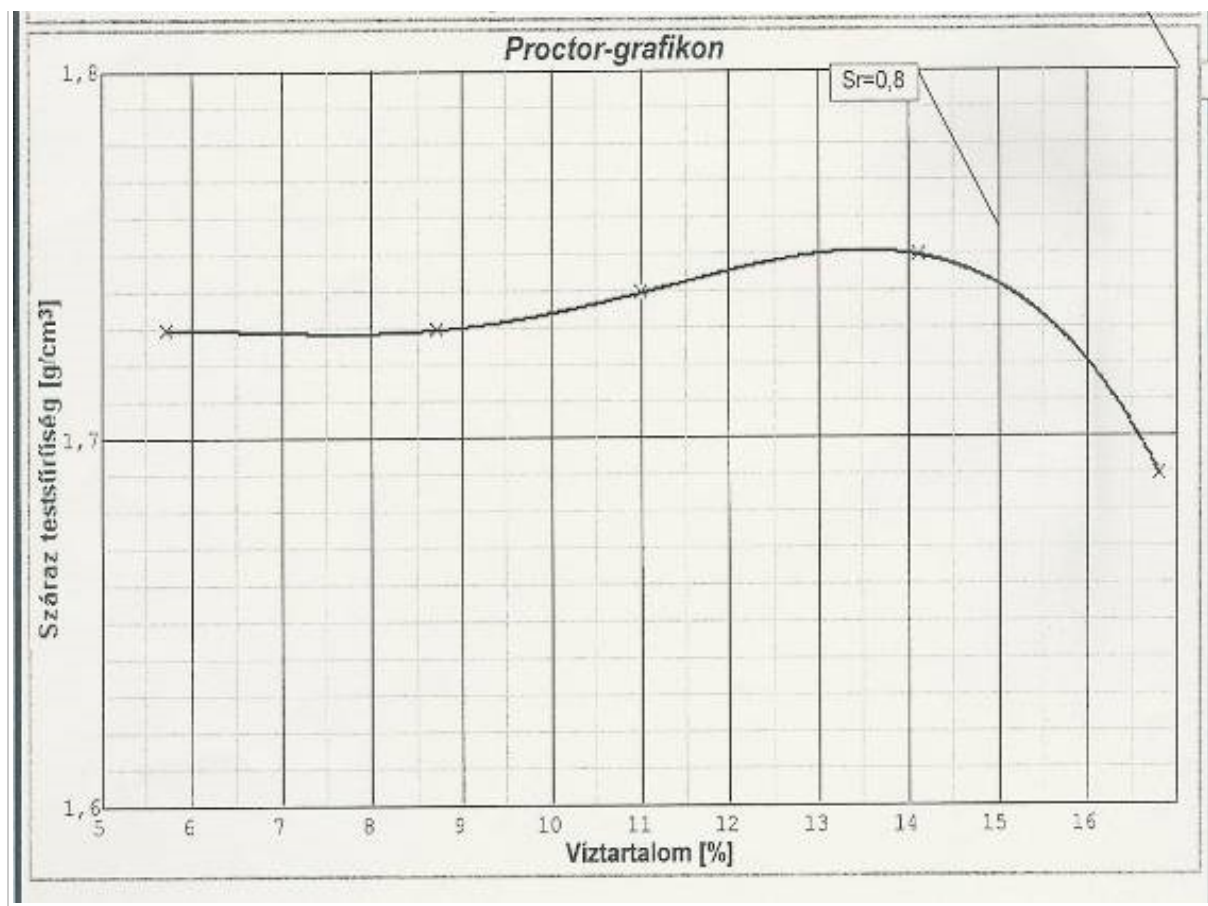
agyag

**18. ábra**

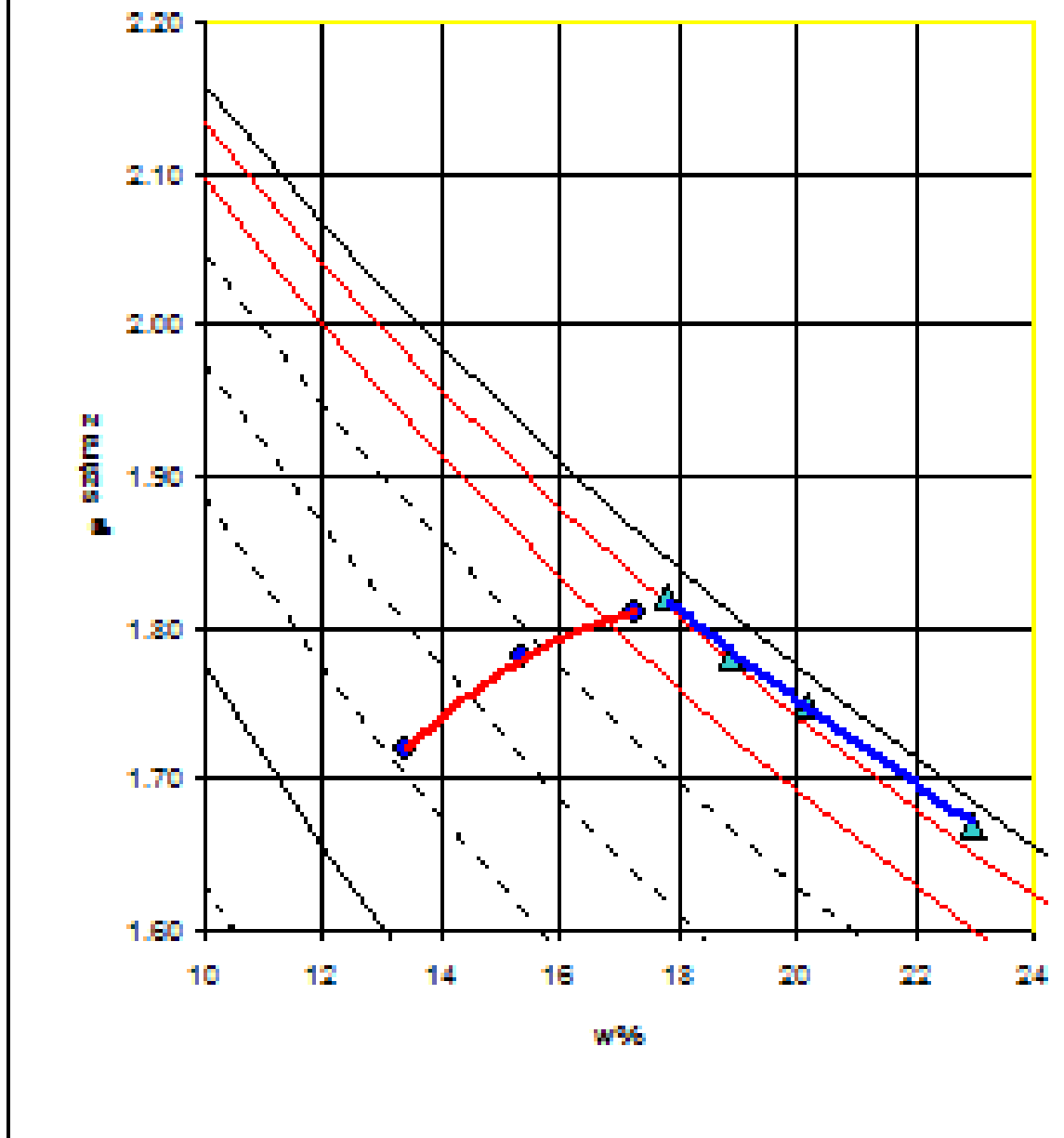
Proctor görbék az „összetett-görbe” feldolgozási módszerrel

A „két szakasz egy görbe” összetett Proctor-görbét értékelő új elméletet (2006 Phong - Subert) szerint vizsgálva megállapítható, hogy *más optimális víztartalmat mutatnak* a feldolgozások, mint a hagyományos módszerrel. Kimutattuk, hogy a száraz ág görbéje többnyire domború, de néha egy egyenes, vagy akár kissé homorú görbe lehet. A nedves viselkedési görbeszakasz mindig jellegzetesen belesimul a telítési vonalak közé és végül közelít  $S=1$  telítettséghez (18. ábra). Mivel magas telítettségénél a helyszíni tömörítés sem lehetséges, ezért nincs értelme a görbe bevonásának a matematikai modellbe. A Proctor-görbe a mért pontokból regressziós analízissel számítható és egyben megadja a dinamikus tömörségméréshez szükséges nedvességkorrekciós görbét is ( $Trw = \rho_{df} / \rho_{dmax}$ ).

Példaként bemutatunk egy jellemző esetet, amikor az optimális víztartalom eltér. Az új feldolgozásban egyértelmű a töréspont. (lásd 19. és 20. ábra).



**19. ábra**  
*Hagyományos feldolgozású Proctor-görbe*

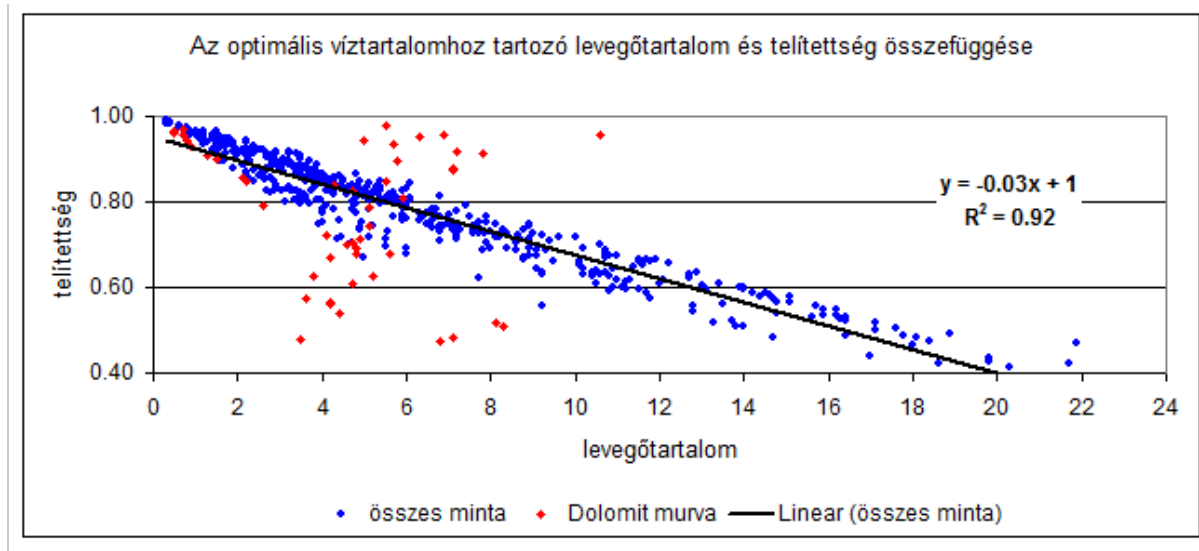


20. ábra

Új módszerrel feldolgozott, összetett Proctor-görbe

### **Telítettség és levegőtartalom összefüggése a tömörséggel**

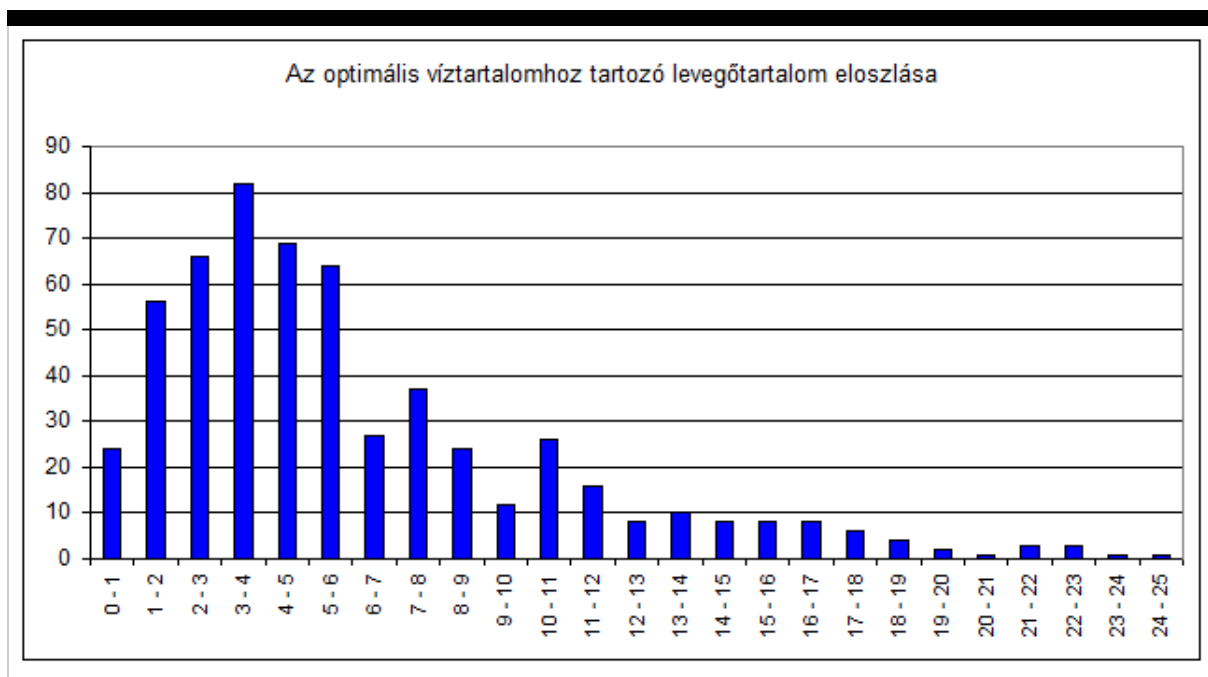
Egy kutatás keretében 566 db Proctor-eredmény feldolgozásával, nyolc különböző hazai anyagra megállapítottuk az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom és telítettség összefüggését. Jellemző, hogy 12 tf%-nál (ÚT2-1.222-ben kötött anyagnál javasolt értéknél) jóval alacsonyabb levegőtartalom adódott általában, az optimálisnak bizonyuló víztartalomnál. Ez az elérhető legnagyobb száraz sűrűségnél helyezkedik el, ami a 100% tömörségi foknak felel meg.



**21. ábra**

A wopt-hoz tartozó levegőtartalom és telítettség általános összefüggése

A regresszió-analízisből összefüggést felállítva a 100% tömörséghez tartozó, optimális telítettség S=88–94 közöttinek mutatkozott. Ez a dinamikus tömörségmérés szempontjából döntő fontosságú, mert dinamikus módszerek csak háromfázisú rendszerekben alkalmazhatók (nagytercsás LFWD, valamint KUAB sem), mert a víz az ütések hatására nem nyomódik össze. A 22. ábra szerint a telítettség javasolt alsó értékét S=0,88-ban jelölhetjük meg, mint ebből a statisztikai vizsgálatból adódó következtetést. E szerint az optimális víztartalomhoz tartozó telítettség közelítően a levegőtartalom háromszoros súllyal levonva egyből.



**22. ábra**

Az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom gyakorisági eloszlása

### Összefoglalás

A dinamikus tömörségmérés fogalma 2003-ban jelent meg a világon, egy magyar K+F nyomán. A módszer egyedülálló, mert nem a sűrűségarányból, hanem az ejtések során mért alakváltozások sorozatából határozza meg a tömörségi fokot, elméletileg levezetett módon és nagyszámú regresszió analízissel igazolva.

A Portugáliai Műszaki Egyetem Geotechnikai Tanszéke (Prof Correia) meghívására, egy kísérleti ottani szakaszon - sok más európai és amerikai műszer és módszer mellett – az új magyar B&C dinamikus tömörség-

és teherbírás mérő berendezés is tesztelésre került. Célunk e kísérleti próbabeépítés során alkalmazott módszerek bemutatása volt a Portugáliai Evora város mellett, ahol egy új, nagysebességű vasútvonal épült.

Az új Magyar dinamikus tömörségmérés gazdasági hatékonysága kiemelkedő. Sem a bekerülési, sem az üzemeltetési költségek nem jelentősek, míg a mérés pontossága az eddig alkalmazott izotópos mérésnél jóval kedvezőbb.

A tanulmány második része bemutatta a Proctor vizsgálat egy új szemléletű, „összetett-görbe” szerinti magyar értékelést az optimális víztartalom és legnagyobb száraz sűrűség megállapítására, valamint egy K+F kutatásban felhasznált 566 db módosított - Proctor eredmény feldolgozásával, nyolc különböző anyagra, regressziós analízissel az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom és telítettség összefüggésével. Ennek eredménye szerint jellemző, hogy 3-4tf% levegőtartalom adódik az optimális víztartalomnál.

### ***Irodalomjegyzék***

Brandl H., Kopf F., Adam D.: Continuous Compaction Control (CCC) with differently excited dynamic rollers. Federal Ministry of Traffic, Innovation and, Road Research Volume 553, Vienna 2005

Correia A. Gomes, Brandl H. (2001) Geotechnics for Roads, Rail Tracks and Earth Structures. A.A. Balkema Publishers, Lisse, NL ISBN 90 2651 844 7

FGSV 516:2003 Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes mit Unterbaues im Straßenbau.

CWA 15846 "Measuring Method for Dynamic Compactness & Load capacity with SP-LFWD"

MSZ 1583 Dinamikus tömörség-és teherbírás mérés SP-LFWD berendezéssel (Measuring Method for Dynamic ÚT2-2.124 (e-UT 09.02.35) Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű-éjtűsúlyos berendezéssel. "Measuring of dynamic compactness and dynamic load capacity with small plate light falling weight deflectometer"

MSZ EN 13286 – 2 "Unbound and hydraulically bound mixtures 2.Test methods for the determination of the laboratory reference density and water content. Proctor compaction"

MSZ EN 13286 – 3 "Unbound and hydraulically bound mixtures 3.Test methods for laboratory reference density and water content. Vibro-compression with controlled parameters"

EN 13286 – 4 "Unbound and hydraulically bound mixtures 4.Test methods for laboratory reference density and water content. Vibrating hammer"

Prof Dr Kézdi (Kalher) Árpád Talajmechanika I-II. TK. 1972. Budapest (Soil Mechanics Part I)

Prof Dr Nemesdy Ervin: Utak és Autópályák Pályaszerkezete TK 1971 Budapest Pavements of Road & Motorways

Prof Dr Nemesdy Ervin: Utak és autópályák tervezési alapjai TK 1974 Budapest

Palotás László: Mérnöki Kézikönyv Műszaki Kiadó

Dr Boromisza Tibor Talajmechanika, Alapozás I Szakközépiskolai Tankönyv

Dr Boromisza Tibor, Bertz Gyula Ébényi Miklós: Építőanyagok TK1974 Az építőipari, az út- és vasútépítési , a vízügyi szakközépiskolák számára

#### **1. Adam & F. Kopf "Operational devices for compaction optimization and quality control"**

A.Petkovsek (2006): Report on usage of Andreas dynamic load bearing capacity and compactness deflectometer University of Ljubljana Katedra za mehaniko tal z laboratorijem. 2006 Ljubljana

Panarat (2006): Comparison of B&C LFWD and sand filling method –Ramkhamhaeng University, Thailand

Subert (2015): CWA15846:2008 Modification Draft and Main Background Studies. Engineering Geology – Rock Mechanics 2015 Congress. BMGE Hungary. p.:379-394

Subert (2015): Önellenőrzés - Stabilizációk tömörség és teherbírás mérése / Self control - Compaction-rate & Bearing Capacity Measuring on Stabilizations. Kézdi Á Konferencia Budapest 2015

Subert (2015): Egyszerűsített és módosított Proctor-vizsgálati eredmények összehasonlítása. Hozzászólás Dr Szendefy János – Vámos Máté cikkéhez. Műszaki Ellenőr-Építési Hibák kiadványa Mélyépítés és Geodézia

2015/05

Subert I. - Phong T.Q.: "New intendments of Proctor tests" Mélyépítéstudományi Szemle 2007

Király Á. – Subert I.: The questions of efficiency of the quality tests of earth works in Hungary

Dr J.Pusztai– Dr E.Imre– Dr J.Lőrincz– I.Subert – T.Q.Phong: "Development of large surface dynamic compactibility measurements with location identification and the continuous on site measuring of the sinking of the compacting cylinders" Report of COLAS K+F year 2007.

Subert: Method for measuring Compactness-rate with New Dynamic LFWD. XIII. Danube-European Conference on Geotechnical Engineering Ljubljana, Slovenia, 2006

Subert I.: „Dynamic compactibility measurements on Hungarian highways and reconstruction in cities" Geotechnical Conference 2006 in Ráckeve, Hungary (17-18. October 2006.)

Fáy M. - Király Á. - Subert I.: "Modelling of the use of city traffic with new measurement of dynamic compactness and dynamic bearing capacity" Városi Közlekedés, 2006

Fáy M. - Király Á.: - Subert I.: "Recovering and solution of an earth work-compactness anomaly" Mélyépítéstudományi Szemle. 2006

Subert I.: „Actual questions of dynamic compactibility measurement. New experiences of dynamic compactibility measurement." Geotechnical Conference 2005 Ráckeve, Hungary.

Subert I.: „New, environmental friendly, economical measuring gauges in traffic constructions" Geotechnical Conference 2004 Ráckeve, Hungary.

Subert I.: „New parameters of dynamic compactness and load bearing capacity measurements and the questions of conversion of the modulus." Közúti és Mélyépítési szemle 55. évf. 2005. 1. sz.

### *Adatok*

*Megjelent itt*

**6. szám**

2015. ősz



---

### *Szerző*

#### **Subert István**

Subert István okl.építőmérnök, okl.közlekedésgazdasági mérnök Andreas Kft. Budapest

---

### *Témakörök*

Földművek

### *Kulcsszavak*

*Befogadva*

2015. december 7.

---



---

## 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](#)

[Szakolvasó](#)

[Témakörök](#)

---

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



# A Széchenyi Lánchíd és a Várhegyi Alagút felújítása – A Közlekedési tanulmányterv tanulságai

Szerző(k) **Horváth László**

## Kivonat

*A Széchenyi lánchíd és a Várhegyi alagút küszöbön álló felújítása lehetőséget adott a térség közlekedési helyzetének elemzésére, a konfliktus pontok feltárására. A forgalom zavartalanabb lefolyásának elősegítésére két lényegesen eltérő változatot vizsgáltunk. Az első szerkezeti átalakításokkal járna, így örökségvédelmi szempontból került elvetésre. A második közlekedéspolitikai elhatározás, átszervezés kérdése, mely a döntéshozók álláspontja szerint nem időszerű. Vajon megengedheti-e magának Budapest, hogy a szívében majd 3 km hosszon a Dunán ne lehessen személyautóval átkelni? Vagy épp a részleges korlátozások tennék többek számára átjárhatóvá a hidat? Tanulmányunkban igyekeztünk részletes képet alkotni a lehetséges hatásokról, azonban a felújítás alatti lezárás tapasztalatai lehetnek az igazán mérvadóak.*

## 1. Bevezetés, a felújítás indokoltsága

A Széchenyi lánchíd 2011. évben történt fő- és célvizsgálata a híd szerkezetének jelentős károsodásait mutatta ki (1). A vizsgálat szerint a legutóbb 1988-ban felújított híd pályalemezének gyakorlatilag nincs kiemelt szegélye, a víznyelők környezetében szinte teljesen tönkrement. Az alatta lévő hossztartó teherbírása lényegesen lecsökkent az övlemez szelvényhiánya miatt, az elkorrodálódott víznyelők következtében további szerkezeti részek is súlyosan károsodtak. Az anyagvizsgálati eredmények szerint a pálya szigetelése is elérte garantált élettartama végét. Ez azt jelenti, hogy az átnedvesedett betonban lévő betonacélok már veszélyes környezetben vannak, szelvényhiány már felléphetett, a vasbetonlemez teherbírása ismeretlen, a híd felújítása már nem halogatható sokáig.

A Várhegyi Alagút 1973-ban történt felújítása óta 42 év telt el. Az azóta tönkrement szigeteléseken keresztül bejutó talajvíz folyamatos problémát jelent, károsítva a szerkezeti elemeket, amelyek következtében a belső mozaik burkolatból leváló darabok veszélyeztethetik az alagútban közlekedőket. A Várhegyi Alagút 157 évvel ezelőtt épített téglá boltozatának teherbírása a magminta vizsgálati eredmények szerint általában megfelelő, de lehetnek szakaszok, ahol a vártnál vékonyabb falvastagság és folyamatos vizesedés miatt a téglafalazat teherbírása már nem nyújtja az elvárt biztonságot.

A két létesítmény forgalmi szerepe egymástól nem különíthető el, így időszerű felújításuk szükségszerűen együtt kezelendő.

Mindezt felismerve a Fővárosi Közgyűlés határozatot hozott a felújításról, mely alapján 2013 decemberében a BKK a tervek elkészítésére szerződést kötött a közbeszerzési eljáráson nyertes FŐMTERV-MSc-CÉH Konzorciummal. A tervezés első fázisában a műemlékvédelmi szempontokat szem előtt tartó szerkezeti és építészeti megoldásokat bemutató és elemző tanulmányon kívül, a híd és az alagút tágabb környezetét vizsgáló közlekedési tanulmány is készült az idők során megváltozott forgalmi viszonyok, a Belváros térségére vonatkozó közúti forgalomcsillapítási, módváltó és turisztikai szempontú városfejlesztési irányelvek fokozott figyelembe vételével.

A tanulmányterv összeállítása során meghatározó szempont volt az a felelősség, amely első állandó Duna-hidunk, hazánk egységének egyik meghatározó szimbóluma, a hidak városának, fővárosunknak, Budapestnek egyedülálló jelképe, pártatlan örökségünk rekonstrukciója során viselnek az abban részt vevők. A közlekedési tanulmány készítésekor azonban mindentől elrugaszkodva vizsgáltunk kollégáimmal különböző variációkat, melyek hatásának bemutatása (akár elrettenő szempontból is) szükséges a felelősségteljes döntések meghozatalához.

## 2. Forgalmi adatok

Forgalomszámlálás a Széchenyi lánchídon 2012. szeptember 11-én és 2014. január 8-án készült, az adatokat az alábbi táblázatok tartalmazzák. A 2014-es számláláskor külön figyelembe vettük a taxik arányát és mivel ekkor már 3,5 t-s súlykorlátozás volt érvényben a hídon, tehergépjárművek nem szerepelnek a táblázatban.

Forgalom [jármű/óra]						
óra	kerékpár	motorkerékpár	szgk.	tgk.	autóbusz	S
7-8	214	40	1 519	27	45	1 845
8-9	323	97	2 022	29	46	2 517
9-10	263	84	1 706	38	63	2 154
15-16	138	94	1 544	13	52	1 841
16-17	197	110	1 483	21	54	1 865
17-18	286	119	1 632	18	46	2 101
18-19	302	110	1 620	8	38	2 078
S [db]	1 723	654	11 526	154	344	14 401
S [%]	12%	5%	80%	1%	2%	100%

**1. táblázat**

A Lánchíd órás keresztmetszeti forgalma 2012.09.11.

Forgalom [jármű/óra]						
óra	kerékpár	motorkerékpár	szgk.	taxi	autóbusz	S
7-8	55	14	1 677	79	44	1 869
8-9	96	26	1 743	104	46	2 015
9-10	82	21	1 674	171	35	1 983
15-16	71	31	1 596	123	46	1 867
16-17	91	26	1 562	127	44	1 850
17-18	80	24	1 446	136	40	1 726
18-19	78	21	1 384	170	37	1 690
S [db]	553	163	11 082	910	292	13 000
S [%]	4%	1%	85%	7%	2%	100%

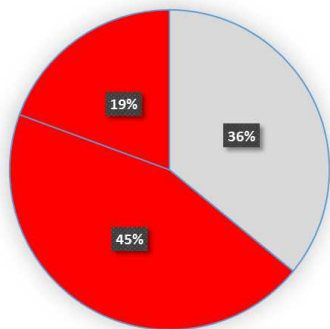
**2. táblázat**

A Lánchíd órás keresztmetszeti forgalma 2014.01.08.

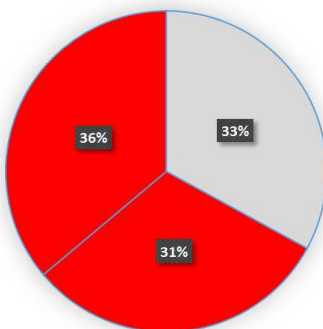
A 3 + 4 órás számlálási adatokat áttekintve két év alatt nem történt számottevő változás a gépjármű forgalom nagyságát illetően. A 2012 szeptemberében történt számláláskor a kerékpározók 12%-os aránya a járművek között kiugróan magas, s a 2014 januárjában történt számláláskor, a tél ellenére mért 4%-os arány a fővárosi átlag feletti.

A BKK Zrt. megrendelésére 2014-ben készült „Kerékpáros forgalom elemzése Budapesten” (2) című tanulmány során szintén több alkalommal zajlott kerékpáros forgalomszámlálás a Lánchídon. Az eredmények **2400 – 2700** kerékpáros/nap/két irány körüli értékeket mutattak a kerékpározás szempontjából alkalmas időjárási körülmények között. A mérésekkor regisztrálták a felületválasztást is. Az eredmények szerint a kerékpárosok nagyjából **egyharmada** választja az úttestet, míg a maradék **kétharmad** valamelyik járdán halad (1. ábra).

Lánchíd kerékpáros forgalma Pest felé



Lánchíd kerékpáros forgalma Buda felé



úttesten  
 járdán (déli)  
 járdán (északi)

úttesten  
 járdán (déli)  
 járdán (északi)

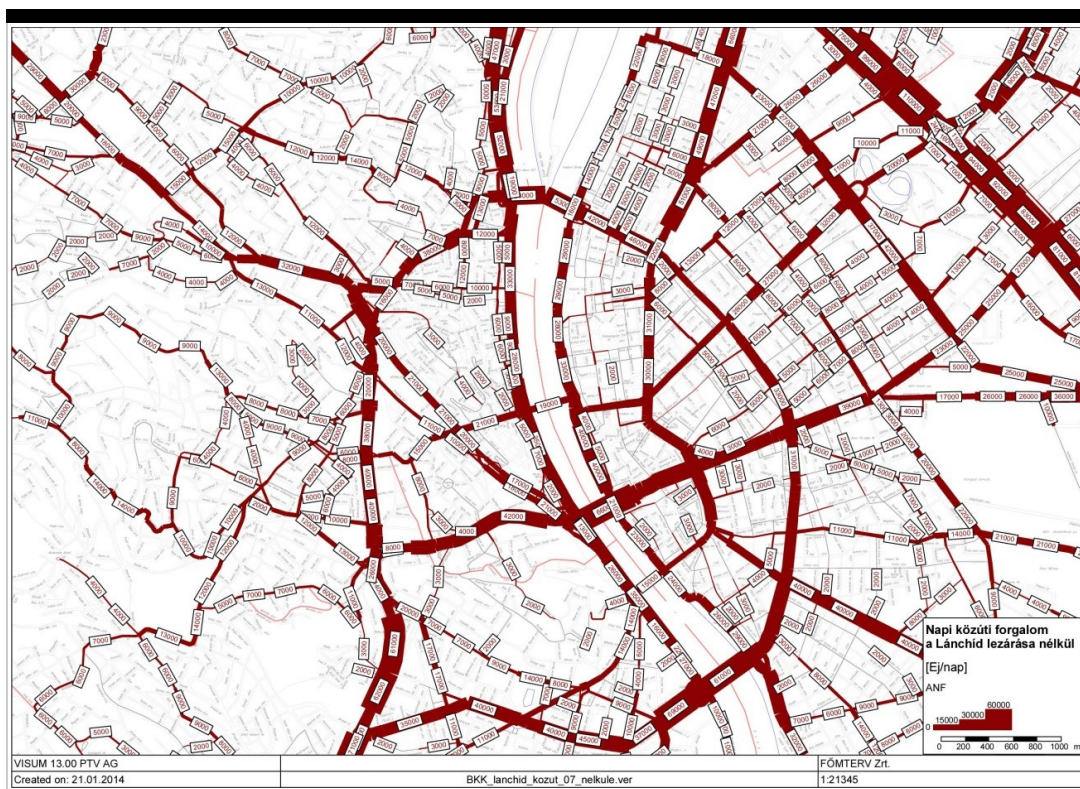
1. ábra

A kerékpáros forgalom felületválasztása a Lánchídon, 2014.

Hasonló a helyzet a Várhegyi Alagútban is, ahol megfelelő időjárási feltételek mellett a naponta elhaladó 1700 kerékpáros nagyjából negyede választja a közutat, a többiek a déli oldali járdán közlekednek.

### 3. Forgalmi modell bemutatása

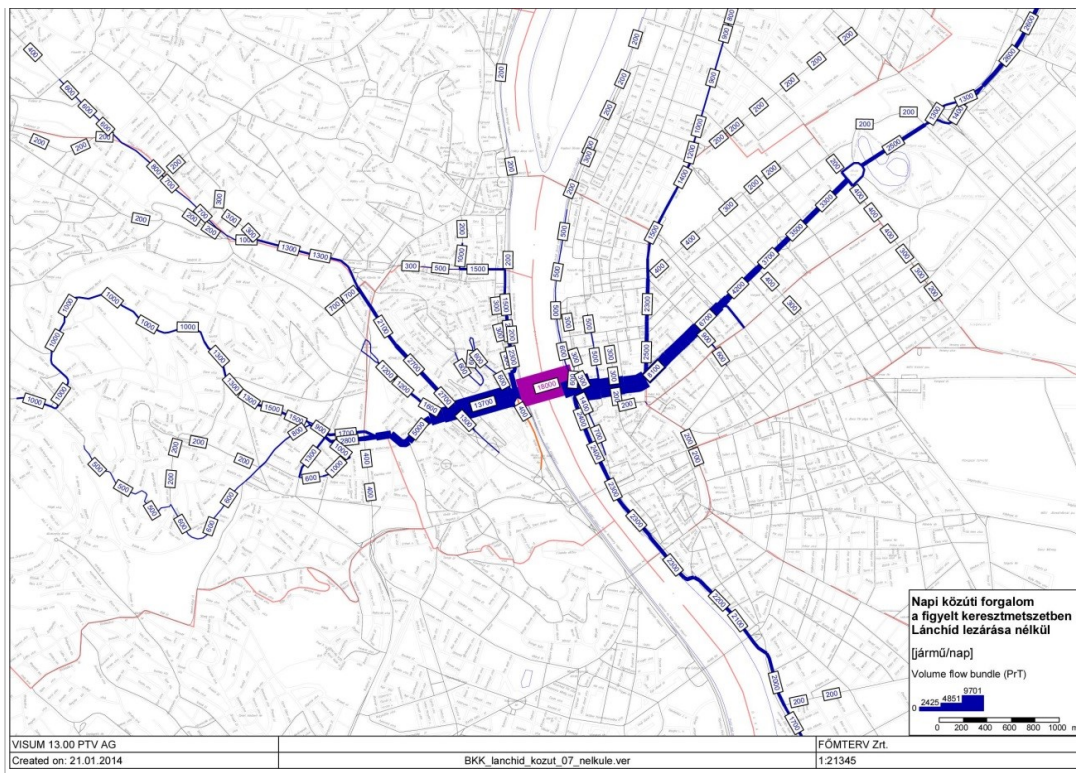
Forgalmi modellt készítettünk, amely Budapestre és annak agglomerációjára terjed ki. A közúti közlekedési hálózati modell tartalmazza a teljes gyorsforgalmi és főúthálózatot, valamint a gyűjtő utakat és esetenként a lakó, illetve kiszolgáló utakat is. A közösségi közlekedési hálózati modell tartalmazza a BKK, MÁV és Volán hálózatot és járatait. Fontos hangsúlyozni, hogy a felhasznált forgalmi modell a motorizált forgalmakra lett kialakítva, a kerékpáros forgalmakat ennek megfelelően nem tartalmazza, valamint a motorkerékpáros forgalom az idényjellege és kis aránya miatt nem szerepel a modellezésben. Az alábbi ábrák a modellünk szerinti belvárosi napi közúti, illetve a Lánchídon áthaladó napi közúti és tömegközlekedési forgalmakat mutatják.



2. ábra

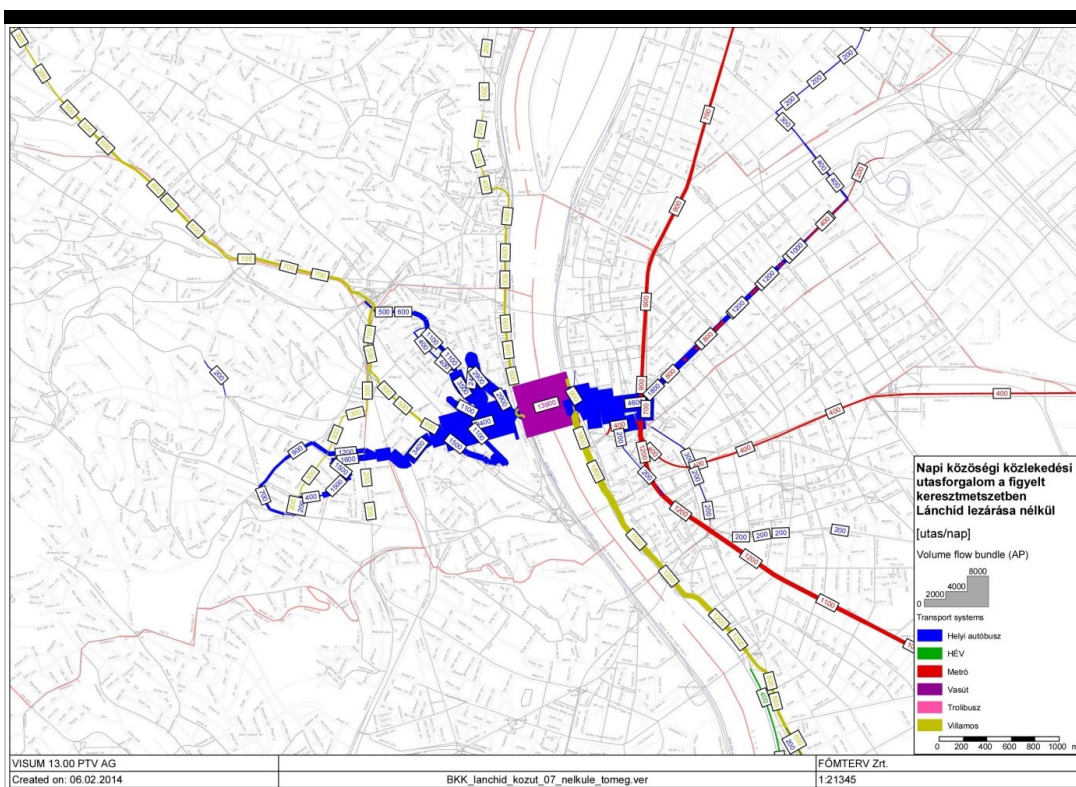
A modellezett napi közúti keresztmetszeti forgalom, 2014-ben





**3. ábra**

A Lánchídon áthaladó modellezett napi közúti keresztmetszeti forgalom, 2014-ben



**4. ábra**

A Lánchídon áthaladó modellezett napi közúti keresztmetszeti forgalom, 2014-ben

Megfigyelhető, hogy a Lánchíd közúti forgalma nagyrészt az I; XII. kerület, valamint az V. VI. és XIII. kerületbe tart és a forgalom 75%-a a Várhegyi Alagút – József Attila utca útvonalon közlekedik tovább. A közeli kapcsolatok biztosítása mellett látható egy dél-pesti irányú és egy M3 autópálya felé tartó nagyobb távolságú gépjármű forgalom is.

A Széchenyi lánchídon modellünk szerint naponta 14 000 utas halad át tömegközlekedési járművel. Két nappali autóbuszvonalt használja a hidat (a 16-os és a 105-ös), valamint a 916-os éjszakai járat. A 16-os autóbusz

járatnak 320, míg a 105-ös autóbussznak 250 a napi menetszáma két irányban, míg az éjszakai járatnak összesen 6 indulása van két irányban.

A gyalogos forgalmat elsősorban a turisztikai időszak határozza meg, főként az idelátogató városnézők lépik el a híd járdáját. A nagyobb létszámú turistacsoportok megjelenésekor lehet számítani gyalogos „torlódásokra”, különösen a kapuzatok környezetében megállók, a budapesti panorámában gyönyörködők okán.

Összehasonlítva Budapest többi hídjával, a Széchenyi lánchíd a fővárosi forgalom lefolyásában kisebb szerepet tölt be. A gépjármű és tömegközlekedési adatokat a forgalmi modellünkre alapozva mutatjuk be, míg a kerékpárosok adatai a fent említett 2014. évi forgalmi elemzésre támaszkodnak.

	Közúti forgalom, [Ej/nap]	Tömegközlekedési forgalom, [Utas/nap]	Kerékpáros forgalom, [Kp/nap]
Megyeri híd (M0)	46 000		
Árpád híd	112 000	45 000	2900
Margit híd	53 000	130 000	~4000*
Széchenyi lánchíd	19 000	14 000	2400
Erzsébet híd	66 000	95 000	
Szabadság híd	15 000	17 000	
Petőfi híd	61 000	43 000	~ 600**
Rákóczi híd	87 000	34 000	3000
Deák Ferenc híd (M0)	104 000		

**3. táblázat**

*Budapesti hidak forgalmi adatai (modellezett gépjármű, tömegközlekedés és számolt kerékpáros adatok)*

ahol:

\* - csúcsórai mérésből becsült

\*\* - csúcsórai mérésből becsült, a híd járdájára tereő forgalmi átalakítások előtt

A „Budapest és agglomerációjának teljes területére egységes forgalmi modell” című projekt keretében 2013-ban végzett felvételek alapján a Fővárosban a személygépjármű foglaltság 1,28 (azaz nagyjából három autóra négy fő jut) (3). A fenti adatokból kiderül, hogy a hídon járművel átkelők közül nagyjából 60% autóval, 34% busszal 6% kerékpárral közlekedik.

Annak ellenére, hogy a Széchenyi lánchídon nincs semmilyen kijelölt kerékpáros infrastruktúra, sőt, a kerékpárral történő átkelés a fővárosi hidak közül talán a legtöbb konfliktussal jár, Budapest jól kerékpározható, kijelölt útvonalaival összehasonlítva magasnak mutatkozik a 2400 kp/nap érték.

	[Kp/nap]
Veres Péter út, Jókai utca (2 irány)	647
Szerémi út - Hauszmann A. u. (2 irány)	1274
Nánási út, Pók utca (2 irány)	1595
Újpest rakpart, Gogol utca (2 irány)	1819
Andrássy út (2 irány)	2425
Múzeum körút (1 irány)	2565
Bem rkp. (2 irány)	4732
Műgyetem rkp. (2 irány)	7756

**4. táblázat**

*Kerékpáros forgalom elemzése Budapesten a 2014. évben*

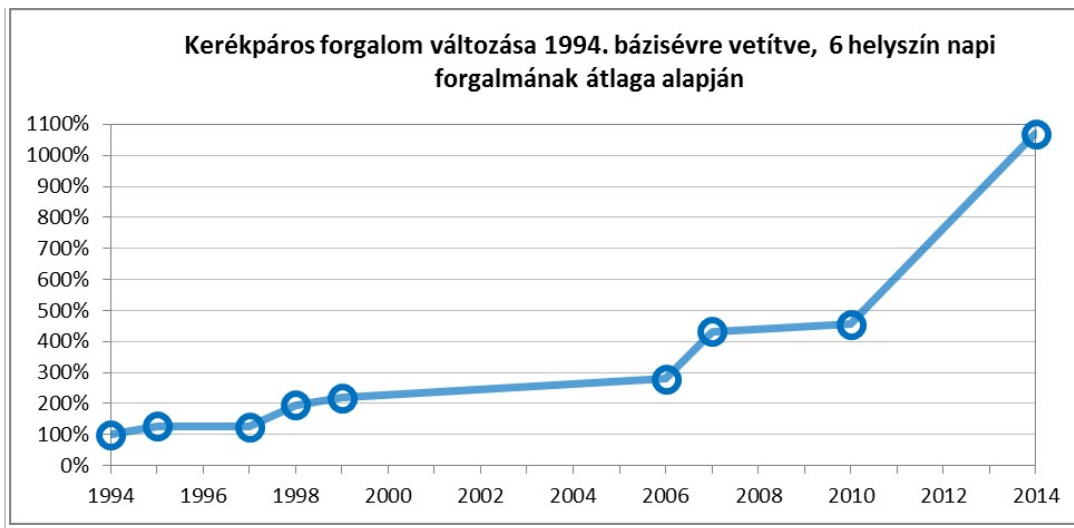
#### 4. Kerékpáros átvezetés fontossága

Történelmi távlatból tekintve korábban is problémát jelentett a hídon való kerékpáros átkelés, derül ki a Budapest folyóirat 1945/2. számában megjelent „Dunahidak jelentősége a főváros életében” című elemzésből (4). A leírtak szerint „lábbal hajtott járművek” egyáltalán nem használták a hidat, aminek egyszerű oka volt a „Magyar cserkész könyvei” 1930-ban megjelent 129. száma szerint (5). A Magyar Cserkészszövetség kiadványa leírja, hogy a Lánchídon és az Alagútban 9 – 21 óra között tilos volt kerékpározni és a „gyalogjárón” még tolni sem volt szabad azt. Ennek egyik oka lehet, hogy a híd 2,18 m széles járdáin egy 1931-ben történt számláláskor 7-20 óra között **25 261 fő** kelt át, ami önmagában lehetetlenné teszi a kerékpárosok gyalogosok közötti közlekedését. Másrészt a két kapuzatnál 5,40 m-re szűkülő útpályán állandó torlódások lehettek, különösen buszok szembetalálkozásakor, így ott szintén veszélyesnek, vagy zavarónak tekinthették a kerékpárosokat. Az alábbi, 1945-ben megjelent összefoglalóból származó ábra másik tanulsága, hogy a többi budapesti hídon a járművek legalább harmada kerékpár volt, ami jócskán meghaladja a mai forgalmi arányokat.



**5. ábra**  
*Budapesti hidak forgalma, 1938*

Napjainkban a kerékpáros közlekedés újból egyre nagyobb szerepet kap a főváros közlekedésében, melyet a BKK Zrt. megrendelésére készült kerékpáros forgalmi elemzés 2014-ben egyértelműsített, összehasonlítva 10 év forgalomszámlálási adatait. A több mint tízszeres növekedés új kihívások elé állítja a városi közlekedés összes szereplőjét, a döntéshozókat, tervezőket, üzemeltetőket, de leginkább magukat az úthasználókat. A Széchenyi lánchídról és tágabb környezetéről készített közlekedési tanulmány célja a megváltozott forgalmi helyzethez való alkalmazkodási lehetőségek széles körű vizsgálata volt.



**6. ábra**

*Kerékpáros forgalom nagyságának változása, 1994. bázisúra vetítve, 6 helyszín átlaga alapján, tavaszi hétköznapi mérés a belső városrészben (BKK, 2014)*

## 5. Kerékpáros és gyalogos forgalom konfliktusai a hídon és annak környezetében

Torlódások alakulnak ki nap, mint nap a Lánchíd 6,45 m széles útpályáján, a motorosok és kerékpárosok hol a záróvonalon, hol a pálya szélén próbálnak „át szalomozni” a hídon. A kerékpárosok kétharmada azonban a járdát választja, ahol elsősorban a helyi viszonyokat nem ismerő, rájuk nem számító turistákkal kerülnek konfliktusba. A szűk, 2,18 m szélességű járda az oroszlánoknál 1,55 m-re szűkül, míg a kapuzatoknál lévő iránytörések teljesen beláthatatlanná teszik az útvonalat.



**7. ábra**

*Az oroszlánoknál lévő szűkület és beláthatatlan kapuzat*

További, kiemelten balesetveszélyes helyszín a híd budai oldalán, a felső rakparti közös gyalog- és kerékpárút hídfőben található alagútja, valamint a Várhegyi Alagút 1,90 m szélességű járdáján való átkelés.





**8. ábra**

*Budai hídfő alagútja, Várhegyi Alagút Attila út felől bejárata*

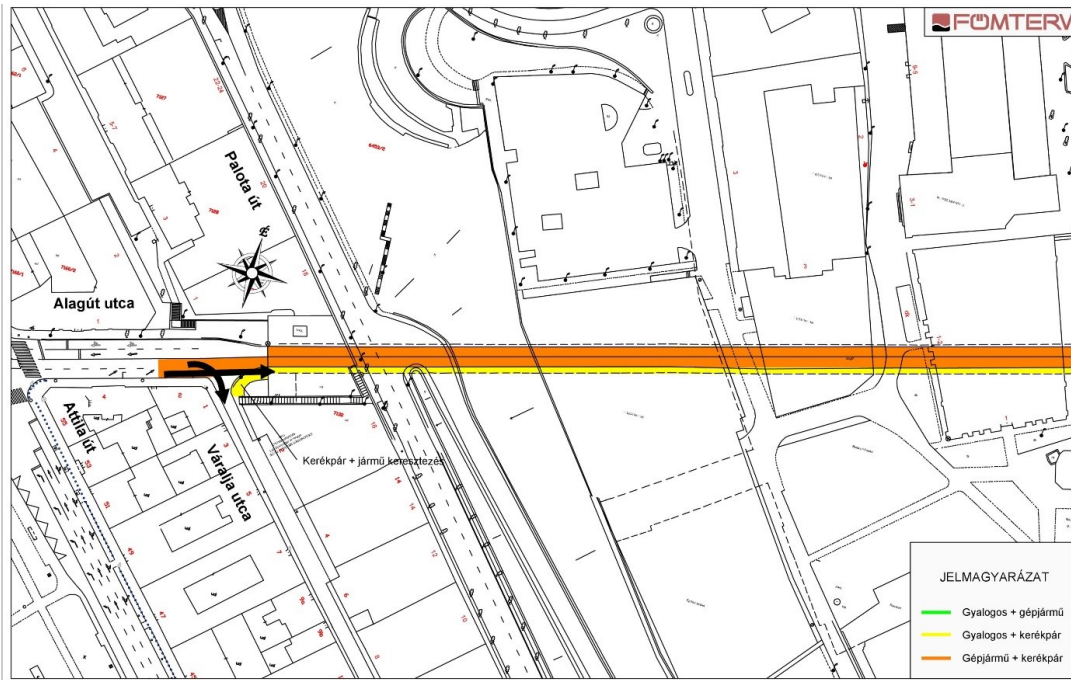
A tanulmány során megvizsgáltuk a regisztrált baleseteket, azonban ezen adatok megtévesztőek lehetnek, mivel csak gépjármű érintettségekor kerülnek rögzítésre, így kimaradnak a kerékpáros – kerékpáros, illetve a gyalogos-kerékpáros között bekövetkező ütközések.

Baleset helyszíne / Baleset természete	Alagút utca	Alagút	Clark Ádám tér	Lánchíd	Széchenyi tér
Azonos irányba haladó járművek összeütközése	18	1	12	1	9
Egyenesen haladó és kanyarodó járművek ütközése	5		2		3
Keresztező irányba haladó járművek összeütközése	9	1	4		3
Szembe haladó járművek összeütközése	4	1		1	5
Megcsúszás, farolás, felborulás az útpályán	1		1	1	2
Pályaelhagyás, szilárd tárgynak ütközés az útpályán kívül	3				3
Pályaelhagyás, szilárd tárgynak ütközés nélkül	0		2		1
Gyalogos elütése	17	1	9	1	11
Egyéb	1			1	1

**5. táblázat**

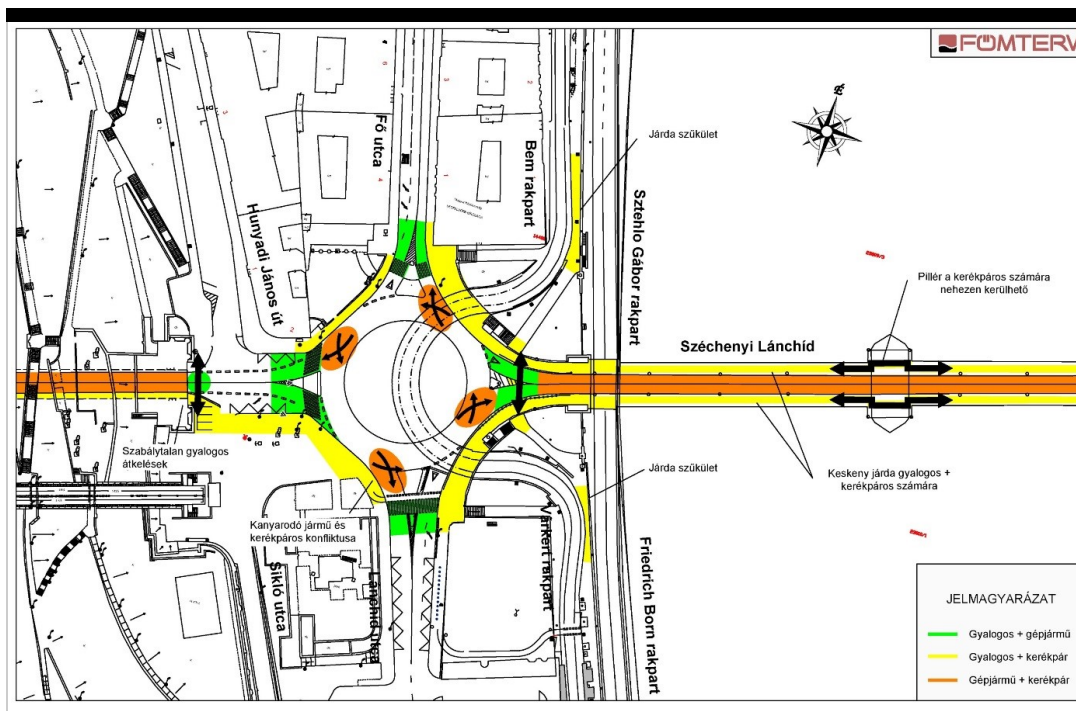
*Baleseti típusok megoszlása a Lánchíd környezetében (2002 – 2013 között)*

Az alábbi ábrákon az egyes konfliktus típusok szerepelnek, a résztvevők szerint megkülönböztetve. Ezek közül a hídfőkben a szabálytalan gyalogos mozgások (szintén elsősorban turisták) jelentették talán a leggyakoribb veszélyhelyzetet.



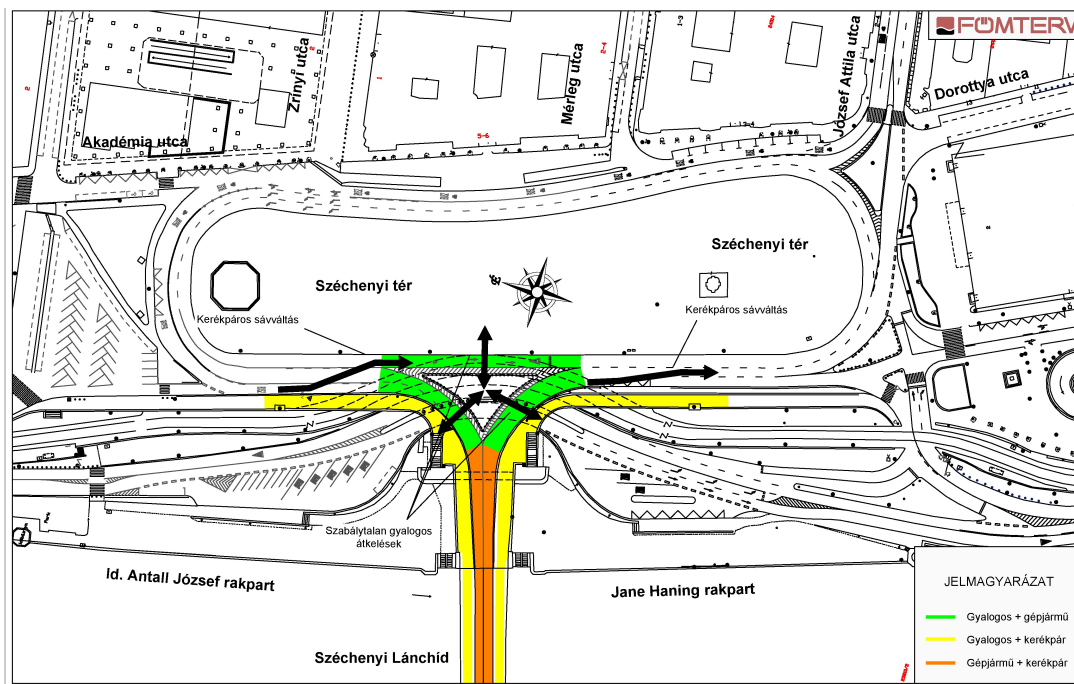
**9. ábra**

Konfliktus területek a Lánchíd környezetében, Alagút utca



**10. ábra**

Konfliktus területek a Lánchíd környezetében, Clark Ádám tér

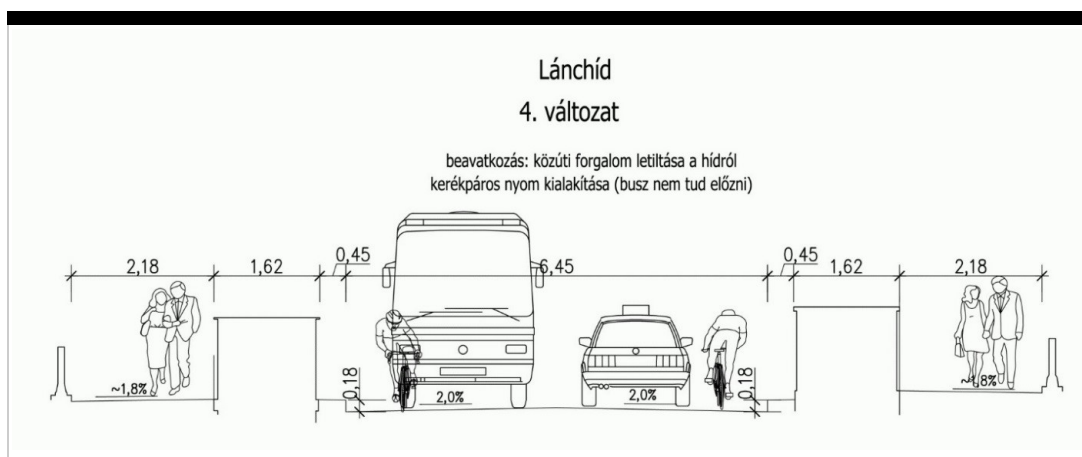


**11. ábra**  
Konfliktus területek a Lánchíd környezetében, Széchenyi tér

A bemutatott konfliktus helyzetekre két megoldási irány mutatkozik. Első esetben a kerékpárosokat inkább a gépjárművektől kívánjuk elválasztani, másodikban a gyalogosoktól. Mindezek értékelése más belvárosi és más külterületi környezetben, nem is beszélve a Lánchíd esetében jelentkező műemléki szempontok fokozott figyelembe vételéről.

## 6. Megoldási javaslatok és elrendezési vázlatok

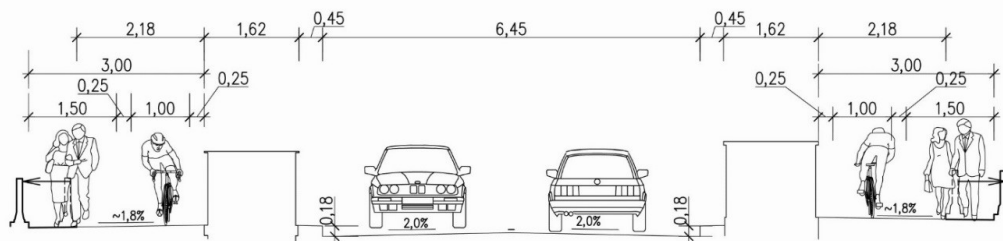
Ha gépjárművektől elválasztva, a híd járdáján kerülnek átvezetésre a kerékpárosok, az a mai 2,18 m szélességen nem képzelhető el. Ezért a járda 4,00 m-re, illetve 3,00 m –re történő szélesítését vizsgáltuk, mind szerkezetépítési, mind közlekedési szempontból.



**12. ábra**  
A Lánchíd keresztmetszete: Folyópálya, 2,18 m széles járdával (jelenlegi állapot)

### Lánchíd 3. változat

beavatkozás: kétoldali járda + 82cm (konzol átépítése)  
Elválasztott kétoldali egyirányú kerékpárút és gyalogjárda kialakítása  
UME-nek nem felel meg, kisebb beavatkozások a híd szerkezetén

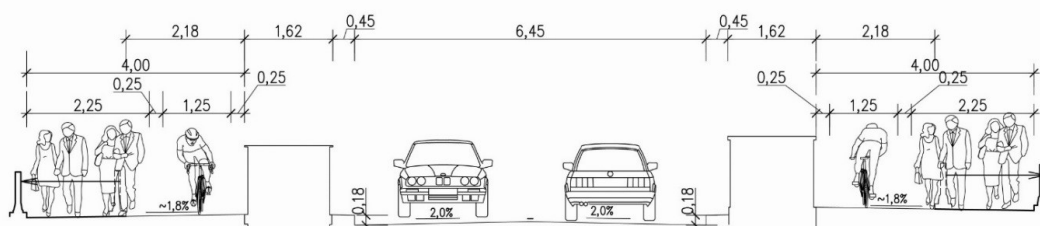


**13. ábra**

A Lánchíd keresztmetszete: Folyópálya, 3,00 m széles járdával

### Lánchíd 2. változat

beavatkozás: kétoldali járda + 182cm (konzol átépítése)  
Elválasztott kétoldali egyirányú kerékpárút és gyalogjárda kialakítása  
UME-nek nem felel meg, de a gyalogosoknak indokolt a több hely

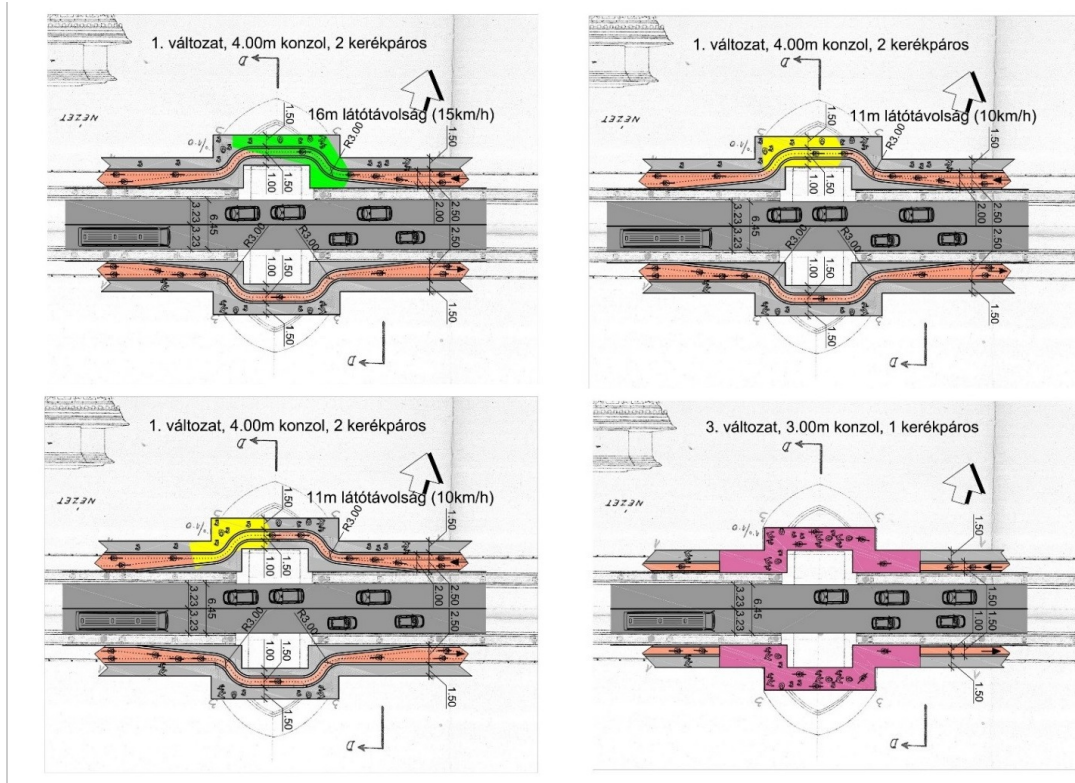


**14. ábra**

A Lánchíd keresztmetszete: Folyópálya, 4,00 m széles járdával

Amennyiben 4,00 m-re szélesedne a járda, úgy kétoldali egyirányú, irányhelyes kerékpárút (északi oldalon Buda felé, délen Pest felé) alakítható ki és a gyalogosok számára fennmaradó hely a jelenleginél néhány cm-el szélesebb lenne. A 3,00 m-es járda esetében már csak szűkített kerékpárút és a mainál szűkebb gyalogos felület jön létre, gyakorlatilag a mai konfliktus helyzeteket hosszútávon konzerválva. Mindez a folyópálya szakaszokat jelenti, további konfliktus pont a kapuzatok kikerülése, ahol 3,00 m-es járdaszélesség esetében az egyirányú kerékpárutat mindenképpen meg kellene szakítani.





**15. ábra**  
*Kapuzat beláthatósága 4,00 m-es és 3,00 m-es járdaszélesség esetében*

Felmerült, hogy az egyik oldali járda csak a kerékpárosok, a másik csak gyalogosok számára legyen fenntartva, azonban ez több szempontból is aggályos. Egyrészt nehéz lenne a gyalogosok tiltásának érvényt szerezni (különösen a turistákat figyelembe véve, hiszen mindkét oldalról van mit megcsodálni...), másrészt a környező kerékpáros létesítményekhez való kapcsolódás is problémát jelentene.

Szerkezetépítési szempontból a 4,00 m-re történő bővítés már jelentős önsúly növekedést okozna, a járdakonzol bekötés szerkezeti beavatkozást igényelne. A 3,00 m-re való szűsítés okozta terhelés növekedés kezelhető, a konzolbekötés a jelenlegi szegecselts kapcsolatot minimális módosítással megvalósítható.

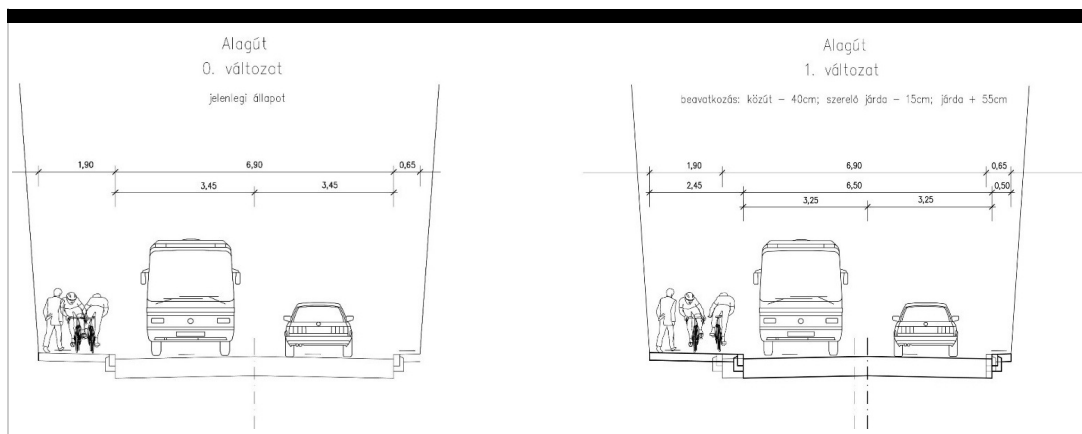


**16. ábra**

A 3,00 m szélességű járda a kerékpáros közlekedés szempontjából nem hozna számottevő fejlődést, azonban a jelenlegi feltételeken mindenképpen javítana, különösen a kapuzatoknál. A Megbízó BKK Zrt. álláspontja alapján: „a Lánchíd műemléki karakterét, látványát érdemben nem változtatja meg, azonban jelentősen javít a járdát használók áthaladásának feltételein” (6).

Ezzel szemben, a tanulmány készítése óta lezajlott Központi Építészeti Tervtanács nem tartott indokoltnak és elfogadhatónak semmilyen mértékű bővítést a híd jelenlegi keresztmetszetében (7), így ezen változatok mindegyike elvetésre került.

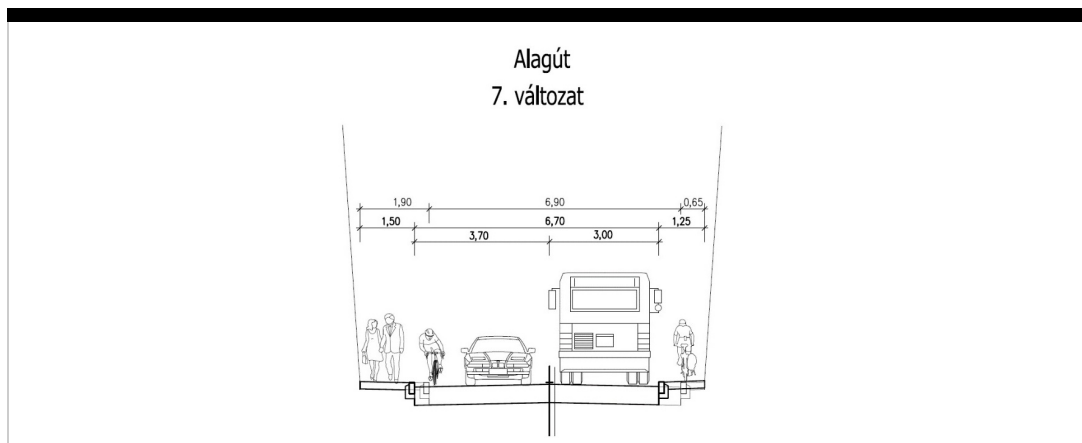
A Várhegyi Alagút keresztmetszetének a megváltozott forgalmi igényeknek megfelelő átalakítása nem vet fel műemlékvédelmi kérdéseket, a legfontosabb szempont, hogy a Lánchídon és a kapcsolódó úthálózaton létrejövő megoldáshoz illeszkedő végeredmény valósuljon meg. Jelenleg az alagútban, a híddal hasonlóan a kerékpárosok nagyobb része választja a járdát. Itt a szórványos gyalogos forgalommal osztozik a kétirányú kerékpáros forgalom a mindössze 1,90 m széles felületen. A tervezett változatoknál meghatározó szempont volt, hogy az alagút Clark Ádám tér felőli kapuzatának helységében, a felújítás után kiállító tér kerül elhelyezésre, aminek bejárata a Budavári Sikló felőli gyalogos megközelítés miatt a déli oldalon lesz, így az alagút gyalogos járdája is szükségszerűen erre az oldalra kell, hogy kerüljön. A jelenlegi 6,90 m szélességű útpálya 6,50 m-re történő csökkentésével a déli oldali járda 2,45 m-re bővíthető, melyen a gyalogosok és kerékpárosok közlekedése elképzelhető. Azonban a híddal és a környező kerékpáros-forgalmi létesítményekhez való illeszkedés (irányhelyes közlekedés) miatt ez a megoldás elvetendő.



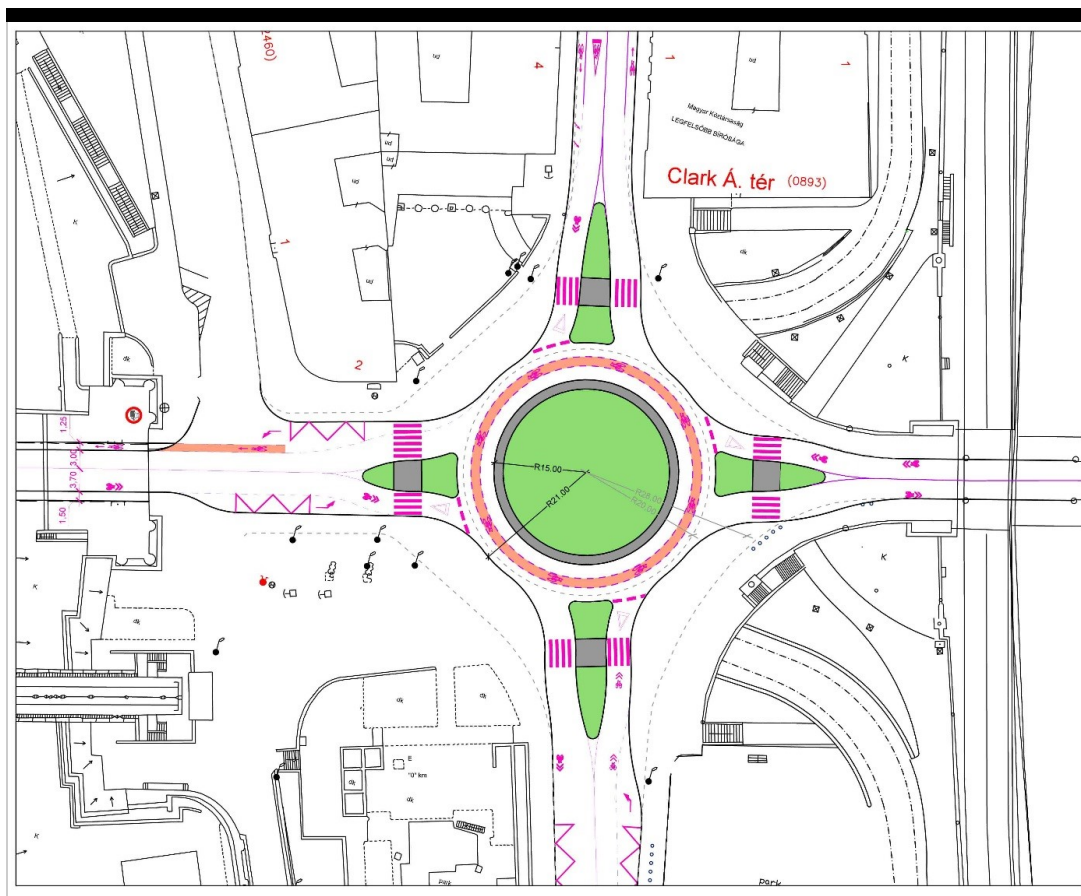
17. ábra

Várhegyi Alagút keresztmetszete, jelenlegi állapot és szélesített járda

Felmerült, hogy az északi oldalon található szerviz alagút átalakításával egy önálló kerékpáros folyosó létesüljön. Ennek kijárata azonban nem az Attila út felé vezet, hanem a Logodi utcában köt ki, jó néhány méterrel magasabban, így közlekedési kapcsolata nem megfelelő. Tanulmányunk javaslata, hogy a forgalmi sávokat aszimmetrikusan berendezve, „lejt menetben” a szélesebb forgalmi sávban közösen haladjanak a kerékpárosok, míg felfelé haladva egy keskenyebb forgalmi sáv és egy szegéllyel elválasztott „kiemelt kerékpársáv” alakuljon ki (lásd 7. változat).



Közúton érkeznek a kerékpárosok az alagútból a Clark Ádám téri körforgalomhoz, ugyanígy a már megvalósult Lánchíd utcai kerékpársávból és a Budai fonódó villamoshálózat projekt befejezésével a Fő utcában megszűnő buszsáv helyére is kerékpársáv létesül. A Lánchíd útpályáján kerékpáros nyom kijelölése történik. Pesti oldalon, a Széchenyi tér átalakítására korábban készített terv sorsa bizonytalan, azonban ott is a kerékpárosok számára vélhetően a közúton lesz kijelölt útvonal, illeszkedve a József Attila utcára készített tervekhez, valamint távolabb az Andrássy úti kerékpársávhoz. Szükségszerű tehát, hogy a Clark Ádám téri körforgalomban is lehetőleg a közúton haladjanak a kerékpárosok, figyelembe véve számos külföldi tapasztalatot. Tanulmányunk során javaslatot tettünk egy kisebb átmérőjű körforgalom kialakítására, a burkolat közepén felfestett kerékpáros nyommal. A kijáratoknál kialakuló keresztező mozgások elkerülésére nem javasolt a kerékpárosoknak a burkolat jobb szélén haladniuk, mivel az őket épp előző, majd jobbra esetleg kikanyarodó gépjárművek könnyen balesethelyzetet idézhetnek elő. Tanulmányunkban gondolatébresztő jelleggel szerepeltettünk egy holland példát, ahol a körforgalom közepén nem piktogramok, hanem eltérő színű burkolattal kialakított nyitott kerékpársáv van elhelyezve.



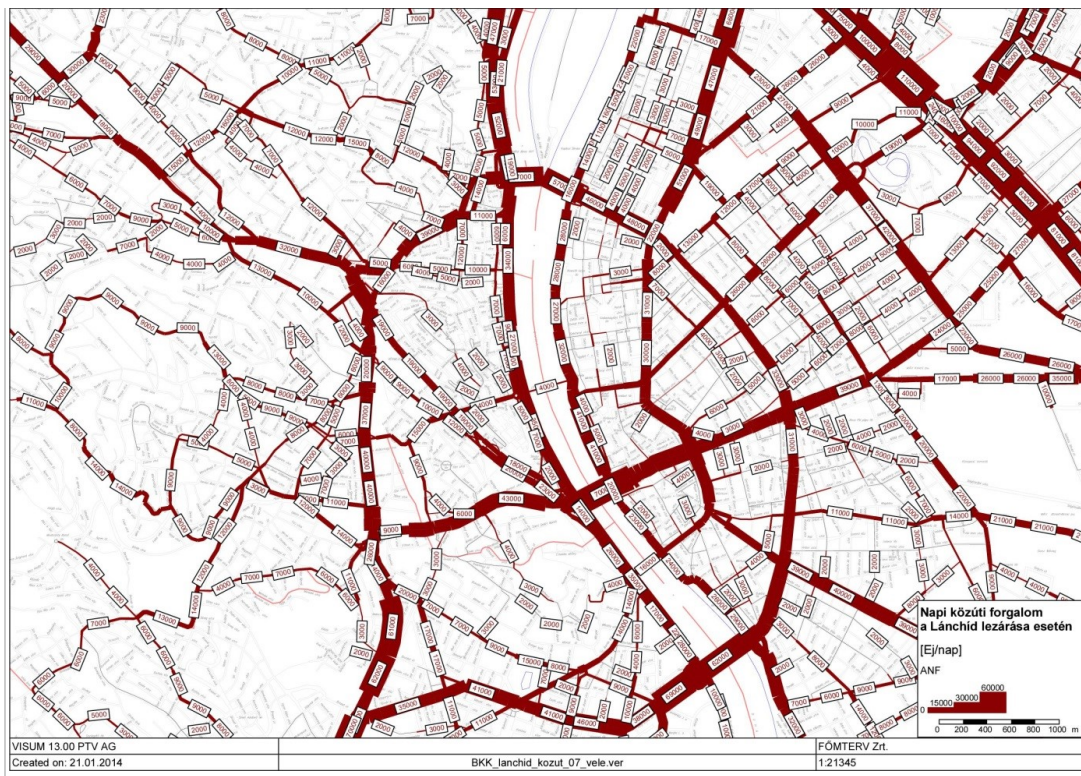
19. ábra

Csökkentett átmérőjű Clark Ádám téri körforgalom közepén nyitott kerékpársáv

## 7. Lánchíd gépjárműforgalom korlátozásának hatásai

A járdán tilos kerékpározni, mégis a Lánchídon a többség a „bedugult” útpálya helyett a kapuzat és a turisták kerülgetését választja. Tanulmányunk során vizsgáltuk, hogy milyen hatással lenne a főváros közlekedésére, ha a felújítás után a gépjárművek korlátozottan hajthatnának csak fel a hídra. A gyakorlatban ez buszsáv kijelölését, esetleg középső elválasztó vonal nélküli nyitott kerékpársáv felfestését jelentené, mindkét irányból behajtani tilos, kivéve busz, taxi, kerékpár tábla kihelyezésével. Ebben az esetben a buszok, taxik, motorosok, megkülönböztetett járművek (tűzoltó, mentő, rendőr stb.) és kerékpárosok használnák a továbbiakban a híd útpályáját. Szükséges emellé sebességkorlátozás bevezetése is, amelyet tanulmányunkban 30 km/h-ban határoztunk meg. Az alábbi ábra a híd lezárása utáni gépjármű forgalmakat mutatja, modellünk szerint.



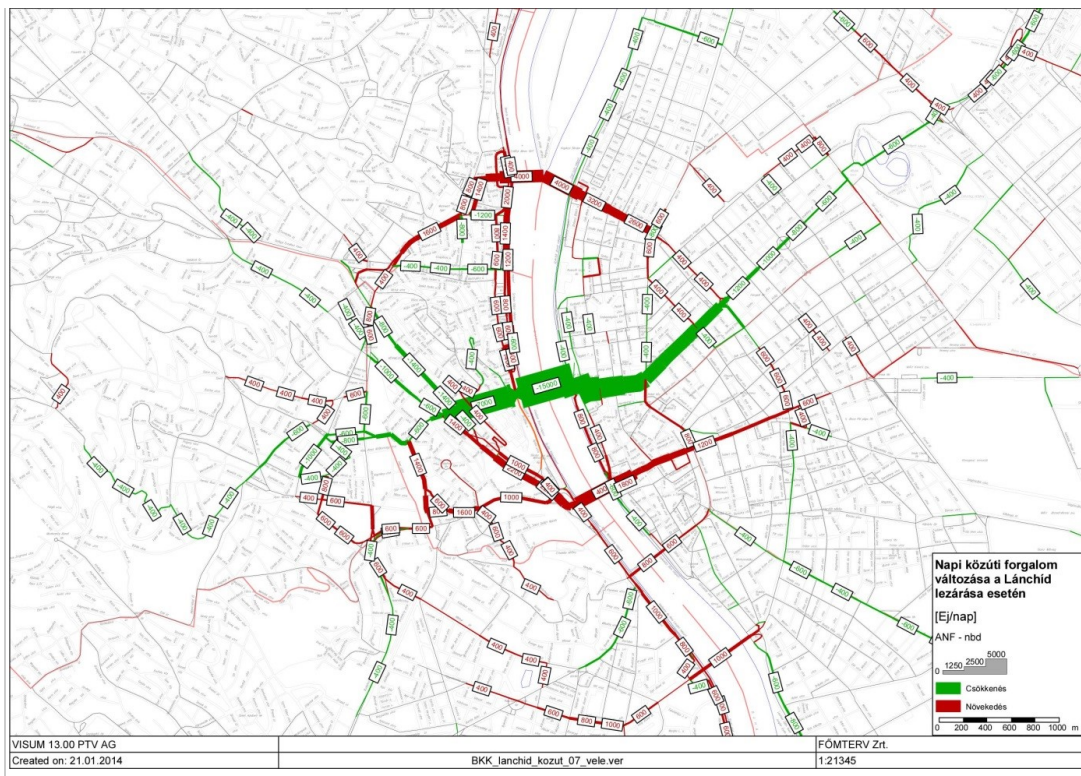


**20. ábra**

*Modellezett napi közúti keresztmetszeti forgalom a Lánchíd csökkentett gépjármű forgalma mellett, ráterhelési ábra*

A következő különbség ábrán zölddel a forgalmi csökkenések, pirossal a növekmények láthatóak. A torlódásoktól felszabadult hídon vélhetően növekedni fog mind a taxik, mind a motorkerékpárok száma, a tömegközlekedők pedig lényegesen hamarabb juthatnak át csúcsidőben és megnyílik a lehetőség a megkülönböztető jelzéseket használó járművek előtt is (a torlódások és a szűk keresztmetszet miatt a hídon kizárható volt mentők, tűzoltók vonulása). Becslésünk szerint napi 15 000 egységjármű/nap, míg a csatlakozó Várhegyi Alagútban és József Attila utcában 7-8 000 Ej/nap csökkenés várható. A szomszédos hidakon 4-4 000 Ej/nap növekménnyel számolunk, az autóbuszok és taxik közlekedéséből 4000 Ej/nap maradna a Lánchídon (motorkerékpárok a korábban említett okokból nem szerepelnek a forgalmi modellben). Szükséges megemlíteni, hogy néhány évvel korábban magasabb volt a fővárosi gépjármű forgalom, s a 4000 Ej/nap növekménnyel együtt sem érné el az Erzsébet-, vagy a Margit hídon áthaladó járművek száma a 2007-ben regisztráltakat (8).





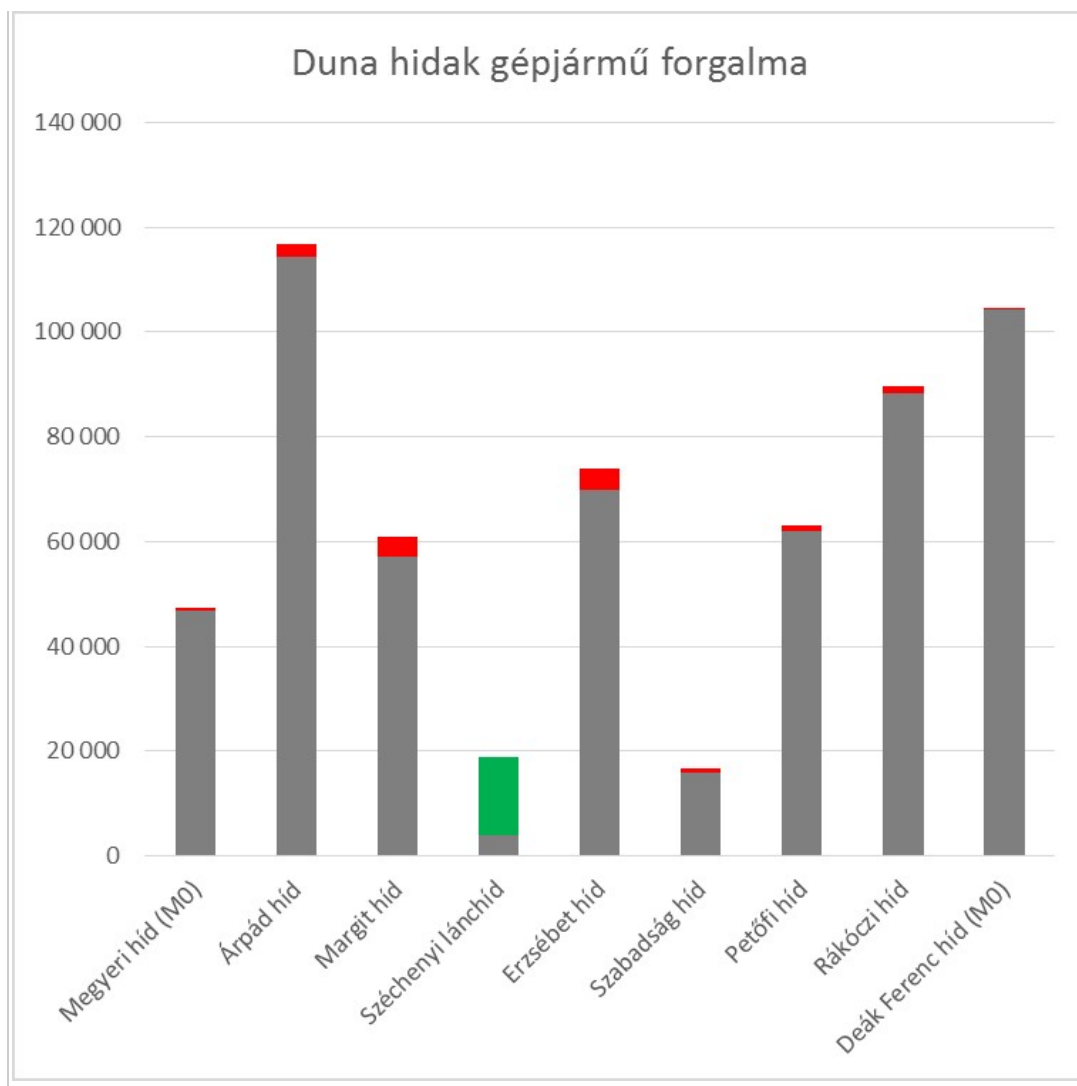
**21. ábra**

Modellezett napi közúti keresztmetszeti forgalom a Lánchíd csökkentett gépjármű forgalma mellett, különbség ábra

Híd	2007	2014	Korlátozott	Különbség	
	[Ej/nap]	[Ej/nap]	[Ej/nap]	[Ej/nap]	[%]
Megyeri híd (M0)	-	46 000	46 700	700	1%
Árpád híd	120 000	112 000	114 400	2 400	2%
Margit híd	70 000	53 000	57 000	4 000	8%
Széchenyi lánchíd	30 000	19 000	4 000	-15 000	-79%
Erzsébet híd	85 000	66 000	69 900	3 900	6%
Szabadság híd	26 000	15 000	15 900	900	6%
Petőfi híd	72 000	61 000	62 100	1 100	2%
Rákóczi híd	85 000	87 000	88 300	1 300	1%
Deák Ferenc híd (M0)	60 000	104 000	104 300	300	0%

**6. táblázat**

Közúti forgalom alakulása a budapesti Duna-hidakon a forgalomcsillapítás után



**22. ábra**  
Közúti forgalom alakulása a budapesti Duna-hidakon, a forgalomcsillapítás után

A Margit híd légvonalban 1,7 km, az Erzsébet híd 1,0 km távolságra van. Az így kialakuló állapotban, a kerülőútra kényszerülő gépjárművek naponta 29 000 járműkilométerrel és 1 100 járműórával növelik a közúti forgalom teljesítményét. Modellünkben nem számoltunk a hídon a gyalogos, kerékpáros és tömegközlekedés feltételeinek jelentős javulása miatti módváltás hatásával. Vélhetően lennének olyan közlekedők, akik személyautóról tömegközlekedésre, kerékpárra váltanának, esetleg gyalog közlekednének, ezt azonban nem tudjuk megbízhatóan számszerűsíteni.

Rövid becslést végezve, ha 25%-kal nőne a busszal utazók száma (+3500 fő), a taxival, motorkerékpárral és kerékpárral közlekedők pedig kétszer annyian lennének (+5590 fő), a hídon az elmaradó személyautó forgalom miatt nagyjából 13 500 fővel kevesebben. Ahhoz, hogy nagyságrendileg ugyanannyi maradjon a Láncidő forgalma, busszal nagyjából kétszer, taxival és motorkerékpárral háromszor, kerékpárral négyszer annyi használó lenne szükséges. Nem szerepel a számításban a gyalogos forgalom mértékének növekedése, mivel önmagában a közúti közlekedési átalakítástól vélhetően nem lennének többen.

JÁRMŰVEK JELENLEG			JÁRMŰVEL UTAZÓK JELENLEG			JÁRMŰVEL UTAZÓK			FORGALOMCSILLAPÍTÁS UTÁN	
Gépjármű	19000	E/nap				FORGALOMCSILLAPÍTÁS UTÁN		növekmény	JÁRMŰVEL UTAZÓK	növekmény
busz	576	busz/nap	Busszal	14000	Fő	Busszal	17500	25%	Busszal	23800 70%
taxi	1400	taxi/nap	Taxival*	2240	Fő	Taxival	4480	100%	Taxival	6 720 200%
egyéni gépjármű	18424	E/nap	Gépjárművel**	23583	Fő	Gépjárművel (motorkerékpár)***	1900	100%	Gépjárművel (motorkerékpár)*	1900 200%
Kerékpár	2400	kp/nap	Kerékpárral	2400	Fő	Kerékpárral	4800	100%	Kerékpárral	9 600 300%

Összesen	21400	jármű/nap	Összesen	42223	Fő	Összesen	28680		Összesen	42020
						Különbőség	- 13543	Fő	Különbőség	-203 Fő

**7. táblázat**  
Módváltó forgalom becslése

ahol:

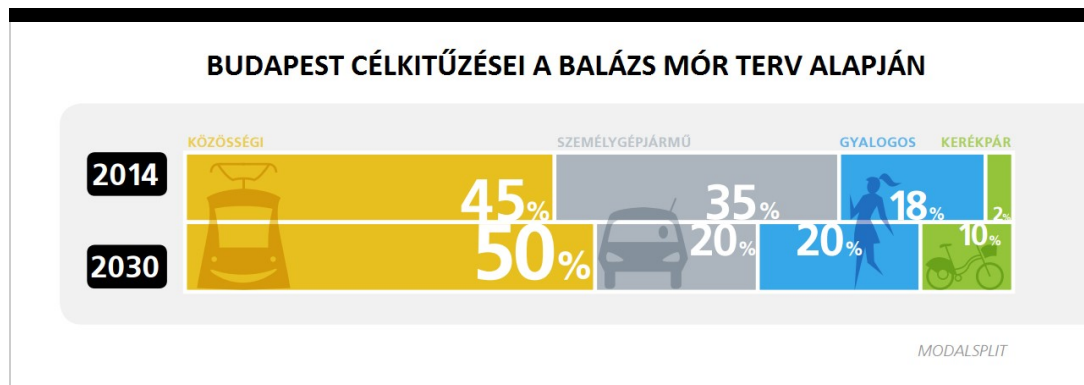
\* - Jármű foglaltság 1,60

\*\* - Jármű foglaltság 1,28

\*\*\* - Gépjárművek 5%-a 2012 szeptember 11-ei számláláskor.  $19\,000 \times 0,05 = 950$

A fenti, elméleti számítás abba a dilemmába vezetheti a döntéshozókat, hogy megéri-e 13 543 ember utazási színvonalát rontani, a kerülő útvonalakon a terhelést némileg növelni, azért, hogy cserébe a hidat továbbra is használó 28 680 fő kényelme érezhetően nőjön.

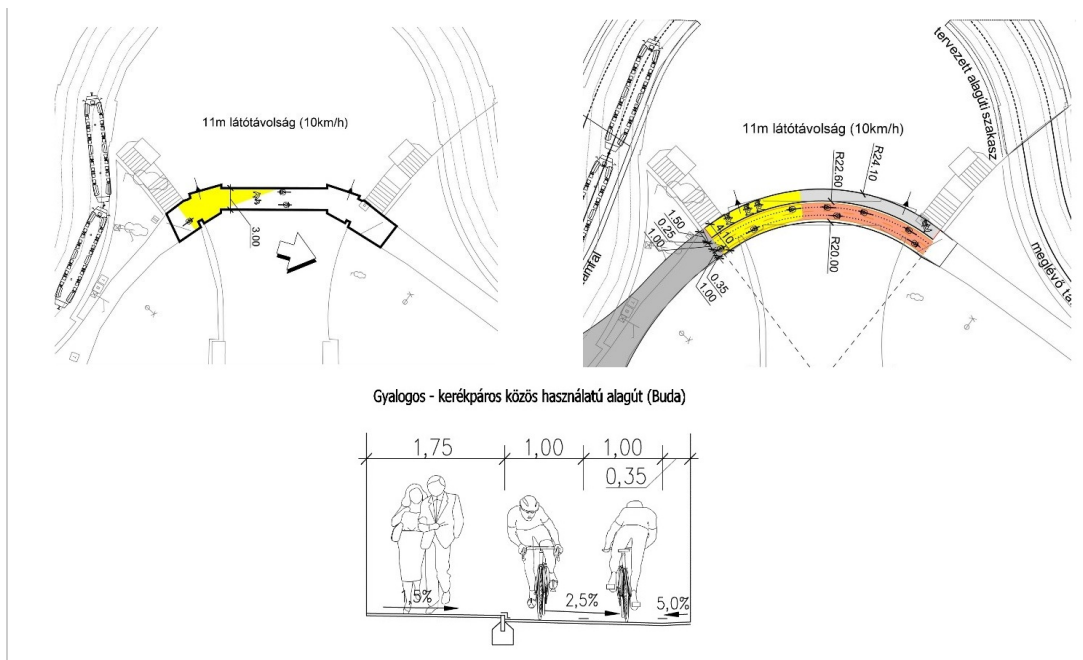
Budapest jelenleg a naponta kerékpározók részaránya 2-3% közé tehető. A Balázs Mór Tervben (9) kijelölt cél a 10% elérése 2030-ig, elsősorban a személygépjármű forgalom csökkentésével. Az igen jelentős átrendeződéshez feltétlenül szükséges az összes budapesti Duna hídon megfelelő színvonalú kerékpáros átvezetés biztosítása, de emellett a forgalmas belvárosi főútvonalakon (Nagykörút, Rákóczi út, stb.) is meg kell teremteni a közvetlen kerékpáros infrastruktúrát. Összehasonlítva a mintának tekintett európai nagyvárosokkal, a 10% nem látszik elérhetetlen célnak, hiszen Berlin, München, Barcelona már jócskán 10% fölött jár és Bécs is rövidesen meghaladja ezt a szintet (nem említve a legfejlettebb kerékpáros városokat, Amsterdamot, Koppenhágát stb.; ahol 30% fölötti a részarány). Ezen városokkal való összehasonlításakor azonban nem szabad elmenni a tömegközlekedés, elsősorban a földalatti kötőpályás hálózat fejlettségének ténye mellett, továbbá az elővárosi forgalom tömegközlekedési feltételei is lényegesen jobbak. Amennyiben sikerül a nap, mint nap nagyjából 300 000(!) fővárosba érkező gépjármű számát csökkenteni, a módváltást ösztönözni, nagyságrenddel nagyobb tér állna rendelkezésre a kerékpáros közlekedésre is.



**23. ábra**  
Budapest modal-split célkitűzései a Balázs Mór tervben

A Széchenyi lánchíd engedélyezési tervei elkészültek, az engedélyezési eljárás folyamatban van. A tervek szerint a Várhegyi Alagútban a fent bemutatott 7. keresztmetszeti változat létesül, míg a hídon az útpályán kijelölt nyomon haladnak a kerékpárosok. A forgalmi átszervezést a döntéshozók nem tartották indokoltnak (Lánchídon csak busz, taxi motorkerékpár, kerékpár), azonban 40 km/h sebességkorlátozás mind az alagútban, mind a hídon megvalósul. A Clark Ádám téri körforgalom, a Via Futura Kft. engedélyezési és kiviteli tervei alapján a jelenleginél kisebb sugárral átépül, a kerékpárosok itt is az útpályán közlekednek.

A Széchenyi tér rendezése nem ebben a projektben történik, azonban ott is célszerűen a kerékpáros közlekedés az útpályán lesz kialakítva. A budai oldali gyalogos kerékpáros aluljáró bővítése, a beláthatatlan iránytörés megszüntetése megvalósul, az alábbi ábrán bemutatottaknak megfelelően.



**24. ábra**

*Meglévő és tervezett gyalogos-kerékpáros alagút a Lánchíd budai hídfőjében*

A kiválasztott forgalomtechnikai változat illeszkedik a legjobban a szomszédos, megvalósult, vagy megvalósításra váró átalakításokhoz, a kerékpáros és gyalogos forgalom szétválasztásának elvéhez és a belvárosi környezetben a legbiztonságosabb, irányhelyes kerékpáros közlekedés megteremtéséhez. A gépjármű forgalom nagy léptékű átszervezése döntéshozói szinten nem kapott támogatást, azonban a belvárosi forgalomcsillapítás fokozatosan, kis lépésekkel, de érzékelhetően halad előre. A hídon a buszsáv kijelöléséért lobbizik a Critical Mass felvonulást is szervező I Bike Budapest mozgalom és a Magyar Kerékpárosklub10. Bringás felvonulást szerveztek 2015.10.11-én, a következő kép ekkor készült.



**25. ábra**

*2015.10.11 Bringázható Lánchíd felvonulás*

## 8. Összefoglalás

A híd és az alagút a felújításkor hónapokra le lesz zárva, így ennek a közlekedésre való hatását Budapest



mindenképpen tapasztalni fogja. A tanulságok alapján akár újra gondolható a forgalom átszervezése, esetleg csak időszakosan, a nyári iskolai szünetben, vagy az építkezés befejeztével, próba jelleggel. Munkánk során igyekeztünk a lehető legalaposabban bemutatni a felújítási, átalakítási, átszervezési lehetőségeket és azok hatásait. Minden résztvevő szakember szívügyének érezte a feladatot, a megbeszéléseken és bemutatókon kivétel nélkül hasznos és megoldás kereső párbeszédet folytattak, melyekből fiatal mérnökként sokat tanultam.

### **Irodalomjegyzék:**

- (1) Főmterv – MSc – Pont Terv Konzorcium, Széchenyi lánchíd fő- és célvizsgálata (2011)
- (2) Kerékpáros forgalom elemzése Budapesten (2014), összefoglaló cikk: [link](#)
- (3) Főmterv Zrt. Budapest és agglomerációjának teljes területére egységes forgalmi modell (2013)
- (4) A Dunahidak jelentősége a főváros életében 1945/2. szám, Varga Géza Ernőné [link](#)
- (5) Kerékpározás, Magyar Cserkész Könyvei 129. szám, Krisz Ferenc, 1930 [link](#)
- (6) Széchenyi lánchíd és Várhegyi alagút felújítása, fejlesztése, Forgács Dávid (2014.) [link](#)
- (7) Angyal Tibor: Opponensi vélemény, Központi Építészeti Tervtanács műemléki testületének konzultációs emlékeztetőjének melléklete, 2014. február 25.
- (8) A Lánchíd térségének közlekedési koncepciója (2013) [link](#)
- (9) Budapest Közlekedésfejlesztési Stratégiája - Balázs Mór Terv 2014 – 2030 [link](#)
- (10) Hogyan lehet átjárhatóbb a Lánchíd? Magyar Kerékpárosklub – I Bike Budapest [link](#)
- (11) Főmterv –MSc –CÉH Konzorcium: Széchenyi lánchíd és Várhegyi alagút felújítása
  1. kötet: Közlekedési tanulmányterv
  2. kötet: Lánchíd tanulmányterv
  3. kötet: Várhegyi alagút tanulmányterv (2014. február hó)

### *Adatok*

*Megjelent itt*

**6. szám**

2015. ősz



### *Szerző*

#### **Horváth László**

Okleveles építőmérnök, Főmterv Mérnöki Tervező Zrt. úttervezési irodáján felelős tervező.

### *Témakörök*

Kiemelt • Témakörök • Városi közlekedés

### *Kulcsszavak*

Belváros • integrált kerékpáros közlekedés • közlekedés politika • örökség

### *Befogadva*

2015. december 7.

---

Hozzászólások lezárva.

[Bejegyzések](#)

[Galéria](#)

[Impresszum](#)

[Interjúk](#)

[Könyvajánló](#)

[Nemzetközi szemle](#)

[Szakolvasó](#)

[Témakörök](#)

---

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

