

Döntéstámogató modell nagy nehézforgalmú utak aszfalt kopóréteg-típusának kiválasztásához

Szerző(k) **Dr. habil. Gáspár László, Bencze Zsolt és Daniel Jato-Espino**

Kivonat

Előzmények Az Európai Unió 7. Kutatási és Technológiafejlesztési Keretprogramjához kapcsolódva, 2013-ban egy nemzetközi konzorcium a 42 hónapos DURABROADS (Cost-effective DURABLE ROADS by green optimized construction and maintenance; Költséghatékony, tartós utak, „zöld” optimált építés és fenntartás révén) projekt részbeni finanszírozását nyerte el [1]. A projektet a spanyol Universidad de Cantabria (UNICAN) vezeti; míg a partnerek közé tartozik [...]

1. Előzmények

Az Európai Unió 7. Kutatási és Technológiafejlesztési Keretprogramjához kapcsolódva, 2013-ban egy nemzetközi konzorcium a 42 hónapos DURABROADS (Cost-effective DURABLE ROADS by green optimized construction and maintenance; Költséghatékony, tartós utak, „zöld” optimált építés és fenntartás révén) projekt részbeni finanszírozását nyerte el [1]. A projektet a spanyol Universidad de Cantabria (UNICAN) vezeti; míg a partnerek közé tartozik – a spanyol ACCIONA, a német FRAUENHOFER, a spanyol TECNALIA, a norvég Norwegian Graphite, az angol BSRIA, a lett Inzeierbuve Sia (IB) és az European Road Federation mellett – a KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. is. A magyar kutató intézet a 2. munkabizottságot is vezeti.

A DURABROADS projekt fő célkitűzése költséghatékony, környezetbarát és komplex módon optimált utak tervezése, fejlesztése és az eredmények bemutatása. Ezt a célt olyan innovatív tervezéssel kívánják elérni, amely a különlegesen nagy és nehéz forgalmi terhelés, valamint az éghajlatváltozásból származó szélsőséges klimatikus hatások együttes igénybevételének ellenálló útpályaszerkezeteket eredményez. Emellett a nanotechnológia alkalmazásával „zöldebb” útépitési anyagok előállítására is törekszenek. További célként jelölték meg az Európában általánosan alkalmazott útépitési, -fenntartási és -felújítási technológiák optimalizálását. Emellett az elterjedt aszfalt kopóréteg-típusok és burkolat-felújítási technológiák korábban említett szélsőségesen nagy terhelésekkel szembeni ellenállásának korlátait is fel kívánták tárni, valamint az útkezelők számára ebben a tárgykörben ajánlásokat szándékoztak megfogalmazni. A célkitűzések közé tartozott a legmegfelelőbb karbon nano-anyagoknak a kiválasztása is, amelyeknek felhasználásával a bitumenes kötőanyagok teljesítményét érdemlegesen javítani lehet. Az ily módon javított kötőanyagoknak a mérsékelt meleg aszfaltkeverékekben történő alkalmazási lehetőségét is részletes vizsgálatnak vetik alá. Kitérnek ezen kívül a bontott aszfaltnak és különböző ipari melléktermékeknek ezekben az „optimalizált” keverékekben való, minél nagyobb mértékű felhasználási lehetőségeire is. A különböző szélsőséges időjárási és forgalmi terhelésnek kitett útpályaszerkezetek optimált, hosszú élettartamot ígérő megtervezéséhez végeselemes módszert alkalmaznak. A projekt eredményeit demonstrációs projektek és költség/haszon-elemzések egészítik ki. Javaslatot készítenek azokra a kritériumokra, amelyeknek alapján a „DURABROADS-technológiák” a Zöld Közbeszerzésekben szerepeltethetők lehetnek, valamint a tárgyban tervezett szabványosítást is elő kívánják készíteni.

A DURABROADS projekt munkabizottságai, irányító partnereikkel a következők:

- 1. munkabizottság Projekt menedzsment (koordinációs stratégia kialakítása; Minőségbiztosítási Terv készítése; a projekt koordinálása; az EU által igényelt időszaki jelentések összeállítása), vezető: UNICAN,
- 2. munkabizottság Útépitési anyagok és eljárások vizsgálata és optimalizálása (részleteit lásd később), vezető: KTI,
- 3. munkabizottság Kötőanyagok modifikálására megfelelően bizonyuló karbon nanoanyagok kialakítása és vizsgálata (különböző karbon nanoanyagok méreteinek és minőségének vizsgálata, a kötőanyagok modifikálásához legalkalmasabb változat kiválasztása érdekében; az elterjedt modifikáló polimerek és a

karbon nanoanyagok között kialakuló kötés vizsgálata; a bitumenes kötőanyagok előállítására szóba jövő vegyületek és keverési eljárások felmérése; a választott, tulajdonságaiban módosított bitumen üzemi méretekben való előállításának előkészítése), vezető: TECNALIA,

- 4. munkabizottság Ipari mellékterméket és visszanyert aszfaltot tartalmazó, grafittal modifikált kötőanyagú, mérsékelt meleg aszfaltok technológiájának kidolgozása (az adalékok kiválasztása, valamint a szóba jövő ipari melléktermékek és visszanyert aszfaltok vizsgálata; grafittal modifikált kötőanyagú, ipari mellékterméket és/vagy visszanyert aszfaltot tartalmazó, mérsékelt meleg aszfaltkeverékek receptúrájának a kidolgozása; grafittal modifikált kötőanyagot tartalmazó BBTM – aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez – receptúrájának megtervezése), vezető: ACCIONA,
- 5. munkabizottság. Az éghajlatváltozásból származó terheléseknek és a szélsőségesen nagy forgalmi igénybevételeknek az eddigieknél ellenállóbb, optimált útpályaszerkezetek kifejlesztése (új pályaszerkezetek és -felújítások tervezésére szolgáló, numerikus, szimulációs szoftver alkalmazásához szükséges alapadatok előállítása; az innovatív, hosszú élettartamú és a szinergikus, szélsőségesen nagy időjárási és forgalmi igénybevételeknek ellenálló pályaszerkezetek optimált tervezése; a DURABROADS projekt során kifejlesztett, új termékek életciklus jellemzőinek a hagyományos anyagokéval történő összehasonlítása), vezető: UNICAN,
- 6. munkabizottság Demonstráció és megfelelés-igazolás (a DURABROADS-pályaszerkezet kísérleti szakaszon történő kipróbálása, kontrollszakasz mellé építésével, és teljesítményük legalább 2 éven keresztül történő figyelemmel kísérése), vezető: ACCIONA,
- 7. munkabizottság Útmutató készítése és szabvány-előkészítés (a kialakított aszfalttechnológiára vonatkozó útmutató készítése; kritériumok megállapítása a DURABROADS-projekt környezetvédelmi koncepciójának a Zöld Közbeszerzésekben való szerepeltetéséhez; a DURABROADS-termékre vonatkozó szabvány előkészítéséhez szükséges tevékenységek végrehajtása), vezető: ERF (European Road Federation, Európai Útügyi Szövetség),
- 8. munkabizottság Kapcsolattartás, valamint a projekt eredményeinek közkinccsé tétele és hasznosítása (az Eredmények Terjesztési Tervének összeállítása; kommunikációs anyagok készítése, work-shop-ok és a Zárókonferencia megszervezése; kapcsolat tartása Európán kívüli – elsősorban amerikai – intézményekkel annak érdekében, hogy az esetleges párhuzamos kutatásokat el lehessen kerülni; a DURABROADS Eredményhasznosítási Stratégiai Terv készítése), vezető: ERF.

2. A projekt 2. munkabizottsága

A DURABROADS-projekt 2. számú, „Útépítési anyagok és eljárások vizsgálata és optimalása” tárgyú munkabizottságában, a KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. vezetésével (képviselői: dr. Gáspár László kutató professzor és Bencze Zsolt tudományos munkatárs), a spanyol UNICAN és ACCIONA, a lett IB és az ERF szakemberei vettek részt.

A munkabizottság fő célkitűzését az Európában elterjedten alkalmazott aszfalt kopórétegeknek és burkolatfelújítási módszereknek a szélsőséges környezeti és forgalmi terhelés kombinációjával szemben tanúsított ellenállás szempontjából végrehajtott optimalása képezte. Ezzel a közútkezelőket hozzá akarják segíteni ahhoz, hogy vagyongazdálkodási tevékenységeik a korábbiaknál költség-hatékonyabbak, biztonságosabbak és a környezetet fokozottan kímélőek legyenek.

A munkabizottság 2.1 számú munkacsoportja azokat az európai úthálózatot érő közép- és hosszú távú hatásokat számszerűsítette, amelyek az éghajlatváltozás szélsőséges időjárási eseményeinek és a közúti korridorok rendkívül nagy nehéz járműforgalmának együttes terheléséből származnak.

A munkabizottság 2.2 számú munkacsoportja – az élettartam-mérnöki tudomány [2] alapelveinek messzemenő hasznosítása mellett – tartóssági, forgalombiztonsági, költséghatékonysági, környezetvédelmi és társadalmi-gazdasági optimalási kritériumok kialakítását tekintette feladatának.

A munkabizottság 2.3 számú munkacsoportja az európai aszfalt kopóréteg-típusok és burkolat-felújítási eljárásokat elemezte és azokat komplex módon optimalta.

A 2. munkabizottság a nyert eredményeket három részjelentés (Deliverables) [3-5] formájában tette közzé. A következőkben ezek közül vázlatosan az első két részjelentés (ezek részletei magyarul a [6]-ban található), részletesebben pedig a harmadik részjelentés [5] egyes elemeit ismertetjük.

3. A projekt D 2.1 és D2.2 részjelentése

A D2.1 „Egyes közúti eljárások korlátainak feltárása” című részjelentés [3] a lett IB koordinálásában készült el. A 99 oldalas anyag az Európában elterjedten alkalmazott aszfalt kopórétegekkel, az útépitési anyagok tartósságát csökkentő hatásokkal, az aszfaltkeverékek környezetvédelmi szempontjaival, burkolat-felújítási technológiákkal, a jellegzetes európai pályaszerkezet-tervezési módszerekkel, illetve az egyes közúti eljárásokkal kapcsolatos kihívásokkal és korlátokkal foglalkozott.

A D2.2 „Az éghajlatváltozás közép- és hosszú távú következményei által az európai úthálózaton létesített, nagy nehéz forgalmú folyosókra gyakorolt hatás számszerűsítése” című részjelentés [4] elkészítését a KTI koordinálta. A 61 oldalas anyag az Európában elterjedten alkalmazott aszfalt kopórétegek kritikus tönkremeneteli formáival, az éghajlatváltozás utakra gyakorolt hatásával, a közúti korridorok (folyosók) burkolatromlásával, a szélsőséges éghajlati és mechanikai terhelés együttes hatásával, valamint az európai főutakat ért hatások számszerűsítésére szolgáló módszerre tett javaslattal foglalkozott.

4. A DURABROADS-projekt D2.3 részjelentéséről általában

A DURABROADS-projekt D2.3 „Javaslat az útkezelésben hasznosítható, gazdaságosabb, tartósabb és fenntartható, építési, fenntartási és felújítási technológiákra” tárgyú részjelentést [5] a KTI szakemberei koordinálták. A 114 oldalas anyag célját a következők képezték: Európa négy fő körzetében (Észak-, Nyugat-, Dél- és Közép-Európában) a nagy nehéz forgalmú utakra (a TEN-T úthálózatra) vonatkozóan az aszfalt kopóréteg-típusok, illetve a fenntartási-felújítási technológiák optimalálásához többtényezős – többkritériumos – módszertan kialakítása, valamint annak erre a célra történő alkalmazása. A D2.2 részjelentésben [4] a négy körzetre megállapított kopóréteg-, illetve felújítás-típusok komplex vizsgálata az élettartam-mérnöki tudomány alapelvein [7] nyugszik. A D2.3 részjelentés fő fejezetei: az összehasonlítható kopóréteg- és burkolatfelújítás-típusok; a döntéselőkészítő módszertan elemei, a kopórétegek értékelése négy különböző szempontból, a felújítástípusok négy különböző szempontból történő értékelése, érzékenységvizsgálat, az eredmények diskussziója, javaslat „optimális” aszfalt kopóréteg- és burkolatfelújítás-típusra.

5. Összehasonlítható kopóréteg- és felújítástípusok

5.1. Jellegzetes kopóréteg-típusok

A DURABROADS-projekt WP2 munkabizottsága által a tárgyban összeállított kérdőívet 17 országból (BE két önálló régióval, CRO, CZ, EST, FR, GE, HU, IT, LT, LV, NO, PT, SLO, SP, SRB, UK) 81 szakember töltötte ki. Válaszaik szerint a nagy nehéz forgalmú utakon (gyakorlatilag a TEN-T úthálózaton) Európa körzetei szerint különböző aszfalt kopóréteg-típusok terjedtek el (1. táblázat).

Európai körzet	Jellegzetes aszfalt kopóréteg-típusok
Észak-Európa	AC-SMA
Nyugat-Európa	AC-SMA-PA-HRA
Dél-Európa	AC-SMA-BBTM
Közép-Európa	AC-SMA

1. táblázat

Jellegzetes aszfalt kopóréteg-típusok az egyes európai körzetekben

ahol:

AC - aszfaltbeton

SMA - zúzalékvasas masztixaszfalt

PA - porózus aszfalt

HRA - hot rolled asphalt (az ÉHÁ-hoz hasonló összetételű keverék)

A kopórétegekkel szemben támasztott követelmények közül – a fáradási ellenállással összefüggő, minden pályaszerkezeti rétegre vonatkozó elváráson túlmenően – a következők emelhetők ki:

- csúszásellenállás (a forgalombiztonságot, a gumiabroncsok kopását és az üzemanyag-fogyasztást érdemlegesen befolyásolja),
- hossz- és keresztirányú felületi egyenletesség (elsősorban az utazáskényelemre van hatása),
- gördülőzaj (a járművön belül és azon kívül is mérik),
- az útburkolat felületének fényvisszaverő képessége (a járművek éjszaka és/vagy nedves pályán való vezetésekor válik fontossá),
- az útpálya – burkolatfelület – vízelvezetése (a vízen csúszás és a vízköd-képződés veszélyének csökkentésére szolgál).

Az aszfaltkeverék-tervezés egyik fő feladata, hogy az aszfaltréteg a felsorolt követelményeknek minél nagyobb mértékben megfeleljen. A forgalomnak való átadásakor, a kopóréteg – ideális esetben – kitűnő felületi és szerkezeti jellemzői – a jármű és a környezet együttes terhelésének hatására – fokozatosan romlani kezdenek addig, amíg az állapotparaméterek közül az egyik, az ún. kritikus paraméter a szóban forgó úttípustól függően megállapított „beavatkozási szintet” el nem éri. Ezt követően az út további üzemeltetése a kezelő számára többé már nem gazdaságos, és/vagy az úthasználóknak balesetveszélyes helyzetet teremt [8]. A pályaszerkezet-tervezőknek az a fő ambíciója, hogy ennek az említett burkolatromlásnak az időpontját minél inkább elodázzák, azaz a lehető leghosszabb ciklusidőt ériék el. Közismert, hogy az útburkolatok romlásának két fő formája ismeretes:

- bomlás (hámlás, zúzalékkipergés, repedés képződése, kátyúk kialakulása stb.),
- alakváltozás (a burkolat hossz- és keresztirányú deformációja, keréknyomvályú képződése stb.).

Európa vizsgált körzeteiben azonban az útburkolatok jellegzetes tönkremeneteli formája nem egységes:

- Észak-Európa: bomlás,
- Nyugat-Európa: bomlás,
- Dél-Európa: alakváltozás,
- Közép-Európa: bomlás és alakváltozás.

Ez persze nem jelenti az, hogy Európának ezekben a régióiban az itt nem említett romlástípus egyetlen nagy nehéz forgalmú úton sem válik soha mértékadóvá.

5.2. Burkolat-felújítási technológia típusok

Bár az Európában elterjedten alkalmazott burkolat-felújítási módszerek teljesítményét az egyes körzetekben különböző forgalmi-környezeti terhelés érzékelhetően befolyásolja, DURABROADS-partnerek abban állapodtak meg, hogy a kontinensen egységesen a következő burkolat-felújítási technológiákat „versenyeztetik”:

- hideg helyszíni recycling + új, 50 mm-es AC kopóréteg,
- kétrétegű permetezéssel felületi bevonat,
- teljes vastagságú recycling + új, 50 mm-es AC kopóréteg,
- meleg helyszíni recycling + 38 mm AC kopóréteg,
- burkolatmarás + új, 50 mm-es AC kopóréteg,
- kevert felületi bevonat (microsurfacing),
- új, 50 mm-es AC kopóréteg,
- új, vékony AC kopóréteg.

Ezeken kívül még különböző, hideg burkolatfelújító technikát alkalmaznak, de nem a nagy nehéz forgalmú TEN-T úthálózaton. Hasonlóképpen a „pontoszerű”, rutin fenntartási eljárásokat is kizárták az optimálásból.

Az egyes burkolat-felújítási technológiák közötti választáskor, az útkezelők általában elsősorban a módszerrel elérhető teljesítményjavulást próbálják figyelembe venni.

6. A döntéstámogató, optimalizáló modellről általában

Az európai nagy nehéz forgalmú utak aszfalt kopóréteg- és burkolatfelújítás-típusainak komplex optimalálásához olyan döntéstámogató modellt alkalmaztak, amely az AHP (Analytical Hierarchy Process, Analitikus Hierarchikus Eljárás) és a TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, Sorrend Preferencia Ideális Megoldáshoz való Hasonlóság alapján történő Meghatározása) modellek kombinációján alapszik. Egyrészt szakirodalmi információkat, másrészt pedig azokat a válaszokat hasznosították, amelyeket 81 európai útügyi szakember az ebben a témában összeállított kérdőívre adott. Ennek megfelelően a következő lépéseket hajtották végre:

- olyan kérdőívek összeállítása és Európa-szerte az útügyi szakemberek számára történő eljuttatása, amelyek a szóban forgó döntéshozatali problémát egyszerűen és lényegre törő módon tárgyalják,
- a döntéshozatali folyamatot befolyásoló tényezőknek – követelményekből, kritériumokból és mérőszámokból álló – hierarchikus fa formájában való strukturálása,
- a döntéshozatali problémát meghatározó kritériumok (feltételek) viszonylagos jelentőségének –AHP-eljárással történő – megállapítása,
- az egyes alternatív változatoknak minden kritérium szerinti értékelése, a TOPSIS-technika alkalmazásával,
- érzékenységi vizsgálat végrehajtása annak felmérésére, hogy az egyes inputok értékének változtatása hogyan befolyásolja a döntéshozatali modell outputját.

7. Az optimumkritériumok definiálása

7.1. Az élettartam-mérnöki tudomány (lifetime engineering) alapelvei

Az élettartam-mérnöki tudomány (angol elnevezéssel: lifetime engineering) olyan innovatív gondolat, amelynek célja a hosszú élettartamú infrastruktúra elemek és azok tervezésének, kezelésének és fenntartás-tervezésének viszonylag rövid távú jellege között fennálló feszültség feloldása [7]. Fő elemei a következők:

- egész élettartamra vonatkozó beruházás-tervezés és döntéshozatal,
- egész élettartamra vonatkozó, komplex tervezés,
- egész élettartamra vonatkozó, komplex útkezelés és fenntartás-tervezés,
- korszerűsítés, újrahasználát, újrahaznosítás és deponálás,
- a környezeti hatások egész élettartamra vonatkozó, komplex felmérése és minimálása.

Az élettartam-mérnöki tudomány komplex módszertana műszaki, teljesítményi paramétereket állapít meg, és alkalmaz annak biztosítására, hogy a létesítmény az egész élettartama során a gazdasági, a környezeti, a kulturális, a társadalmi és a humán (emberekkel összefüggő, társadalmi) követelményeket teljesítse. Bár az élettartam-mérnöki tudományt az 1990-es évek első felében épületekre, ipari létesítményekre és hidakra fejlesztették ki, alapelvei az utakra is adaptálhatóak [9].

Bár az élettartam-mérnöki tudományt az útügy területén koordináltan még nem alkalmazzák, de a különböző útügyi gazdálkodási rendszerekben, illetve az azokhoz társuló gyakorlatban – Magyarországon is – a tudomány egyes elemei már polgárjogot nyertek; néhány ilyen elem a következő [10]:

- különböző, nagyobb közúti projektek előkészítési stádiumában a várható, egész élettartam alatti költségeket egyre gyakrabban becsülik előre,
- a különböző pályaszerkezet-változatok jövőben várható teljesítményének az előrebecslésére, az útburkolat-gazdálkodási rendszerhez kapcsolódóan sok területen hasznosítható hálózatviselkedési modellek készülnek,
- a különböző burkolatállapot-szintekhez tartozó úthasználói (közlekedésüzemi, idővesztés és baleseti) költségekre vonatkozó becsléseket az élettartam-költségek hálózati szintű számításakor használják fel,
- komoly erőfeszítéseket tettek olyan közúti externális hatások internalizálása érdekében, mint a légszennyezés, a közlekedési zaj- és rezgésterhelés,
- etalonszakaszok hosszú távú – több évtizedes – állapotmegfigyelése során, az útburkolatokon végzett állapotjavító beavatkozások tényleges állapotjavító hatását, valamint az azokat követő leromlási trendek jellemzőit is felmérték [11],
- az útépítő vállalatok által végzett munkák tényleges minőségének (teljesítményének) felmérésére tényadatokon alapuló eljárást dolgoztak ki, amit a szóban forgó cégek jövőbeni kivitelezői tenderekre beadott pályázatainak értékelésekor fiqyelembe lehet venni [12],

- kiterjedt kutatási munkák folytak a különböző hajlékony pályaszerkezet változatok egyes rétegeinek újrafelhasználási technológiáinak továbbfejlesztése tárgyában, elsősorban a bontott aszfaltnak – az új keverék előírt minőségét nem veszélyeztető – legnagyobb adagolási arányát kutatva,
- sok európai ország az útügyi szektornak az éghajlatváltozás kedvezőtlen időjárásai szélsőségeire való felkészítése céljából hatékony, adaptációs intézkedéseket dolgozott ki, közülük is kiemelten olyanokat, amelyeknek végrehajtásával a pályaszerkezeteknek a várható kihívásokkal szembeni ellenállását érdemlegesen növelni lehet [13].

Mindezek alapján az élettartam-mérnöki tudomány alapelvei közül a következőket lehetett az egymással versenyző aszfalt kopórétegek, illetve -felújítási technológiák komplex értékelésekor és sorba állításakor (optimalásakor) hasznosítani:

- a pályaszerkezetek „modulonkénti” vizsgálata (a szerkezet egyes elemeinek különböző anyagait, terhelését, illetve várható ciklusidejét messzemenően figyelembe véve),
- az egyes változatok részletes elemzésekor a teljes élettartam során várható események tekintetbevétele, beleértve az élettartam végi stratégiákat is, mint amilyen a bontott anyag deponálása, újrahasznosítása vagy újra történő használata,
- olyan komplex vizsgálat végzése, ami – lehetőség szerint – a funkcionális, gazdasági (pénzügyi), környezeti (ökológiai) és humán (emberekkel összefüggő, társadalmi) szempontokra kitér.

7.2. Optimumkritériumok

Az aszfalt kopóréteg-típusok élettartam-mérnöki tudomány alapelveit hasznosító optimalásakor az egyes változatokat – azok teljes élettartamára kivetítve – a következő négy szempontból elemezték.

a.) Funkcionális teljesítmény

Az értékeléshez a következő lépésekre van szükség: a szóban forgó kopóréteg-típustól elvárt funkciók összegyűjtése; a várható burkolatromlási formák megállapítása; a mértékadó (leggyorsabban, a többieket megelőzve, beavatkozási határát elérő) állapotparaméter kiválasztása; választott burkolatállapot-paraméterek viselkedési modelljének kimunkálása (a forgalmi és a környezeti igénybevételek együttes hatását véve figyelembe); az egységes vizsgálati időszak kijelölése (általában a kopóréteg jellemző ciklusidejéhez hasonló időtartamot, például, 15 évet választanak). Összehasonlítási célra célszerűen szóba jövő paraméter lehet – a kopóréteg 1 cm-es vastagságú részére vonatkoztatva – az egységterheléseknek az útburkolat tönkremenetelét kiváltó ismétlési száma, ($\dot{A}NET_{krit}/cm$). Ennek meghatározásához teljesítményi számítógépes modellekből, laboratóriumi vizsgálatokból, gyorsított terhelési vizsgálatokból (ALT) és/vagy útszakaszok hosszú távú állapotának megfigyeléséből származó információk egyaránt hasznosíthatók. Az egyes kopóréteg-variánsokra vonatkozó funkcionális teljesítményi paraméterek meghatározhatók, és egymással szembeállíthatók.

b.) Gazdasági (pénzügyi) paraméterek

Ennek során a következő lépések végrehajtása javasolható: a vizsgálathoz burkolatfelületi egység (pl. 1 m² vagy 1.000 m²) és pénzegység választása; a kopóréteg építési egységárának kalkulálása; a fenntartási-felújítási naptár (az évenkénti beavatkozási igény, technológiájával, mennyiségével és árával) meghatározása; az előrebecsült évenkénti úthasználói (közlekedésüzemi, idővesztés- és baleseti) költségek; a jelenértékek kalkulációjánál alkalmazandó diszkonttényező kiválasztása; az élettartam végi stratégia (újra történő használat, újrahasznosítás, deponálás) kijelölése; az egyes kopóréteg-típusok élettartam-költségeinek megállapítása, az évenkénti, jelenre diszkontált költségek összegezésével. Ennél az Európa egészére kiterjesztendő gazdasági vizsgálatnál az egyes országokban meglehetősen különböző építési, fenntartási, üzemeltetési, felújítási és úthasználói egységárak komoly kihívást jelentenek. Közelítő megoldásként ezek (régiókénti) átlagértékeivel számoltak. Diszkonttényezőként egységesen a 3%-os értéket választottak.

c.) Környezeti szempontok

Ezeknek a kopóréteg-változatokénti figyelembevétele a következő feladatok megoldását igényli: minden vizsgált kopóréteg-típushoz, egész élettartamára vonatkozólag (azaz keverését, szállítását, beépítését, üzemeltetését, fenntartását, felújítását és élettartam végi stratégiáját figyelembe véve), az energiaigény, a légszennyezés, a vízszennyezés, a talajszennyezés, a zaj- és a rezgésterhelés, a rádióaktivitás, az újrahasználatossági mérték, az újra való használat mértéke, a fajok sokszínűségével – a biodiverzitással –

kapcsolatos, esetleges negatív hatások felmérése; az egyes hatásoknak, lehetőség szerint, pénzértékben való kifejezése, de, legalább is a számszerűsítése; mindezek integrálásával a kopóréteg-típusonkénti, összesített környezeti hatás meghatározása. Az ún. környezeti osztályzat, némileg egyszerűsített formában, az élettartam alatti, MJ-ban kifejezett, fajlagos energia-felhasználásból és az újrahasznosíthatóság mértékéből számítható, rendre 2,0 és 0,5 súlyszámok alkalmazásával.

d.) A humán (társadalmi) szempontok

Ennek keretében minden egyes vizsgált aszfalt kopóréteg-típus esetében egyrészt a közlekedésbiztonságot (például, a baleseti költségekkel jellemezve), az utazáskényelmet (például, a pálya IRI-értékével jellemezve) és az esetleges egészségügyi kockázatokat (például, azok rákkeltő hatását vagy rádióaktivitását felmérve) célszerű figyelembe venni. Az egyszerűsített elemzés céljára, a „humán (társadalmi) osztályzat” megállapítására a közlekedésbiztonság felmérését választották, amit ugyanazon forgalmi terhelésre, az egyes kopóréteg-változatok egységnyi hosszára számítva, a teljes élettartamuk alatt felmerülő baleseti költségekkel jellemeztek.

7.3. Kérdőívek összeállítása

A többkritériumos elemzés első és talán leglényegesebb lépése olyan kérdőívek készítése, amelyekre adott válaszoknak a hasznosításával a tárgykör szakértőinek véleményét megbízhatóan meg lehet ismerni. Akkor igazán hasznosítható egy kérdőív, ha egyrészt megfelelően jellemzi a döntéshozatali problémát, másrészt pedig a szakemberek ez irányú tudását a vizsgálathoz „be tudja csatornázni”. Emellett rövidnek, érthetőnek és könnyen kitölthetőnek kell lennie. Mindezek alapján kétféle kérdőív született, amelyekre adott válaszok az egyes kritériumok súlyozásához, illetve az alternatívák értékeléséhez voltak hivatva információkat szolgáltatni.

Olyan típusú kérdésekre kellett válaszolniuk, mint „Mennyire tartja fontosnak a j_1 kritériumot, a j_2 kritériumhoz képest?” vagy „Milyenek tartja az i-edik alternatíva viselkedését, a j-edikhez képest?” a 2. táblázaton feltüntetett lehetőségek figyelembevételével.

A kérdőívet 52 európai útügyi intézmény (főhatóság, nemzetközi intézmény, egyetem, kutató intézet, tervező szervezet, beruházó vállalat, kivitelező cég, tanácsadó szerv, stb.) 81 elismert útügyi szakembere töltötte ki. TRA2016 conference proceedings and TRPRO Elsevier journal

Kritériumok súlyozása	Alternatívák értékelése
Sokkal kevésbé fontos	Rendkívül rossz
Jelentős mértékben kevésbé fontos	Nagyon rossz
Kevésbé fontos	Rossz
Kissé kevésbé fontos	Elég rossz
Egyformán fontos	Átlagos
Kissé fontosabb	Elég jó
Fontosabb	Jó
Jelentős mértékben fontosabb	Nagyon jó
Sokkal fontosabb	Rendkívül jó

2. táblázat
Szakértői vélemények verbális kifejezése

7.4. A kritériumok és az alternatívák halmazának megállapítása

Az előbbiekben szó esett már arról, hogy az élettartam-mérnöki tudomány alapelveinek megfelelően az egyes variánsok komplex vizsgálata négyféle (funkcionális-műszaki, gazdasági, környezeti és humán-társadalmi) követelményre terjedt ki. Tekintettel arra, hogy ezek a kritériumok esetenként egymásnak ellentmondóak, döntéstámogatási célú elemzésükhöz a holisztikus megközelítés tekinthető a legmegfelelőbbnek. Valamely problémának hierarchikus módon, részproblémákká történő szervezésével, lehetőség nyílik annak az egyes követelmények szerinti, külön-külön történő értékelésére; ezáltal a szóban forgó változat adott szempontból

várható teljesítményéről értékes információkhoz lehet jutni. Mindegyik követelmény egy vagy több kritériumot takar; ez utóbbiak pedig mérőszámok sorozatával jellemezhetők. A megkérdezett szakértők a mérőszámokról nyilatkoztak, azokat, a 2. táblázatban bemutatott lehetőségek közül választva, összehasonlították egymással. Ezekből az eredményekből lehetett a kritériumok és a követelmények jellemző értékeit meghatározni.

A 3. táblázat a kopórétegekre, míg a 4. táblázat a burkolatfelújítási technológiákra készített, hasonló felépítésű, hierarchikus struktúrát mutatja be. Logikus, hogy a két táblázaton feltüntetettek meglehetősen hasonlóak, mivel az újonnan épített pályaszerkezet egyes rétegeivel szemben támasztott követelmények és a további gazdaságos üzemeltetésre már nem alkalmas szintre leromlott állapotú útburkolatok felújítási technológiáival szembeni elvárások között egyértelmű az összefüggés. Egyetlen érdemleges különbségként az időjárás hatásokkal szembeni érzékenység, mint a felújítások vizsgálatakor szóba jövő mérőszám említhető. Ez a tényező az új aszfaltrétegek típusának kiválasztásakor nem tekinthető lényegesnek. Eltérés tapasztalható még a társadalmi – az embereket közvetlenül érintő – követelmények tekintetében. Amíg az újonnan elterített aszfalt kopórétegektől, kényelmi és biztonsági igények teljesülte érdekében, kedvező felületi tulajdonságokat várnak el, addig azzal kell számolni, hogy az útburkolatok felújítása mind az utakat használók, mind pedig az azokon tevékenykedő munkások számára különféle veszélyforrásokat rejtjenek magukban.

Követelmények, R	Kritériumok, C	Mérőszámok, I
Gazdasági, R ₁	Költségek, C _{1.1}	Kezdeti beruházás, I _{1.1.1}
		Élettartam-költség, I _{1.1.2}
Környezeti, R ₂	Erőforráshatékonyság, C _{2.1}	Adalékanyagigény, I _{2.1.1}
		Bitumenigény, I _{2.1.2}
	Fogyasztások, C _{2.2}	Energiafogyasztás, I _{2.2.1}
Társadalmi, R ₃	Kényelem, C _{3.1}	Utazáskényelem, I _{3.1.1}
		Zaj, I _{3.1.2}
	Biztonság, C _{3.2}	Csúszásellenállás, I _{3.2.1}
Műszaki (funkcionális)	Mechanikai ellenállás, C _{4.1}	Vízköd, vízencsúszás I _{3.2.2}
		Bomlási ellenállás, I _{4.1.1}
		Deformációs ellenállás, I _{4.1.2}

3. táblázat

Az aszfalt kopóréteg-típusok választásához döntéshozatali fa (hierarchikus struktúra)

Követelmények, R	Kritériumok, C	Mérőszámok, I
Gazdasági, R ₁	Költségek, C _{1.1}	Kezdeti beruházás, I _{1.1.1}
		Élettartam-költség, I _{1.1.2}
Környezeti, R ₂	Rugalmasság, C _{1.2}	Időjárás-érzékenység, I _{1.2.1}
	Erőforráshatékonyság, C _{2.1}	Adalékanyagigény, I _{2.1.1}
		Bitumenigény, I _{2.1.2}
	Fogyasztások, C _{2.2}	Energiafogyasztás, I _{2.2.1}

	Károsanyag kibocsátás, C _{2,3}	CO ₂ -kibocsátás, I _{2,3,1}
Társadalmi, R ₃	Kényelem, C _{3,1}	Idővesztés, torlódások, I _{3,1,1}
	Biztonság, C _{3,2}	Útépítő munkások kockázata, I _{3,2,1}
Műszaki (funkcionális)	Mechanikai ellenállás, C _{4,1}	Bomlási ellenállás, I _{4,1,1}
		Deformációs ellenállás, I _{4,1,2}

4. táblázat

Az útfelújítási technológiák választásához döntéshozatali fa (hierarchikus struktúra)

7.5. Az egyes kritériumok súlyozása

Az elemzésnek ebben a fázisában azoknak a válaszoknak a feldolgozására került sor, amelyeket a kérdőíves felmérésben részt vett európai útügyi szakemberek az egyes kritériumok egymáshoz képest definiált fontosságáról adtak. Először azt kellett ellenőrizni, hogy a visszerkezett kérdőívekben levő válaszok teljeskörűek-e, mivel csak azokat vetették vizsgálat alá, amelyekből információk nem hiányoztak. A következő feladatként – az AHP (Analitikus Hierarchikus Eljárás) alkalmazásával – a válaszadók páronként végzett összehasonlításainak konzisztenciáját (ellentmondás-mentességét) ellenőrizték.

7.5.1. Az Analitikus Hierarchikus Eljárás (AHP)

Az Analitikus Hierarchikus Eljárás eredeti formáját [14] Saaty készítette el, és ez a döntéshozatallal kapcsolatos kritériumok súlyainak megállapításához világszerte az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer. Saaty a páronkénti összehasonlításhoz az 5. táblázaton bemutatott skálát javasolta.

Verbális kifejezések (a j ₁ -nek j ₂ -höz hasonlítása)	Numerikus értékek
Egyformán fontos	1
Kissé fontosabb - Kissé kevésbé fontos	3 - 1/3
Fontosabb - Kevésbé fontos	5 - 1/5
Jelentős mértékben fontosabb - Jelentős mértékben kevésbé fontos	7 - 1/7
Sokkal fontosabb - Sokkal kevésbé fontos	9 - 1/9

5. táblázat

Saaty összehasonlítási skálája

Ennek a skálának az alkalmazásakor az egyes kritériumok összehasonlításához ($n \times n$) az méretű $[A]$ inverz, összehasonlítási mátrixhoz jutottak, amely az $A_{j_1 j_2} x A_{j_2 j_1} = 1$ egyenlőséget kielégítő elemekből áll. A valamely szakember által végzett összehasonlítások ellentmondás mentességét (konzisztenciáját) a $[A] \lambda_{max}$ mátrix legnagyobb sajátértékének megállapításával jellemezték. Eszerint az $[A]$ akkor teljes mértékben konzisztens, ha $\lambda_{max} = n$, és a sajátérték növekedésével, a következő egyenlet szerint, egyre inkább ellentmondásossá válik:

$$C. R. = \frac{C. I.}{R. I.} < 0.1$$

ahol:

C.R. - konzisztencia-hányados

R.I. - véletlen konzisztenciaindex

C.I. - konzisztenciaindex

A matrix akkor konzisztens, ha a $C. I.$ és az $R. I.$ aránya 0.1-nél kisebb, a $C. I.$ a következőképpen számítható:

$$C. I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Az $R. I.$, a véletlen konzisztenciaindex, mint a neve is utal rá, nagyszámú, ugyanolyan módon, véletlenszerűen előállított, átlagos $C. I.$ értéket jelent. A 6. táblázat, a mátrix méretének függvényében, az 500 minta alapján kalkulált, átlagos $R. I.$ értékeket szemlélteti.

Mátrix mérete (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

6. táblázat

A mátrix méretétől függő, véletlen konzisztenciaindexek

A kérdőívre adott válaszok azon sorait, amelyeket az AHP nem talált konzisztenseknek, nem zárták ki az elemzésből, csupán azokat – a következőkben felvázolt nemlineáris optimalás alkalmazásával – konzisztenssé tették.

7.5.2. Általánosított Csökkentett Gradiens (GRG) algoritmus nemlineáris optimaláshoz

Az egyik értékelő által szolgáltatott, a $C_j = \langle C_1, C_2, \dots, C_n \rangle$ kritériumsorra vonatkozó, nem konzisztens (ellentmondásokat tartalmazó) mátrix legyen $[A]$:

	C_1	C_2	...	C_n
C_1		x_{12}		x_{1n}
C_2	$1/x_{12}$			x_{2n}
...				
C_n	$1/x_{1n}$	$1/x_{2n}$		

Ugyanakkor legyen $[A]'$ a keresett konzisztens mátrix:

	C_1	C_2	...	C_n
C_1	...	x'_{12}	...	x'_{1n}
C_2	x'_{2n}
...
C_n

A célkitűzés abban fogalmazható meg, hogy a két mátrix jobb oldali, felső háromszögében levő, megfelelő elemek közötti különbséget minimálják, miközben a következő összefüggést is kielégítik:

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

miközben

$$1/9 \leq x'_{j_1 j_2} \leq 9$$

és

$$C.R \leq 0.1$$

Mivel a nemlineáris optimalizációs problémának lineáris kényszerfeltételei vannak, az a GRG (Általánosított Csökkentett Gradiens) módszerrel oldható meg. Ennek végrehajtásához az összehasonlítási mátrixnak konzisztensnek kell lennie, mialatt a szakemberektől származó válaszokat is a lehető legnagyobb mértékben figyelembe veszi.

7.5.3. A szakértői értékelések aggregálása (összesítés utáni általánosítása)

A következő lépés a szakértői válaszok összegezése volt azzal a céllal, hogy az egész szakértői panelre vonatkozóan egységes, azt jellemző (konszenzuális) válaszokhoz jussanak. Erre a célra az euklideszi távolság elvét alkalmazták. Legyen e_k és e_l két olyan szakértő, akiknek a kritériumsor viszonylagos fontosságára vonatkozó véleményei közötti távolságot meg kívánják állapítani. A véleményeik közötti hasonlóság mértéke az álláspontjaik közötti távolsággal jellemezhető, a következőképpen:

$$s_{e_k e_l} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{j_1 j_2 e_k} - x_{j_1 j_2 e_l})^2}$$

ahol $s_{e_k e_l}$ az e_k és az e_l szakértő véleményei közötti távolság, míg $x_{j_1 j_2 e_k}$ és $x_{j_1 j_2 e_l}$ véleményeik számszerű kifejezése (lásd az 5. táblázatot), a j_1 és a j_2 kritérium viszonylagos fontossága tekintetében. Tekintettel arra, hogy az 5. táblázaton bemutatott skála reciprok értékekből áll, a szakértői értékeléseket, az (5) egyenlet alkalmazása előtt, logaritmikus skálára kell átszámítani.

Minden egyes szakértő által adott értékelésnek a többiekétől számított euklideszi távolságát meghatározva, $p \times p$ méretű szimmetrikus $[P]$ mátrixot hoztak létre, ahol p a szakértők száma. A mátrix a szakértői véleménypárokat jellemző pontok közötti távolságokat (a közelítés mértékét) szemlélteti.

	e_1	e_2	...	e_p
e_1		$s_{e_1 e_2}$		$s_{e_1 e_p}$
e_2	$s_{e_2 e_1}$			$s_{e_2 e_p}$
...				
e_p	$s_{e_p e_1}$	$s_{e_p e_2}$		

Az egyes értékelőknek olyan súlyokat tulajdonítottak, amelyek a többi szakember véleményéhez való hasonlóság mértékével függ össze. Így azon szakértők által adott értékeléseket, akiknek – az előbbieken definiáltak szerinti – távolságuk kisebb, a kritériumok végső súlyainak megállapításakor fontosabbnak tekintették.

Ennek érdekében, az értékelőknek a többiekétől való távolságait összegezik, majd annak a súlyozott inverzét határozzák meg.

$$w_{e_k} = \frac{1}{\sum_{l=1}^p s_{e_k e_l}} \cdot \frac{1}{\sum_{k=1}^p \frac{1}{\sum_{l=1}^p s_{e_k e_l}}}$$

Igazolható, hogy az egyes véleményeknek egyetlen konszenzuális (egységes, összegezett) véleményre ($x_{j_1j_2c}$) való koncentrálásához a súlyozott mértani átlag (n szám súlyozott átlaga, szorzatuk n-edik gyökével kifejezve) – és nem az elterjedten alkalmazott számtani átlag – az egyetlen reálisan szóba jövő módszer:

$$x_{j_1j_2,c} = \prod_{k=1}^p x_{j_1j_2,ek}^{w_{ek}} \frac{1}{\sum_{k=1}^p w_{ek}}$$

Így áll elő az $[A_c]$ konszenzuális összehasonlítási mátrix:

	C₁	C₂	...	C_n
C₁		$x_{e_{12},c}$		$x_{1n,c}$
C₂	$1/x_{12,c}$			$1/x_{2n,c}$
...				
C_n	$1/x_{1n,c}$	$1/x_{2n,c}$		

A kritériumok súlyainak számítása érdekében, azokat először, a következőképpen, normalizálni kell:

	C₁	C₂	...	C_n
C₁	$\frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{j1,c}^2}}$	$\frac{x_{12,c}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{j2,c}^2}}$		$\frac{x_{1n,c}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{jn,c}^2}}$
C₂	...	$\frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{j2,c}^2}}$...	$\frac{x_{2n,c}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{jn,c}^2}}$
...
C_n	$\frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{jn,c}^2}}$

A normalizált konszenzuális összehasonlítási mátrixból a $C_j = \langle C_1, C_2, \dots, C_n \rangle$ kritériumsúlyokat a (11) egyenlet szerint határozzák meg:

$$w_j = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{j1j2,c}^2}}}{\sum \sum_{j=1}^n \frac{1}{x_{j1j2,c}}}$$

(11)

7.5.4. Az alternatívák értékelése

Ennek a lépésnek célját az képezi, hogy az egyes vélemények feldolgozásából adódó változatokat, minden kritérium szempontjából, sorba rendezzék. Ennek során figyelemmel kell lenni arra is, hogy a kritériumok egyik része minőségi jellegű (kvalitatív), míg a többi számszerűsített (kvantitatív), lásd a 3. és a 4. táblázatot.

Kvalitatívok azok a változók, amelyek, jellegüknél fogva, számszerűsítésükhöz túlságosan bonyolultnak bizonyulnak. Ezekben az esetekben a változat értékelésére – az ilyen célra nagyon hasznosnak bizonyuló – verbális kifejezéseket alkalmaznak. A kvalitatív változók háromszögű fuzzy számokkal jellemezhetők, a szakirodalomból származó ismereteknek a nagyszámú szakember alkotta panel véleményével történő kombinálása útján (ez utóbbi kettő kifejezéséhez verbális terminológiát választanak).

Ugyanakkor azok tekinthetők kvantitatív változóknak, amelyek jól meghatározható számokkal modellezhetők. Azonban meglehetősen nehéz az ilyen változókat egyetlen számértékkel jellemezni, mivel a mindennapi helyzetekben a bizonytalanság és a fluktuációk előfordulása gyakori. Ezt a tényt elfogadva, a kvantitatív jellemzőket a hozzájuk tartozó értéktartományból, Monte Carlo módszer alkalmazásával meghatározottan, sztochasztikusan kezelték. (A Monte Carlo módszer alkalmazásával az ilyen jellegű becslésekből, különböző teljesítmények elérésének valószínűsége megállapítható).

Miután az egyes változatok minden kritériumra kiterjedő értékelését a korábban említett két módszer egyikével, a TOPSIS-módszerrel (lásd a 6. pontot) elvégezték, az eredmény a végleges értékelés inputjaként hasznosítható.

7.5.5. Fuzzy-halmazok a verbális értékelések modellezésére

A fuzzy-halmazokat az emberek által adott értékelések bizonytalanságainak és félreérthetőségének (homályosságának) a kezelésére Zadeh [15] vezette be. A fuzzy-logika egyik legfontosabb és leginkább intuitív felhasználási területe a fuzzy számok alkalmazása, amelyeknek definíciója a tagsági fok (tagsági függvény) elméletén nyugszik. Zadeh azt javasolta [15], hogy valamely elem meghatározott halmazhoz viszonyított tagsági számainak tartománya a $[0, 1]$ intervallumon belül változhat ahelyett, hogy a 0, 1 értékpár valamelyikére szorítkozna. Eszerint F fuzzy-halmaz esetében, valamely fuzzy szám tagsági függvénnyel jellemezhető, ami az F halmazon belül x tagsági foknak felel meg [16]. Az ebben az elemzésben alkalmazott, háromszögű fuzzy szám (TFN) $\tilde{A} = (\alpha, \beta, \gamma)$, amelynek a tagsági függvényét a következőképpen határozták meg:

$$\mu(x, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} \frac{x-\alpha}{\beta-\alpha} & \alpha \leq x \leq \beta \\ \frac{\gamma-x}{\gamma-\beta} & \beta \leq x \leq \gamma \\ 0 & \text{egyebkent} \end{cases}$$

ahol α, β, γ az \tilde{A} háromszögű fuzzy szám alsó, átlagos (középső) és felső értékeit jelentik. A 7. táblázat a verbális kifejezéseket megjelenítő, háromszögű fuzzy számoknak a vizsgálatban alkalmazott skáláját szemlélteti.

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

7. táblázat

A kvalitatív változók értékelésére szolgáló verbális kifejezések

A súlyoknál bemutatotthoz hasonlóan, a szakértői panel által ezeknek a kvalitatív változók teljesítményére adott értékeléseket is szintetizálni kell, azzal a különbséggel, hogy ebben az esetben az értékelésekre szakirodalmi információk is rendelkezésre álltak.

Legyen r_{ij} az A_i variánsnak valamilyen C_j kritériumra adott értékelése. Az r_{ij} és az értékelők véleménye közötti távolságot – akik két r_{ij} verbális értékelést adtak –, az $\tilde{A} = (\alpha_A, \beta_A, \gamma_A)$ és a

$B = (\alpha_B, \beta_B, \gamma_B)$ háromszögű fuzzy számok segítségével, a vertex módszer alkalmazásával csökkenteni lehet [17].

$$s_{e_k, e_l} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot [(\alpha_A - \alpha_B)^2 + (\beta_A - \beta_B)^2 + (\gamma_A - \gamma_B)^2]}$$

ahol s_{e_k, e_l} az e_k és az e_l értékelők egy változóra vonatkozó véleménye közötti távolság, amit \tilde{A} és \tilde{B} háromszögű fuzzy számmal határoznak meg.

Ezután a (8) és a (9) egyenlet felhasználásával, az egyes szakértők értékeléseit és az egész panel konszenzuális értékelését számítják ki. Végül pedig az összesített értékelésbe – geometriai átlag alkalmazásával – egyes korábbi szakirodalmakban megjelent értékeléseket is "bedolgoztak":

$$\tilde{r}_{ij} = \sqrt{\tilde{r}_{ij}^E \cdot \tilde{r}_{ij}^L}$$

ahol \tilde{r}_{ij} az A_i alternatívának a C_j kritériumra vonatkozó végleges (összesített) értékelése, \tilde{r}_{ij}^E a szakember panel által adott konszenzuális értékelés és a \tilde{r}_{ij}^L tárgykörrel foglalkozó szakirodalomból származó értékelés.

Az egyszerű és könnyen kezelhető értékelés érdekében, a háromszögű fuzzy számmal leírt változókat kanonikus alakba írták át, ami a fokokba soroló átlagos integráló módszer (graded mean integration method) alkalmazásán alapszik [18]. $\tilde{A} = (\alpha, \beta, \gamma)$ háromszögű fuzzy szám esetében, annak fokokba soroló átlagos integráló formája a következő:

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

Így a (16) egyenlet alkalmazása lehetővé teszi, hogy a (15) egyenlet szerint kapott háromszögű fuzzy számokból igen-nem típusú számokhoz jussanak; ez pedig a TOPSIS-módszer egyszerűsítésére nagyon hasznosnak bizonyul.

Monte Carlo módszerek bizonytalan, számszerűsíthető változók kezelésére

A számszerűsíthető (kvalitatív) változókat az jellemzi, hogy egyértelmű (határozott) számokkal modellezhetők. A mindennapi életben előforduló helyzeteket általában valamilyen mértékű bizonytalanság jellemzi, így aztán meglehetősen nehéz azokat egyetlen (határozott) számmal jellemezni. Ezért a kvalitatív jellemzőket ebben az esetben, a valószínű értékek tartományára vonatkoztatottan, sztochasztikus jellegűeknek tekintették; ezeknek a tartományoknak a megállapításához a Monte Carlo módszereket alkalmazták, amelyek ilyen becslési tartományban különböző teljesítmények elérésének a valószínűségét teszik meghatározhatóvá.

Ezek a technikák véletlen számok generálásán alapulnak annak érdekében, hogy analitikus eszközökkel megoldhatatlan problémákhoz közelítő megoldást találjanak [19]. Ebben az esetben arra használnák a módszereket, hogy az egyes scenáriókkal kapcsolatos kockázatokat felmérjék, ha azok valamely mérőszám becslési tartományán belüli értékeket vesznek fel. Ezeket a mérőszámokat jól lehet jellemezni a következő értékhármassal: a szakértői véleményeken és/vagy az irodalmi információkon alapuló, legvalószínűbb értékkel, valamint a lehetséges, minimális és maximális értékkel [20]. Ennek érdekében olyan megosztási függvényt kell meghatározni, amely a legvalószínűbb értékek kiválasztását lehetővé teszi; ez utóbbiak segítségével lehet aztán a véletlen számokat generálni. Erre a célra a legalkalmasabbnak a korábban említett értékhármassal csúcsai által meghatározott háromszögű alak látszik. Így generálásával olyan vektor állítható elő, amely az r_{ij} értékeléséhez különböző értéket állít elő, ahol n háromszögűen eloszló véletlen számokkal végzett szimulációk száma, ahelyett, hogy egyetlen r_{ij} értékkel operálnának.

7.5.6. TOPSIS (Sorrend Preferencia Ideális Megoldáshoz való Hasonlóság alapján történő Meghatározásának technikája)

Az eredetileg Hwang és Yoon által kifejlesztett TOPSIS-módszer [21] azon az alapelven nyugszik, hogy valamely többkritériumos probléma választott változatát nem csak az jellemzi, hogy az ideális pozitív megoldástól (PIS) a legkisebb távolságra van, hanem az is, hogy az ideális negatív megoldástól (NIS) való távolsága a legnagyobb. Ennek a kettős feltételnek a megszületése egyáltalán nem triviális, mivel a PIS-hez legközelebb levő változat nincs szükségszerűen a NIS-től a legtávolabb. Az ennek a problémának a megoldására kifejlesztett TOPSIS-módszer a következő lépésekből áll.

1. A döntéshozó mátrix meghatározása. Ez a mátrix az $A_i < i = 1, 2, \dots, m >$ kvalitatív vagy kvantitatív változók $C_j < j = 1, 2, \dots, n >$ kritériumokra vonatkozó r_{ij} értékeléseit mutatja be.

	C₁	C₂	...	C_n
A₁	r_{11}	r_{12}	...	r_{1n}
A₂	r_{21}	r_{22}	...	r_{2n}
...
A_m	r_{m1}	r_{m2}	...	r_{mn}

2. A döntéshozó mátrix normalizálása. Az r_{ij} normalizált értéket a következőképpen lehet kiszámítani:

$$r_{ij} = \frac{v_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij})^2}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

3. A normalizált súlyozott döntéshozó mátrix létrehozása. A normalizált, súlyozott v_{ij} értéket a következőképpen számították ki:

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

ahol w_j a kritérium súlya, azon feltétel teljesülése mellett, hogy $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

4. Az ideális, pozitív megoldás (PIS) és az ideális, negatív megoldás (NIS) meghatározása.

$$A^+ = (v_1^+, \dots, v_n^+) = \left[\left(\begin{matrix} max \\ i \end{matrix} \right) v_{ij} \forall j \in J \mid \left(\begin{matrix} min \\ i \end{matrix} \right) v_{ij} \forall j \in J' \right]$$

$$A^- = (v_1^-, \dots, v_n^-) = \left[\left(\begin{matrix} min \\ i \end{matrix} \right) v_{ij} \forall j \in J \mid \left(\begin{matrix} max \\ i \end{matrix} \right) v_{ij} \forall j \in J' \right]$$

ahol J a haszonkritériummal és J' a költségkritériummal függ össze.

5. Változatokként az A^+ és az A^- -től való távolság számítása. A távolságot az n dimenziós euklideszi távolság meghatározásával jellemzik.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

6. A változatok ideális megoldástól való viszonylagos közelségének számítása. Az A_i variánsnak az ideális megoldástól való viszonylagos távolságát a következőképpen lehet meghatározni:

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, 2, \dots, m$$

Mivel mind d_i^+ , mind pedig d_i^- értéke 0 vagy annál nagyobb, ezért $0 \leq R_i \leq 1$.

8. A cikk folytatásának tartalma

Terjedelmi okok miatt, a DURABROADS projekt D2.3 részjelentésének további eredményei majd más cikkek témáját képezik. Annak főbb témái: a bemutatott módszertan érzékenységvizsgálata; a téma-művelés során végzett esettanulmány nagy nehéz forgalmú, európai utak aszfalt kopóréteg-típusai-nak optimalásához; az esettanulmány érzékenységvizsgálata; következtetések.

Köszönetnyilvánítás

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

Felhasznált irodalom

1. DURABROADS (Cost-effective DURABLE ROADS by green optimized construction and maintenance) project. Collaborative project financed by EU Seventh Framework Programme, Theme SST.2013.5-3 Grant agreement no. 606404 Annex I „Description of Work” 2013. 104 p.
2. Gáspár, L.: Lifetime engineering for roads (Keynote lecture). Proceedings of CETRA 2012 (2nd International Conference on Road and Rail Infrastructure), Dubrovnik, 7-9 May 2012, pp. 25-34.
3. DURABROADS project Deliverable D2.1 Assessment of the gaps in road-related procedures. 2014, 99 p.
4. DURABROADS project Deliverable D2.2 Quantification of the medium and long-term influence of climate change and of the implementation of freight corridors on European road network. 2014, 61 p.
5. DURABROADS project Deliverable D2.3 Proposal of construction, maintenance and rehabilitation procedures more affordable, resilient and sustainable for the management of road asset. 2015, 109 p.
6. Dr. habil. Gáspár L., Bencze Zs.: Aszfaltburkolat-típusok optimalása. Közlekedéstudományi Szemle (Megjelenés alatt)
7. Sarja, A., Vesikari, E.: Durability Design of Concrete Structures. RILEM Report Series 14. E&FN Spon: London, 1996. 143 p.
8. Gáspár L.: Útgazdálkodás. Akadémiai Kiadó, 2003. 361 p.
9. Gáspár, L.: Lifetime engineering in road asset management. CD-ROM Proceedings of 3rd European Pavement and Asset Management Conference, Coimbra (Portugal), 2008, Session B3. 10 p.
10. Gáspár L., Horvát F., Lublói L.: Közlekedési létesítmények élettartama. UNIVERSITAS-Győr Non-profit Kft., 2011. 324 p.
11. Bakó, A.: Optimization Model for Highway Pavement Maintenance. CD-ROM Proceedings of ISAPT II, Kuala Lumpur, Malaysia, 2004. 7 p.
12. Gáspár, L.: Evaluation of highway contractors based on the actual performance of their past projects. TRA Transportation Research Arena Europe, 2011, Athens. 12 p.
13. Gáspár, L., Rajcsányi, F.: Adaptation measures to the challenges of climate change in Hungarian road construction. CD-ROM Proceedings of 5th Eurobitume & Euraspalt Congress, Istanbul, Turkey, 13-15 June 2012. 8 p.
14. Saaty, T. L.: The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. New York, McGraw-Hill, 1980.
15. Zadeh, L. A.: Fuzzy Sets. Fuzzy Sets, Information and Control, 8(3), 1965, pp. 338-353.
16. Lin, H.: An application of fuzzy AHP for evaluating course website quality. Computers and Education, 54(4), 2010, pp. 877-888.
17. Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., Izadikhah, M.: Extension of the TOPSIS method for decision making problems with fuzzy data. Applied Mathematics and Computation, 181(2), 2006, pp. 1544-1551.
18. Chou, C.: The canonical representation of multiplication operation on triangular fuzzy numbers. Computers and Mathematics with Applications, 45(10-11), 2003, pp. 1601-1610.
19. Hammersley, J. M., Handscomb, D. C.: Monte Carlo methods. London (U.K.), Methuen, 1964.
20. Vose, D.: Risk analysis: A quantitative guide. New York (U.S.), John Wiley & Sons, 1996.
21. Hwang, C. L., Yoon, K.: Multiple attribute decision making: Methods and applications. New York (U.S.), Springer, 1981.

Szerző

Dr. habil. Gáspár László

okl. mérnök, okl. gazdasági mérnök, az MTA doktora. A Közlekedéstudományi Intézet kutató professzora, a Széchenyi István Egyetem emeritusz professzora. 400 publikációjának és 520 szakmai előadásának zöme útépítési, -fenntartási és -gazdálkodási témákkal foglalkozik. 30+ nemzetközi téma és bizottság tagja vagy vezetője (volt).

Bencze Zsolt

okl. építőmérnök. A Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Doktori Iskola PhD hallgatója. 2005 óta a Közlekedéstudományi Intézet munkatársa. Főbb kutatási projektjei: EU-s finanszírozású SPENS, INCRIS és DIRECT-MAT projekt, az M6 salaktöltéseinek vizsgálata, az M0 Keleti szektor betonburkolatának gyártásközi ellenőrzése, az első hazai betonburkolatú körforgalom kivitelezésének ellenőrzése.

Daniel Jato-Espino

okl. építőmérnök, a spanyol GITECO Kutatási Csoport kutatója a Cantabriai Egyetemen (University of Cantabria). Szakmai területei: városi vízgazdálkodás, városi hidrológia és árvízvédelem, az éghajlatváltozás figyelembevételével, csapadék-lefolyás modellezése, fenntartható vízvezetési rendszerek, GIS-mapping, döntéstámogató eljárások, statisztikai elemzések

Témakörök

Kötőanyagok • Témakörök • Útépítés • Útgazdálkodás

Kulcsszavak

Befogadva

2016. március 31.

Hozzászólás

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

[Bejegyzések](#)

[Galéria](#)

[Impresszum](#)

[Interjúk](#)

[Könyvajánló](#)

[Nemzetközi szemle](#)

[Szakolvasó](#)

[Témakörök](#)

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



Hajlékony és félmerev pályaszerkezetek méretezése Ausztráliában

Szerző(k) **Dr. Pethő László és Szentpéteri Ibolya**

Kivonat

Az ausztrál és az új-zélandi közlekedési szervezetek, hatóságok közösen összefogva alkották meg a jelenlegi pályaszerkezet méretezési módszerüket. A mechanikai alapokra visszavezethető eljárás helyszíni és laboratóriumi mérési eredmények felhasználásával egyedi mechanikai alapú pályaszerkezet méretezést tesz lehetővé. A méretezéshez elengedhetetlen az igénybevételek számítása, amit egy felhasználóbarát szoftver segítségével könnyedén el lehet végezni. Cikkünk az ausztrál hajlékony és félmerev pályaszerkezet méretezési eljárás fontosabb lépéseit mutatja be.

1. Bevezetés

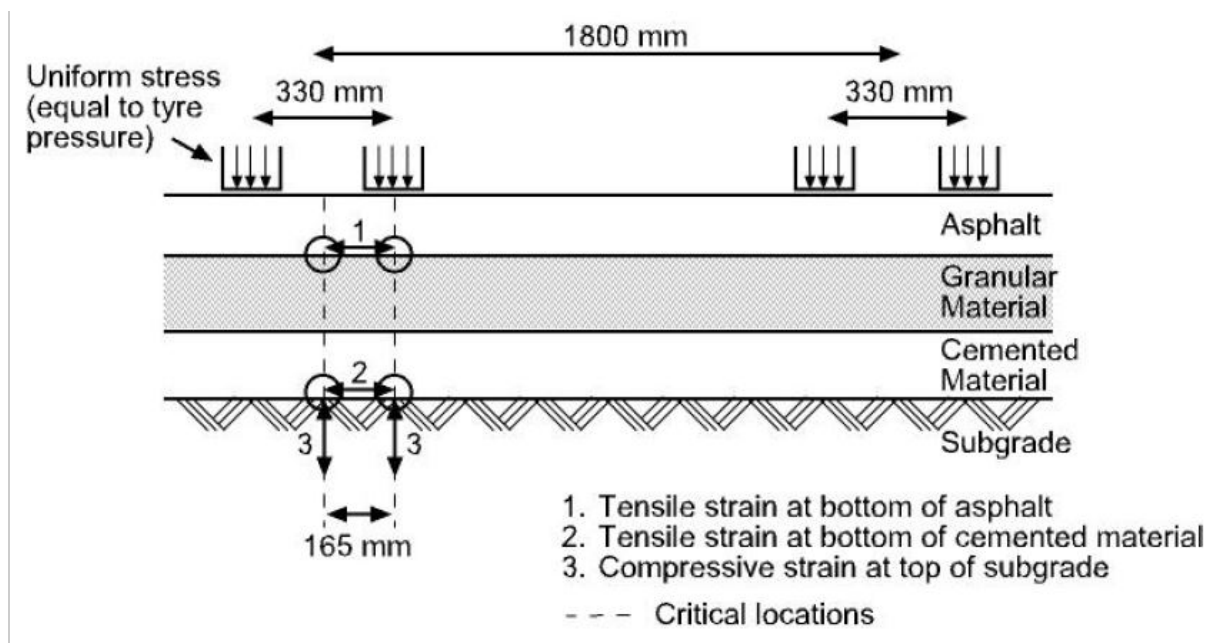
Az Austroads az ausztráliai közúti közlekedési és forgalmi hatóságok, szervek szövetsége, melynek célja, hogy Ausztrália és Új-Zéland közlekedésének, valamint közlekedési létesítményeinek fejlesztése, miközben szem előtt tartják az úthálózat biztonságos és hatékony kezelésének, használatának támogatását, a nemzeti tervezési és méretezési eljárások kidolgozásnak elősegítését, továbbá szakmai tanáccsal látják el a tagszervezeteket (jelenleg 11 tagja van). Az Austroads, a tagok egyetértésével, teszi közzé az úthálózat tervezésére, fenntartására és üzemeltetésére vonatkozó előírásokat, útmutatókat, illetve feladatai közé tartozik az előírások és kutatási eredmények ismertetése és széles körű elterjesztése. A most bemutatásra kerülő hajlékony és félmerev pályaszerkezetek méretezésére vonatkozó útmutatót utoljára 2012-ben frissítették és publikálták (Austroads, 2012).

Az ausztrálok a pályaszerkezet méretezési módszerüket úgy alkották meg, hogy a feltételezett forgalmi terhelésnek megfelelő szolgáltatási szintet biztosítsák a leggazdaságosabb pályaszerkezet vastagság kiválasztása mellett. Mechanikai méretezést végeznek, azonban vékony aszfalt réteggel ellátott és kötőanyag nélküli szemcsés alaprégű pályaszerkezetek esetén az empirikus méretezést is megengedik. A méretezés első lépéseként összegyűjtik a bemeneti paramétereket, majd kiválasztanak egy próba pályaszerkezetet (a felhasználni kívánt anyagokat és a rétegvastagságokat). Az említettek ismeretében meghatározzák a megengedhető forgalom nagyságát az adott pályaszerkezethez és ha ez nagyobb, mint a tervezési forgalom, akkor a próba pályaszerkezetet véglegesítik. A méretezéshez a következő bemeneti adatok szükségesek:

- megbízhatósági szint,
- környezeti terhelés,
- altalaj jellemzői,
- pályaszerkezeti rétegek anyagjellemzői,
- méretezési forgalom,
- építés, fenntartás, felújítás ütemezése.

A méretezésnél használt pályaszerkezeti modell vázlatát az alábbi ábra mutatja. Az kritikus igénybevételeket az aszfaltréteg alján, a hidraulikus alaprég alján, valamint az altalaj felső szálában számítják.





1. ábra

Pályaszerkezeti modell, (Austroads, 2012)

2. Megbízhatósági szint

Minden projekthez egy megbízhatósági szintet rendelnek, ami az útkategória és forgalmi terhelés függvényében változik. A megbízhatósági szint egy olyan valószínűség, amelynél a pályaszerkezet a tervezési forgalmat a tervezett élettartamán belül jelentősebb beavatkozás nélkül elviseli. A definiált megbízhatósági szintek:

- 95,0 - 97,5 %: autópálya; gyorsforgalmi út, ahol az ÁNF > 2000 / forgalmi sáv
- 85,0 – 95,0 %: gyorsforgalmi út, ahol az ÁNF < 2000 / forgalmi sáv; főút, ahol az ÁNF > 500
- 80,0 – 85,0 %: egyéb út, ahol az ÁNF < 500.

3. Pályaszerkezeti rétegek anyagjellemzői

A pályaszerkezet anyagtulajdonságairól azt feltételezik, hogy homogének, rugalmasan viselkednek és izotrópok, kivételt képeznek a szemcsés anyagok és a földmű.

3.1. Altalaj

Ausztráliában a földmű anyagok jellemzésére általában a California Bearing Ratio (CBR) eljárást használják, ezért CBR érték és a talajok, kötőanyag nélküli szemcsés rétegek modulusa közötti kapcsolat fontos részét képezi a mechanikai méretezési eljárásnak. (Austroads 2012). Az ausztrál méretezési eljárás szerint a talaj modulusa és a CBR érték közötti összefüggés:

$$E = 10 \cdot CBR$$

ahol,

E - réteg modulusa, MPa

CBR - mért vagy számított CBR érték, %

Ezt az összefüggést több ok miatt ajánlják:

- széles körben ismert összefüggés,
- egyszerű forma,
- többféle talajtípusnál is jól alkalmazható.

A méretezési útmutató az altalajok esetében maximalizálja az altalaj modulusát, $E \leq 150$ MPa.

3.2. Cementtel kezelt rétegek tulajdonságai

A cementtel kezelt rétegek funkciójuk szerint lehetnek alaprétegek, vagy alsó alaprétegek, melyeket a táblázatban található értékekkel lehet figyelembe venni a méretezésnél.

Tulajdonság	Soványbeton	Alapréteg (4-5 %-os cementtartalom)	Cementtel kezelt alsó alapréteg (zúzottkő, cementtartalom: 2-4%)	Cementtel kezelt alsó alapréteg (kavics, cementtartalom: 4-5%)
Rugalmassági modulus, MPa, jellemző érték	5000-15000 10000	3000-8000 5000	2000-5000 3500	1500-3000 2000
Poisson-tényező, jellemző érték	0,1-0,3 0,2	0,1-0,3 0,2	0,1-0,3 0,2	0,1-0,3 0,2

1. táblázat
Alaprétegek tulajdonságai

3.3. Aszfaltrétegek tulajdonságai

Az aszfaltrétegek méretezési modulusait (MPa) szintén táblázatban foglalták össze, azonban a földrajzi elhelyezkedés (hőmérséklet), a forgalomsebessége, a bitumentartalom és modifikált bitumen alkalmazása esetén ezek az értékek módosulhatnak. A modulusok jellemző értékei ki vannak emelve. Megjegyezzük, hogy Ausztráliában a bitumeneket a 60°C hőmérsékleten mért viszkozitás alapján jellemzik, például a C170 bitumen viszkozitása 140 és 200 Pa.s érték között kell hogy legyen. Ezeket a bitumeneket közvetlenül nem lehet megfeleltetni az európai bitumeneknek, melyeket a penetráció és lágyulás pont alapján szabályoznak.

Maximum szemnagyság, mm	C170 bitumen	C320 bitumen	C600 bitumen	A10E (PmB)
10	2000-6000 3500	3000-6000 4500	3000-6000 6000	1500-4000 2200
14	2500-4000 3700	2000-7000 5000	4000-9000 6500	2000-4500 2500
20	2000-4500 4000	3000-7500 5500	4000-9500 7000	3000-7000 3000

2. táblázat
Aszfaltrétegek tulajdonságai

4. Évszaki és környezeti hatások

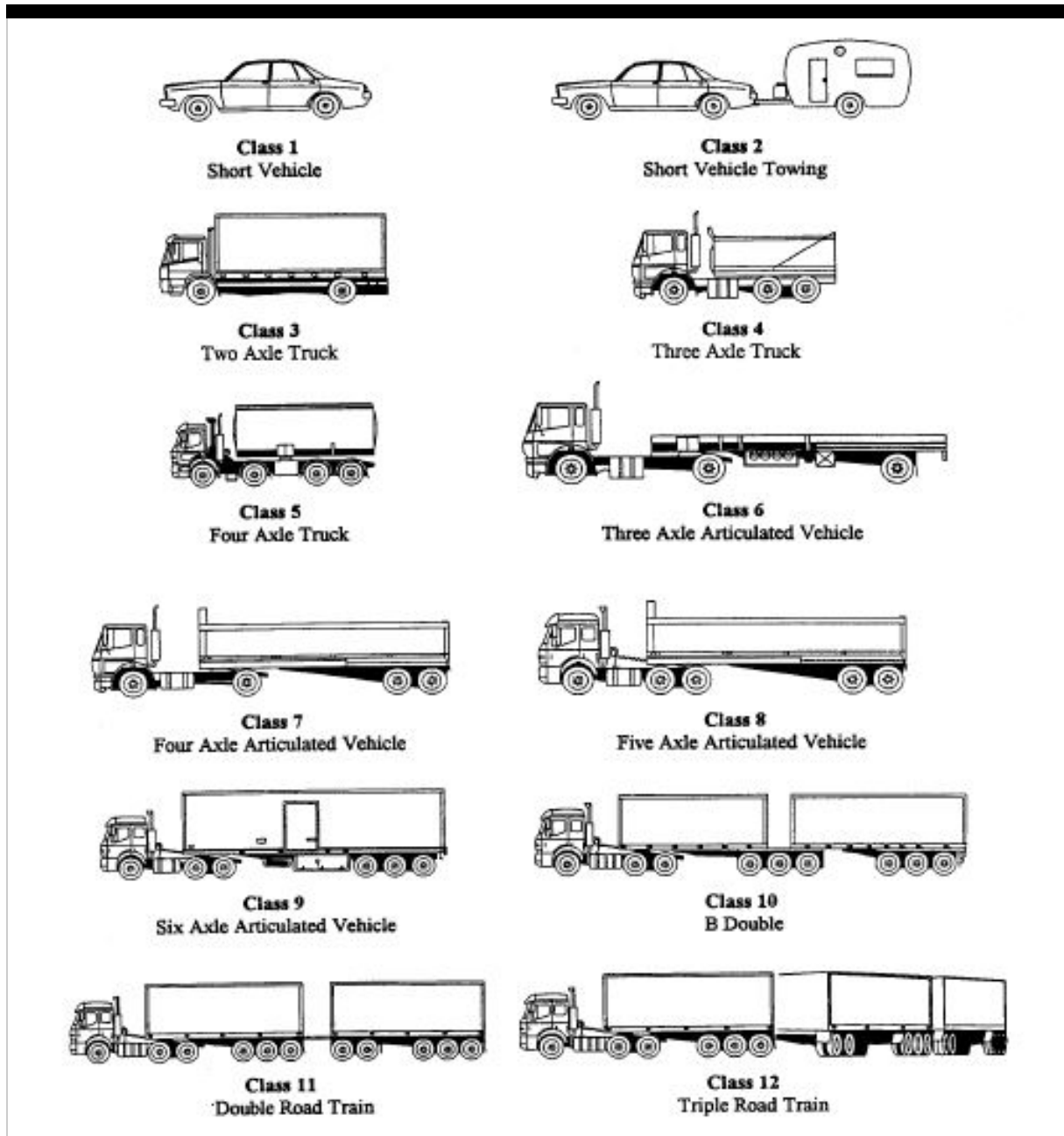
Ausztráliában a környezeti hatások közül a nedvességnek és hőmérsékletnek van legjelentősebb hatása a pályaszerkezetre. A méretezési eljárás nem foglalkozik a fagyási-olvadási ciklusokkal, mert ezen jelenség Ausztráliában meglehetősen ritka. Bár az új-zélandi kiegészítésben megjegyzik, ha fagyveszély áll fenn, akkor az építéshez csak olyan anyagot használhatnak, amelyek nem érzékenyek a fagyási-olvadási ciklusok hatásaira. (Land Transport New Zealand, 2008).

5. Méretezési forgalom

A méretezési forgalom számításakor kiválasztják a tervezési sávot, ami jellemzően mindig az a sáv, amelyiken a legnagyobb nehézgépjármű forgalom áthalad. Ez többsávú irányok esetén általában a külső, vagyis a bal

oldali sávot jelenti.

Ausztráliában a járműveket 12 járműosztályba lehet sorolni. Különlegességként megemlítendő, hogy a közúthálózat bizonyos szakaszain (többnyire sűrűn lakott területeken kívül) megengedett a hosszú-, illetve kombinált járművontatmányok közlekedése. A méretezés során az 1. és 2. osztályba tartozó könnyű járműveket nem veszik figyelembe. Az ausztrál közúti közlekedésben a super single (nagyterhelésű egyes abroncs) alkalmazása tiltott.



2. ábra

Járműosztályok (Austroads, 2012)

A méretezési útmutató a következő tengelysúly és abroncs elrendezések között tesz különbséget pályaszerkezet tervezéskor:

- egyes tengely, egyes abronccsal (kormányzott kerék)
- egyes tengely, ikerabronccsal
- kettős tengely, egyes abronccsal
- kettős tengely, ikerabronccsal
- hármastengely, ikerabronccsal
- négyes tengely, ikerabronccsal.

A méretezési forgalmat úgy határozzák meg, hogy az első év forgalomnagyságát összeszorozzák a tervezési időtartamra meghatározott összegzett forgalomfejlődési szorzóval. A kumulált forgalomfejlődési szorzót csak abban az esetben kell számítani, ha feltételezhető éves forgalomnövekedés.

5.1. Méretezési forgalom számítása

$$N_{DT} = 365 * ADT * DF * HV$$

ahol,

N_{DT} - kumulált forgalom

$AADT$ - átlagos napi forgalom, db

DF - irányszorzó, -

HV - nehézjárművek átlagos megoszlása a járművek között, %

N_{HVAC} - átlagos nehézgépjármű tengelyszám/járműosztály, db

LDF - sávszorzó, -

CGF - kumulált forgalomfejlődési szorzó, -

Kumulált forgalomfejlődési szorzó:

$$CGF = \frac{(1 + 0,01GR)^{DP} - 1}{0,01GR}$$

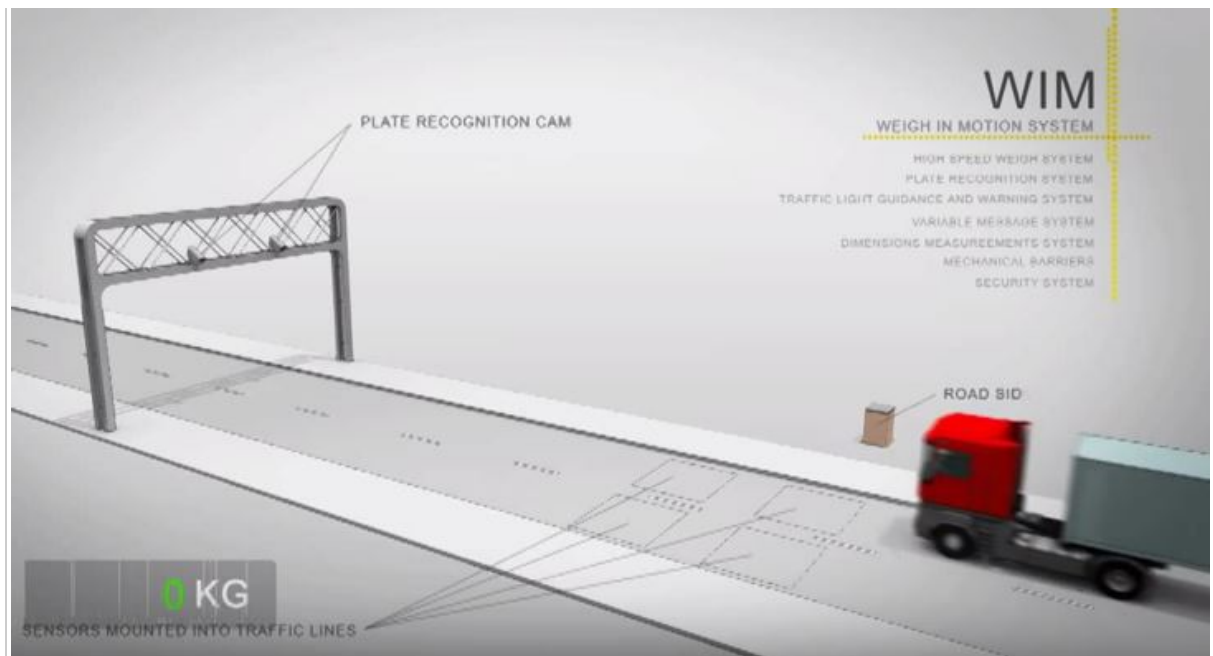
ahol,

CGF - kumulált forgalomfejlődési szorzó, -

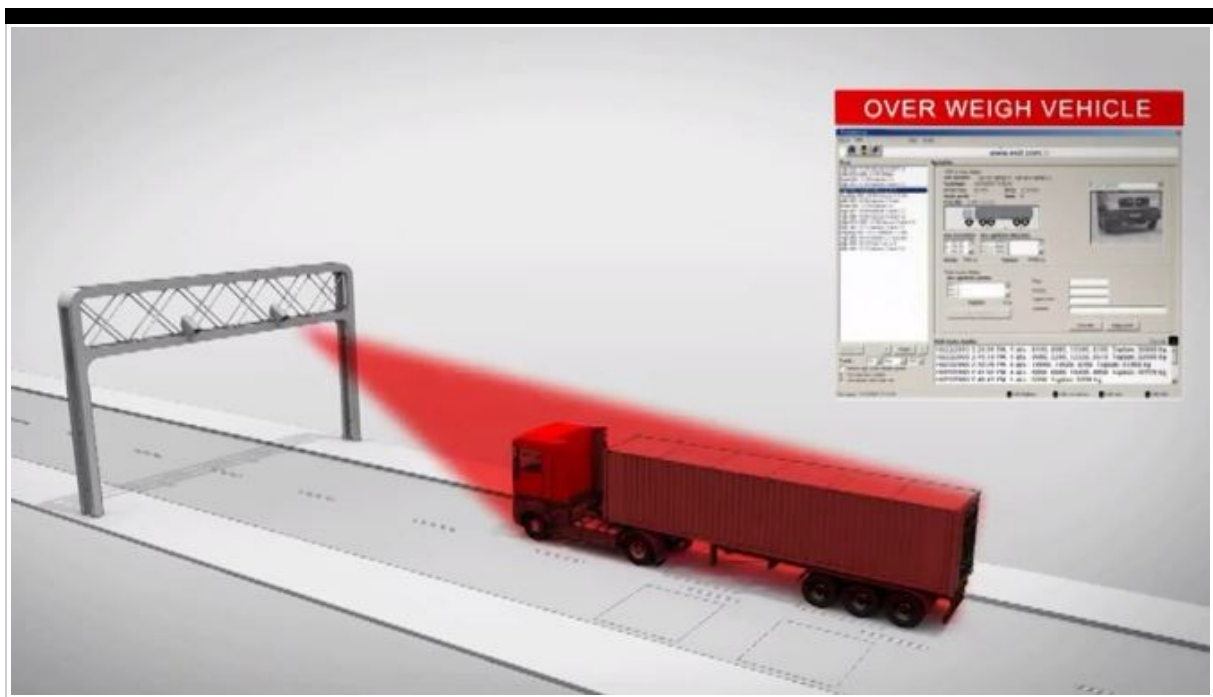
GR - évi forgalomnövekedési ráta, %

DP - tervezési idő, év, hajlékony pályaszerkezetek esetén 20-40 év.

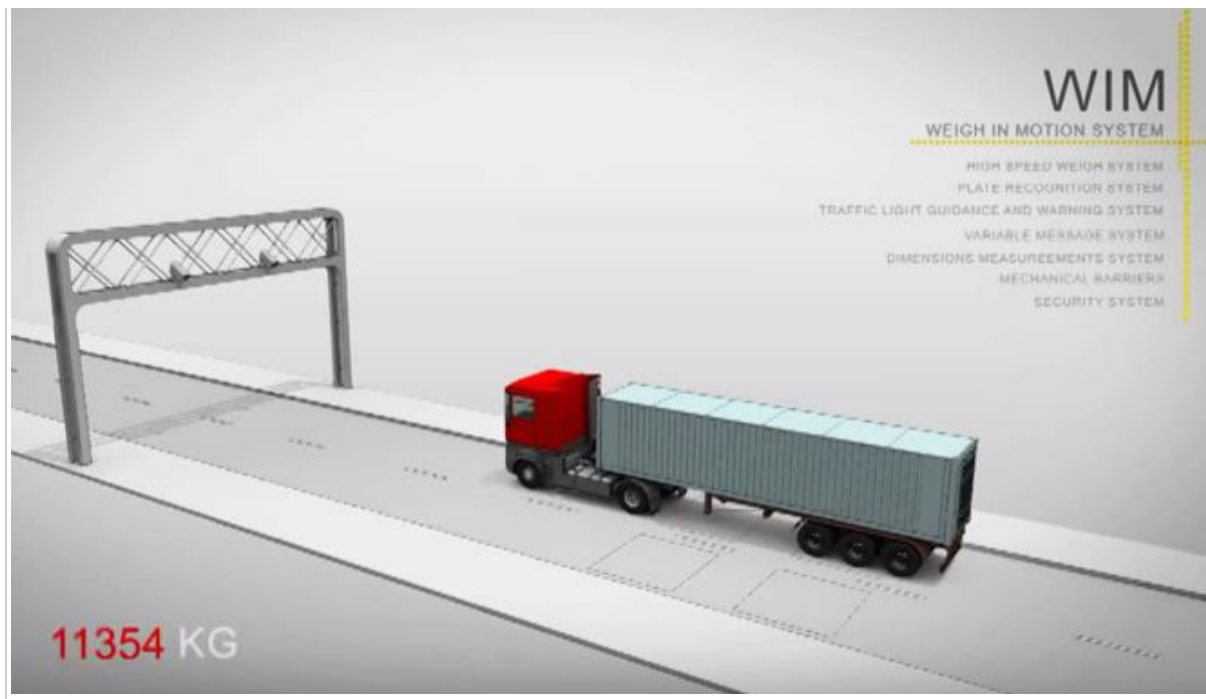
Ausztráliában a pályaszerkezet méretezéshez szükséges átlagos nehézgépjármű tengelyszámot a weigh-in-motion (WIM) mérésekből is megadhatják. A WIM rendszereket elsősorban túlméretes vagy a megengedett tengelysúlyt túllépő tehergépjárművek szűrésére fejlesztették ki. Az útpályaszerkezetre telepített mérőrendszer a járművek megállítása nélkül automatikusan észleli és azonosítja a detektorokon áthaladó járműveket, azok hosszát, tengelyterhelését, járműosztályát, stb. Ezeknek a rendszereknek általában három fő egysége van, a súlymérő egység, a járműazonosító rendszer és az adatrögzítő számítógép-terminál. A mérés első lépéseként pályaszerkezetbe épített hurokérzékelők segítségével mérik a szenzorok felett haladó jármű tengelyterhelését és súlyát. A jármű osztályozását és azonosítását (pl.: rendszám, hossz, szín, stb.) a forgalmi sáv fölé elhelyezett kamerák képei alapján végzi a rendszer. Az adatokat számítógép rögzíti. (Austroads, 2000)



3. ábra
 WIM mérés folyamata 1. (www.esit.com.tr)



4. ábra
 WIM mérés folyamata 2. (www.esit.com.tr)



5. ábra

WIM mérés folyamata 3. (www.esit.com.tr)

A pályaszerkezet méretezési útmutató definiál egy ún. méretezési egységtengelyt. A méretezési egységtengely egy 80 kN-os terhelésű, ikerabroncsokkal felszerelt tengely, a kerekek nyomása 750 kPa. Az egymás mellett lévő ikerabroncsok középpontjai közötti távolság 330 mm, a két-két ikerabroncs középpontja között 1800 mm távolság van. A méretezési egységtengely értékét az eltérő pályaszerkezeti rétegek esetén különböző módon kell figyelembe venni, mert a pályaszerkezeti rétegek forgalmi terheléssel szembeni ellenállása, fáradása különböző. Az egyes tengelycsoportok és azokhoz tartozó kerékelrendezések is más-más igénybevételt jelentenek a pályaszerkezet szempontjából.

Egy tengelycsoport és kerékelrendezés esetén a behajlási kritérium alapján meghatározták, hogy az adott tengelycsoport mekkora tengelyterhelés mellett jelent ugyanakkora igénybevételt, mint amit a méretezési egységtengely okozna. A tengelycsoportonkénti egységi terhelést a táblázat foglalja össze.

Tengelycsoport	Tengelysúly (kN)
Egyes tengely, egyes abronccsal (SAST)	53
Egyes tengely, ikerabronccsal (SADT)	80
Kettős tengely, egyes abronccsal (TAST)	90
Kettős tengely, ikerabronccsal (TADT)	135
Hármas tengely, ikerabronccsal (TRDT)	181
Négyes tengely, ikerabronccsal (QADT)	221

3. táblázat

Tengelycsoportonkénti terhelés

Méretezési egységtengely ismétlési számot tengelycsoportonként szükséges megadni a következő módon:

$$SAR = \left(\frac{L_i}{SL_i} \right)^m$$

ahol,

SAR - tengelycsoportonkénti egységtengely ismétlési szám, db

L_i - i -dik tengelycsoport terhelése, kN

SL_i - i -dik tengelycsoport egységnyi terhelése, kN

m - fáradási egyenlet kitevője, - (Kötött rétegek esetén: aszfalt 5; cement kötőanyagú réteg 12; kötőanyag nélküli szemcsés réteg 7; Kötőanyag nélküli alapréteg+vékony aszfaltréteg esetén az általános károsodás 4).

Az útmutató szerint a méretezési forgalom azt a méretezési egységtengely áthaladási számot (ESA) értik, amely a tervezési időtartam alatt azonos károsodást okoz, mint a kumulált forgalom.

$$DESA = \frac{ESA}{HVAG} * N_{DT}$$

ahol,

$DESA$ - méretezési forgalom egységtengelyben,

$ESA/HVAG$ - átlagos méretezési egységtengely szám tengelycsoportonként,

N_{DT} - kumulált forgalom.

$$DSAR_m = \frac{SAR_m}{ESA} * DESA$$

ahol,

$DSAR_m$ - tervezési forgalom károsodási típusonként,

SAR_m/ESA - m -dik károsodáshoz tartozó egységtengely áthaladási szám,

m - károsodás kitevője.

5.2. Mintapélda

$AADT$:5350 db

DF :0,5

$HV\%$:4 %

LDF :1,0

GR :4 %

DP :20 év

$$CGF = \frac{(1 + 0,01GR)^{DP} - 1}{0,01GR}$$

$$CGF = \frac{(1 + 0,01 * 4)^{20} - 1}{0,01 * 4} = 29,78$$

$$N_{DT} = 365 * ADT * DF * HV$$

$$N_{DT} = 365 * 5350 * 0,5 * 4/100 * N_{HVAG} * 1,0 * 29,78$$

$$N_{DT} = 1,16 * 10^6 * N_{HVAG}$$

Az összes tengelycsoport közötti megoszlás értékét vagy az útmutatóban megadott általános értékek alapján (államonként városi vagy külterületi bontásban) vagy eredeti WIM mérésekből lehet meghatározni. A lenti táblázatban egy, az útmutatóból származó általános eloszlást közlünk példaként.

900,11826,374113,23286,75966,5257

Tengelyterhelési osztályköz, kN	Tengelycsoportok százalékos megoszlása				
	SAST	SADT	TAST	TADT	TRDT
	%	%	%	%	%
10	0,2569	2,1791	0,1033	0,0971	0,0043
20	13,5274	10,2319	0,9558	0,6798	0,1057
30	18,0167	20,6747	1,2562	1,4088	0,2529
40	19,9923	17,9923	1,3315	3,7622	1,0424
50	25,7379	13,4201	4,5162	7,7252	4,9203
60	17,1140	8,2995	13,6576	10,3152	9,4372
70	4,3708	6,2664	17,9501	10,2244	9,7940
80	0,7690	7,6773	17,3598	8,5571	8,6152
100	0,0573	3,5792	9,9221	5,3419	4,3467
110	0,0128	1,6833	9,7695	4,3809	3,1213
120	0,0128	0,9164	4,6565	4,1481	2,7006
130	0,0086	0,4354	2,3255	4,2917	2,4734
140	0,0053	0,1888	1,1946	4,7138	2,6452
150	0,0000	0,0486	0,8719	6,1501	3,0875
160	0,0000	0,0250	0,3289	5,7139	3,4186
170	0,0000	0,0000	0,3108	4,9741	3,8058
180	0,0000	0,0079	0,1268	3,3997	4,9435
190	0,0000	0,0000	0,1025	2,6397	6,2365
200	0,0000	0,0000	0,0278	1,7043	7,2185
210	0,0000	0,0000	0,0000	1,1941	5,2375
220	0,0000	0,0000	0,0000	0,8293	3,7047
230	0,0000	0,0000	0,0000	0,4222	2,0195
240	0,0000	0,0000	0,0000	0,2111	1,4500
250	0,0000	0,0000	0,0000	0,1620	0,8953
260	0,0000	0,0000	0,0000	0,0753	0,6025
270	0,0000	0,0000	0,0000	0,0752	0,6229
280	0,0000	0,0000	0,0000	0,0137	0,3055
290	0,0000	0,0000	0,0000	0,0094	0,1953
300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1616
310	0,0000	0,0000	0,0000	0,0110	0,0409
320	0,0000	0,0000	0,0000	0,0045	0,0257
330	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0254
340	0,0000	0,0000	0,0000	0,0045	0,0181
350	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Megoszlás az összes tengelycsoport között	0,38	0,22	0,02	0,26	0,12

Azon járműveknek az aránya, amelyek egyes abronccsal rendelkeznek: $0,38 + 0,02 = 0,40$. 100 db nehéz gépjárműből 40 db-nak van egyes abroncsa, így a járművek száma $N_{HVAG} = 100/40 = 2,5$.

$$N_{DT} = 1,16 * 10^6 * 2,5 = 2,9 * 10^6$$

A következő lépésben a WIM mérések alapján meghatározzuk az SAR értékeket a négyféle anyagfáradás szerint. A tengelycsoportonkénti és fáradásonkénti átlagos SAR érték az egyes WIM mérési eredmények, a hozzájuk tartozó SAR értékek és a tengelycsoportok között megoszlás szorzatainak összegeként számítható ki. A példában a következő értékeket kaptuk:

- aszfalt fáradása (SAR5/HVAG): 0,96
- kötőanyag nélküli szemcsés réteg károsodása (SAR7/HVAG): 1,67
- cement kötőanyagú réteg fáradása (SAR12/HVAG): 18,95.

Átlagos SAR/ESA értékek:

- aszfalt fáradása (SAR5/ESA): $0,96/0,80 = 1,2$
- kötőanyag nélküli szemcsés réteg károsodása (SAR7/ESA): $1,67/0,80 = 2,1$
- cement kötőanyagú réteg fáradása (SAR12/ESA): $18,95/0,80 = 23,7$.

Tervezési forgalom egységtengelyben:

$$DESA = \frac{ESA}{HVAG} * N_{DT} = 0,8 * 2,9 * 10^6 = 2,3 * 10^6$$

Fáradás típusonkénti tervezési forgalom, melyet a méretezés során figyelembe kell venni a megengedhető igénybevételek számításához:

aszfalt fáradása (DSAR5): $1,2 * 2,3 * 10^6 = 2,8 * 10^6$

kötőanyag nélküli szemcsés réteg károsodása (DSAR7): $2,1 * 2,3 * 10^6 = 4,8 * 10^6$

cement kötőanyagú réteg fáradása (DSAR12): $23,7 * 2,3 * 10^6 = 5,5 * 10^6$.

6. Pályaszerkezeti rétegek igénybevételeinek meghatározása

6.1. Altalaj

A méretezés folyamat során általában az altalaj a legkritikusabb elem, ezért a méretezés során erre külön gondot szükséges fordítani. Az altalaj függőleges fajlagos megnyúlását a következőképpen kell számítani:

$$N = \left(\frac{9300}{\mu\epsilon} \right)^7$$

ahol,

$\mu\epsilon$ - függőleges számított megnyúlás az altalaj tetején, microstrain

N - megengedett egységtengely ismétlésszám, db.

6.2. Cementtel kezelt réteg

A cementtel kezelt réteg megengedett vízszintes fajlagos megnyúlásának számítása:

$$N = RF \left[\frac{\frac{11300}{E^{0,804}} + 191}{\mu\epsilon} \right]^{12}$$

ahol,

$\mu\epsilon$ - vízszintes számított megnyúlás a cementtel kezelt réteg ajján, microstrain

N - megengedett egységtengely ismétlésszám, db

E - cementtel kezelt réteg modulusa, MPa

RF - cementtel kezelt réteg megbízhatósági együtthatója, -

Megbízhatósági szint				
80%	85%	90%	95%	97,5%
4,7	3,3	2,0	1,5	1,0

5. táblázat

Cementtel kezelt réteg megbízhatósági együtthatója

6.3. Aszfalt réteg

Az aszfalt réteg megengedett vízszintes fajlagos megnyúlásának számítása:

$$N = RF \left[\frac{6919 * (0,856V_b + 1,08)}{S_{mix}^{0,36} \mu\epsilon} \right]^5$$

ahol,

$\mu\epsilon$ - vízszintes számított megnyúlás az aszfalt réteg(ek) ajján, microstrain

N - megengedett egységtengely ismétlésszám, db

V_b - kötőanyag térfogati mennyisége az aszfaltkeverékekben, %

S_{mix} - aszfaltréteg modulusa, MPa

RF - az aszfalt réteg megbízhatósági együtthatója, -

Megbízhatósági szint				
80%	85%	90%	95%	97,5%
2,5	2,0	1,5	1,0	0,67

6. táblázat

Aszfalt réteg megbízhatósági együtthatója

7. Hajlékony és félmerev pályaszerkezet méretezése, igénybevételek számítása

A méretezési útmutatóban szereplő igénybevételek (feszültségek és alakváltozások) számítására a MinCad System kifejlesztette a CIRCLY szoftvert, mely az elmúlt két évtizedben világszerte bevált tervezőeszközzé vált a többrétegű hajlékony pályaszerkezetek méretezésénél. Az alkalmazott pályaszerkezeti modell és terhelés jellemzői:

- többrétegű pályaszerkezet
- izotróp és anizotróp anyagtulajdonságok
- alaprétegnek automatikusan szemcsés anyagot állít be
- teljesítmény (fáradási) kritériumok széles skáláját tartalmazza, de saját kritériumokat is beállíthatunk
- a járműtípusok és a terhelési módok száma nincs korlátozva, bármilyen kombináció felvehető
- fékezésből származó terhelés is számítható

Előnye, hogy az egyes rétegekben keletkező igénybevételeket a megengedett igénybevételekkel azonnal

összehasonlítja, ezért nincs szükség a külön számításokra a megengedett és tényleges igénybevételek értékeléséhez. A program számos tervezési lépést magába foglal, ezáltal a méretezés időtartam jelentősen rövidíthető. A szoftver tartalmaz ez költségelemző funkciót, amely a pályaszerkezeti rétegek vastagságának változtatásával lehetővé teszi az építési és fenntartási költségek minimalizálását. A program a pályaszerkezet optimális vastagságát a másodperc tört része alatt képes meghatározni. A CIRCLY a Miner hipotézist alkalmazva az eredményjelző panelen megjeleníti a károsodás mértékét, és amennyiben ez nem megfelelő, azonnal módosítható a pályaszerkezeti modell és újrafuttatható a számítás, amivel meggyorsítható az iteratív folyamat.

8. Felhasznált irodalom:

Austroroads 2012, Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design, AGPT02/12, Austroroads, Sydney

Land Transport New Zealand, 2008: Adaptation of the Austroroads Pavement Design Guide for New Zealand Conditions; Report 305

Austroroads 2000; Weigh-In-Motion Technology, AP-R168-00

Fi et al. 2012; Útburkolatok méretezése, Terc Kft., pp. 159-172.

Adatok

Megjelent itt

7. szám

Szerző

Dr. Pethő László

Szentpéteri Ibolya

Témakörök

Kiemelt • Útépités

Kulcsszavak

CIRCLY • hajlékony pályaszerkezet méretezés • weigh-in-motion

Befogadva

2016. március 31.

Hozzászólás

* Név

* Email

:

Honlap

Hozzászólás

Hozzászólás elküldése

[Bejegyzések](#)

[Galéria](#)

[Impresszum](#)

[Interjúk](#)

[Könyvajánló](#)

[Nemzetközi szemle](#)

[Szakolvasó](#)

[Témakörök](#)

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



Az M1 autópálya forgalmi menedzsment tervének előkészítő vizsgálatai – baleseti- és torlódási adatok elemzése

Szerző(k) **Dr.-habil. Lindenbach Ágnes és Bachmann Dóra**

Kivonat

Az M1 autópálya a kelet-nyugati irányú tranzit forgalom legfontosabb útvonala. A legnagyobb részben 2x2 sáv + leállósáv kialakítású pálya forgalma a Budapest-közei szakaszokon a kapacitás 80%-át is meghaladja. A kapacitást közelítő forgalomban átlagosan 25% körüli a nehézforgalom részaránya. Ezek a tényezők együttesen rendkívül zavar-érzékenyvé teszik a pályát, az események gyorsan eszkalálódnak, és az elhárítás után csak lassan normalizálódik a helyzet.

A fenti helyzet tette szükségessé átfogó forgalmi menedzsment terv elkészítését az M1 autópályára, figyelembe véve a határ menti térségben a határon átnyúló forgalmi menedzsment lehetőségét az osztrák, valamint a szlovák autópálya üzemeltetővel közösen, előre rögzített kritériumok és feltételrendszer mellett.

A cikk bemutatja a baleseti és torlódási adatok feldolgozása során feltárt összefüggéseket, az adatsorokból levonható következtetéseket.

Bevezetés

A Magyar Közút Nonprofit Zrt megbízásából a CROCODILE 2013-EU-50003-P európai TEN-T finanszírozású projekt keretében tanulmány készült 2015-ben, „Regionális/régiókon átnyúló forgalmi menedzsment terv az M1 autópályán bekövetkező váratlan események kezelése érdekében” címmel. A tanulmány tartalmi felépítését, módszertani alapját az EasyWay projekt keretében kidolgozott, 2012. évi EasyWay EW-ICT-DG01 „Traffic Management Plans for Corridors and Networks” Alkalmazási Útmutató, valamint annak 2014 év során – az EIP+ keretében – továbbfejlesztett 2014. évi végleges változata adta.

A tanulmány előkészítő munkarésze részletes forgalmi, baleseti elemzést tartalmazott, illetve feldolgozta az M1 autópálya forgalmi zavarairól az üzemeltető által gyűjtött adatsorokat. Cikkünkben az adatfeldolgozás és adatelemzés következtetéseit mutatjuk be.

1. Forgalmi torlódások elemzése

1.1. A torlódás fogalma

A forgalmi torlódás meghatározására nincs széles körben használt definíció. A HCM 2010 szerint E és F szolgáltatási szint (Level of Service, LoS) esetén beszélhetünk torlódásról. Az E szolgáltatási szint esetén a forgalmi folyamat instabil, az útszakasz áteresztő képessége kapacitáshatáron van. A sebesség ugyan 85 km/h, vagy e fölötti, de bármilyen apró forgalmi esemény (emelkedő, sávváltás) visszagyűrűző forgalomsűrűsödéssel fenyeget. A torlódás elkerülhetetlenül bekövetkezik. Az F szolgáltatási szint esetén a járművek szorosan egymás mögött, alacsony sebességgel, lépésben haladnak csak, vagy megállásra kényszerülnek.

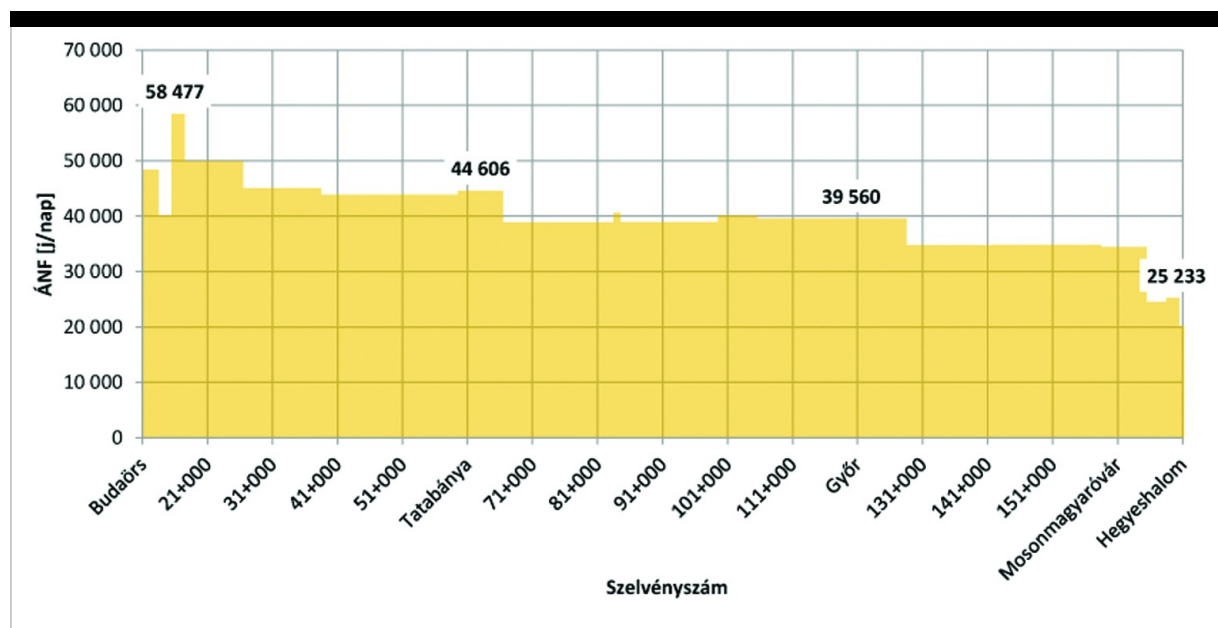
Breitensten et al (1980, FGSV) megfogalmazása szerint „A torlódás egy olyan forgalmi helyzet, amely egy hosszabb útszakaszon számottevő időn keresztül a forgalmi folyamat alkotó járművek összessége számára a sebesség szabad megválasztását jelentősen korlátozza.” A definícióból következően a forgalmi helyzet a következő számszerű paraméterek írják le:

- a torlódással érintett útszakasz hossza,
- a torlódásos helyzet fennállásának időtartama,
- a sebességválasztás korlátozásának mértéke.

Chung – Recker (2012) publikációja szerint a normál (zavartalan) és torlódással érintett (zavart) forgalmi viszonyok közötti különbség jól jellemezhető a járművek átlagsebességének 25%-os csökkenésével.

1.2. Forgalmi helyzet

Az M1 autópálya a kelet-nyugati irányú tranzit forgalom legfontosabb útvonala. Az M7 elválási csomópont és Hegyeshalom között az átlagos napi forgalom 50.000 és 35.000 jármű/nap között egyenletesen csökken. A forgalom jellege éves és heti forgalom-lefolyás szerint: E1 - tranzit jellegű, határozott nyári üdülő vagy turista jelleggel, nagyarányú éjszakai forgalommal. A legnagyobb részben 2x2 sáv + leállósáv kialakítású pálya forgalma a Budapest-közei szakaszokon a kapacitás 80%-át is meghaladja. A kapacitást közelítő forgalomban átlagosan 25% körüli a nehézforgalom részaránya (1. ábra). További problémákat okozhat a jövőben, hogy az autópálya legforgalmasabb szakasza (M7 elválás – Tata) kapacitáshatáron mozog, kifejezetten zavar-érzékeny, így a jövőben egyre több torlódásos eseményre és éves szinten egyre nagyobb társadalmi veszteségre lehet számítani.



1. ábra
Az M1 autópálya átlagos napi forgalma 2014-ben

1.3. Torlódás adatok

A forgalmi menedzsment tervek és fejlesztések szempontjából fontos körülmény, hogy melyik autópálya szakaszon milyen gyakorisággal és milyen okokból következnek be forgalmi torlódások.

Az előre nem látható eseményekre (vészhelyzet, baleset) való felkészülésben is segítséget nyújt a korábbi események térbeli és időbeli megoszlásának ismerete, de a tervezett, forgalmat zavaró tevékenységek (fenntartás, felújítás) minél kisebb fennakadást okozó ütemezése is alapvető érdeke az autópályát üzemeltetőnek és használónak egyaránt.

Az M1 autópályán 2010.01.01. és 2015.06.10. között észlelt torlódások adatait dolgoztuk fel. Az adatokat a Magyar Közút Nonprofit Zrt. szolgáltatta.

A torlódásos helyzetek felismerése a diszpécser feladata, akik kamerás megfigyelések és a csomópontok közelében elhelyezett mérőhelyek sebességadatai alapján észlelik a torlódás kialakulását és azonosítják a helyét. Jellemzően a drasztikusan csökkenő sebesség, követési távolság és a torlódás látható visszaduzzasztó hatása alapján adják ki a riasztást.

A kapott adatszolgáltatás szerint az M1 autópályán a vizsgált 5,4 év folyamán 440 torlódásos esemény történt. Az adatokat a F. F. Bolte (1984) értekezése alapján a következő szempontok szerint értékeltük:

- okok szerint,
- a torlódás időtartama szerint,
- a torlódás hossza szerint,
- napszak szerint,
- a hét napjai szerint,
- a hónapok szerint.

A torlódások kialakulásának *oka* az esetek közel kétharmadában közlekedési baleset, amely nem jelent minden esetben személyi sérüléssel járó balesetet. A torlódások 25%-ának kialakulásáért építési és fenntartási munkák okolhatók (időszakos kapacitáscsökkenés), a fennmaradó 11%-nál előre nem látható események és rossz időjárási körülmények tehetők felelőssé.

A kialakult torlódás *időtartamának* és *hosszának* vizsgálatakor külön választottuk a közútkezelő által kisebb mértékűnek, illetve jelentősnek minősített eseményeket.

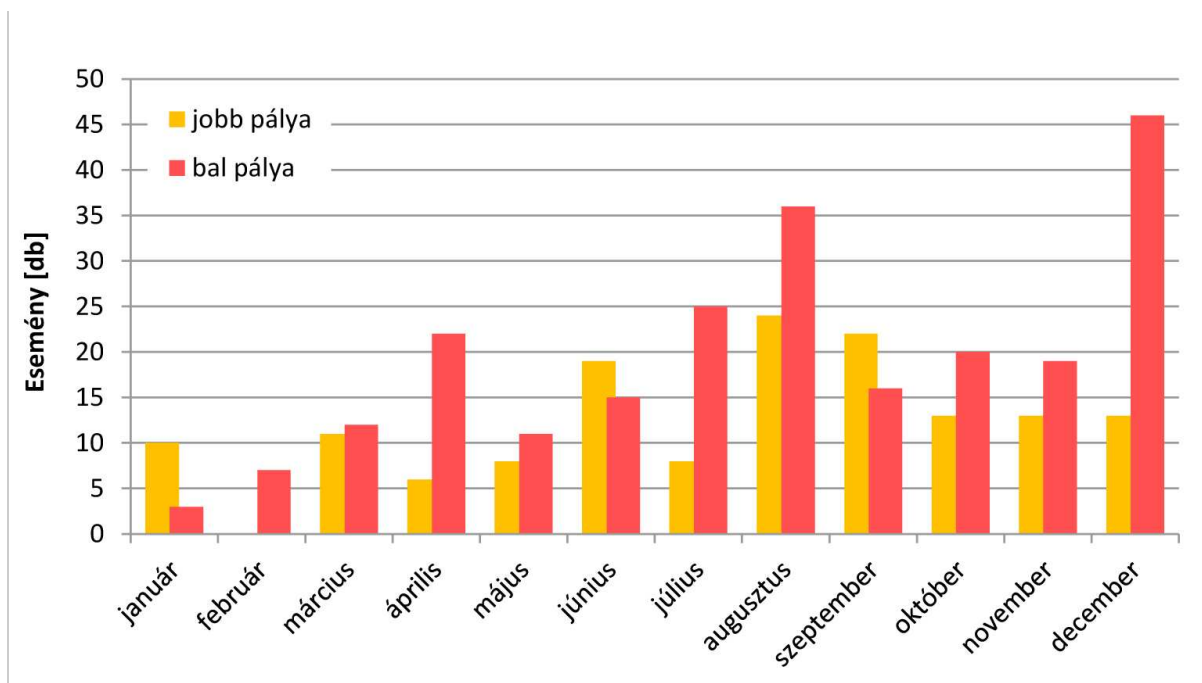
A kisebb mértékű torlódások jellemző időtartama 30 perc és 60 perc között volt (42,2%), átlagos időtartama 1 óra 36 perc, de 6 esetben 5 óránál hosszabb problémás időszakot jegyeztek fel. A kisebb mértékű torlódások hossza az esetek 60%-ában 800 m alatt maradt, és csak néhány esetben haladta meg a 2400 métert. Átlagos hosszuk 875 m volt.

A jelentősebbnek ítélt torlódások időtartamának leggyakoribb tartománya 1 és 1,5 óra között volt. A zavarok 8%-a fél órán belül, 25%-a 1 órán belül feloldódott, 40%-uk 2 órán túl is fennállt. Átlagos időtartamuk 2 óra 6 perc volt a vizsgált időszakban. Átlagos hosszuk 3880 m-re adódott. Nagyobb részük (54%) 3000 m alatti volt, de nagy arányban (18,6%) alakultak ki 5 - 10 km hosszú torlódások is.

A 440 db torlódás feljegyzésből 354 hétköznapi (80%), 86 pedig hétvégi napról származik. *Napszak szerint* szétbontva az adatokat azt tapasztaltuk, hogy hétköznap és hétvégén egyaránt a forgalmi zavarok 7%-a alakul ki az esti órákban (19:00 - 22:00 óra között) és 8-10%-a alakul ki az éjszakai órákban (22:00 és 6:00 óra között). Markánsabb különbség a reggeli csúcsidőben és a napközbeni időszak között van: hétvégén a torlódások 36%-a a napközbeni időszakra esik (10:00-15:00), hétköznap pedig a reggeli csúcsidőszakra (6:00-10:00) jut a legnagyobb szelet, 34%.

A torlódások *hét napjai szerinti* megoszlását megfigyelve azt találtuk, hogy a legtöbb forgalmi zavar csütörtöki napon alakul ki: 21,4%, közel ugyanennyi, 19% pedig pénteken következik be. A hétvégi napokra 10-10% jut.

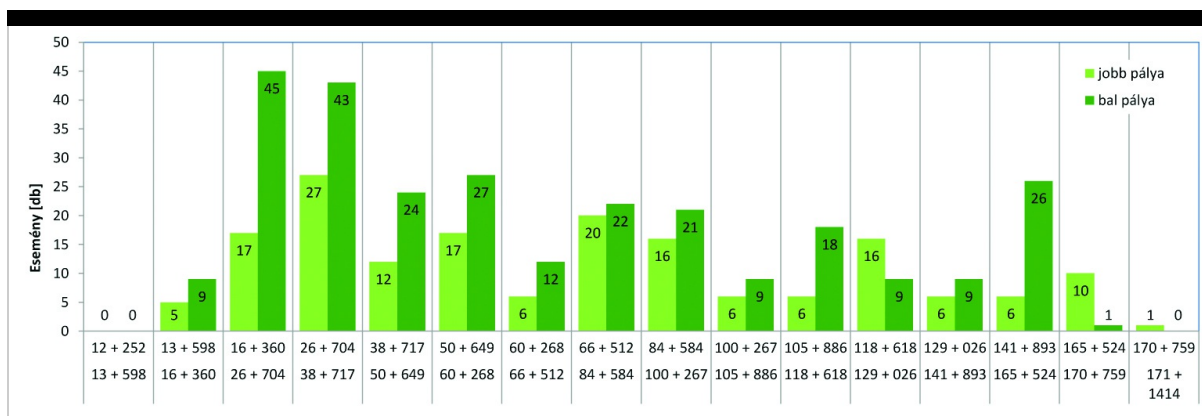
A *torlódások hónapok szerinti ingadozását* mutatja be a 2. ábra. Kiugróan magas a torlódások előfordulása augusztusban és decemberben (60 és 58 eset az öt év folyamán) – ennek magyarázata lehet az ingázó munkavállalók utazása az EU és Magyarország, Kelet-Európa, illetve a Balkán között. Érdekes megfigyelni, hogy a jobb pálya adatai kisebb intervallumban mozognak az egyes hónapok között, a bal pálya adataiban kiugró értékeket láthatunk augusztusban és decemberben, és viszonylag nagy különbséget találunk a két pálya között júliusban és áprilisban is.



2. ábra

Torlódások az M1 autópályán hónapok és oldal szerint, 2010-2014

Lényegesen többször fordul elő torlódás a Budapest felé vezető bal pályán: a jobb pályán 165, a bal pályán 269, mindkét pályán egyszerre 6 alkalommal alakult ki torlódás. A torlódás kialakulásának helyét vizsgálva megfigyelhető, hogy leggyakoribbak a biatorbágyi és a bicskei csomópont között (17. és 39. sz. csp.), illetve a bal pályán a bicskei és tatabányai csomópontok (39. és 61. sz. csp.) és a lébényi és M15 csomópontok (142. és 166. sz. csp.) között. (3. ábra)



3. ábra

Torlódások előfordulása az M1 autópálya forgalmi szakaszain, oldal szerint, 2010-2015

2. Baleseti elemzés

A 2010 – 2015 közötti időszak baleseteinek elemzésével elkészített részletes baleseti vizsgálatok magukba foglalták a balesetek megoszlását balesettípusok szerint, a balesetek kimenetele szerint számított relatív baleseti mutatókat, a balesetsűrűség és a balesetek gyakoriságának elemzését.

Az M1 autópálya 12+252 km - 171+1414 kms közötti szakaszán a 2010 – 2014 közötti időszakban összesen 505 személyi sérüléssel regisztrált baleset történt; ebből 31 halálos, 166 súlyos sérülést, 308 könnyű sérülést okozó. A Magyar Közút Nzrt. adatgyűjtése a csak anyagi káros baleseteket is rögzíti, ezekkel együtt 3690 esemény történt.

A leggyakoribb személyi sérüléssel járó balesetek az azonos irányba haladó járművek balesetei, a balesetek

többsége, 51,7%-a tartozik ide. A balesetek másik nagy csoportját az egyjárműves, pályaelhagyás illetve szilárd tárgynak ütközés alkotta balesettípus adja, ez a balesetek 42%-át jelenti. Számos várakozó járműnek ütközés és gyalogoselütés történt, amelyek ugyan az eseteknek csak 4,6-át teszik ki, de a kimenetek felében halálos áldozatot követeltek.

A forgalmi adatokból és személyi sérüléssel járó balesetekből számított relatív baleseti mutató a következő táblázat szerint alakult:

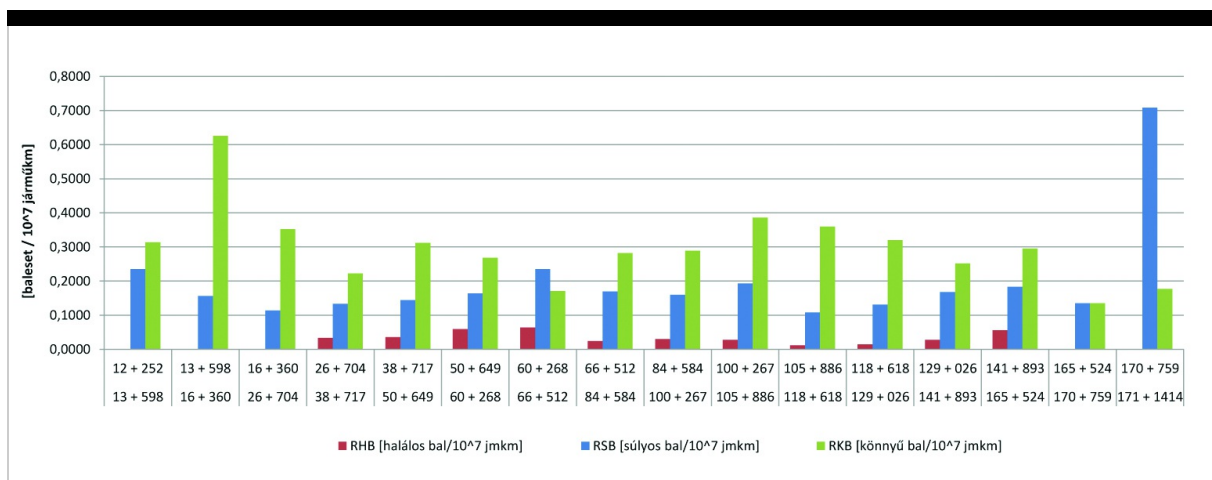
2010-2014	M1	Országos átlag
RHB, relatív halálos baleseti mutató [halálos baleset /10 ⁷ jm km]	0,0291	0,0334
RSB relatív súlyos baleseti mutató [súlyos baleset /10 ⁷ jm km]	0,1558	0,1486
RKB relatív könnyű baleseti mutató [könnyű baleset /10 ⁷ jm km]	0,2890	0,2829
RBM relatív baleseti mutató [összes baleset /10 ⁷ jm km]	0,4739	0,4649

1. táblázat

Relatív baleseti mutatók az M1 autópályán, 2010-2014

A táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy a relatív baleseti mutatók nagyjából a hazai autópályák átlagával egyeznek meg: a halálos balesetek mutatója valamivel alacsonyabb, az összes baleset relatív mutatója kis mértékben meghaladja az országos átlagot. Az összes balesetre számított relatív baleseti mutató viszonylag egyenletes a teljes autópályán, kivéve a Törökbálint és M0 közötti, illetve a 101. és 107. sz. csomópontok közötti (Nagyszentjános, Bőny – M19) rövid szakaszokat, amelyek valamivel kedvezőlenebbek.

Az egyes kimenetek szerint számított relatív baleseti mutatókat a 4. ábrán vizsgálva látható, hogy az országos átlagot kétszeresen is meghaladó, legmagasabb relatív halálos baleseti mutatójú szakaszok az 50+649 és 66+500 km sz. között, illetve a 141+900 és 165+500 km sz. között találhatóak. Magas a könnyű sérüléssel járó balesetek relatív sűrűsége az M7 elválassi csomópont és az M0 közötti szakaszon, illetve a gönyűi csomópont és a 82-es úttal alkotott csomópont között (101. és 119. sz. csp.).

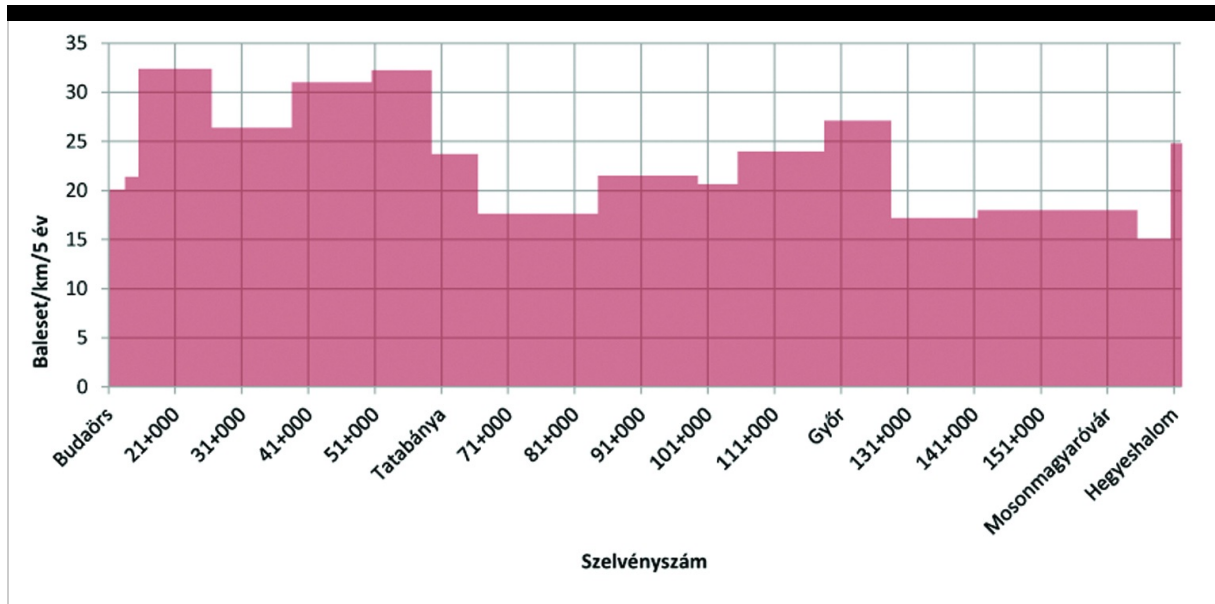


4. ábra

Relatív baleseti mutatók az M1 autópályán, kimenetel szerint, (2010-2014 közötti időszakban)

Az öt év (2010-2014) személyi sérüléssel és anyagi káros baleseteiből számított balesetsűrűséget mutatja az 5. ábra. Az átlagos napi forgalom ábrájával összevetve (1. ábra) látható, hogy a balesetek nem csak a nagy forgalmú Budaörs-Tata szakaszon gyakoribbak, hanem Komáromtól Győrre is magasabb balesetszám

tapasztalható (különösen a 82-es és a 85-ös út csomópontjai között), mint a hasonló forgalmú, Tata-Komárom szakaszon.



5. ábra

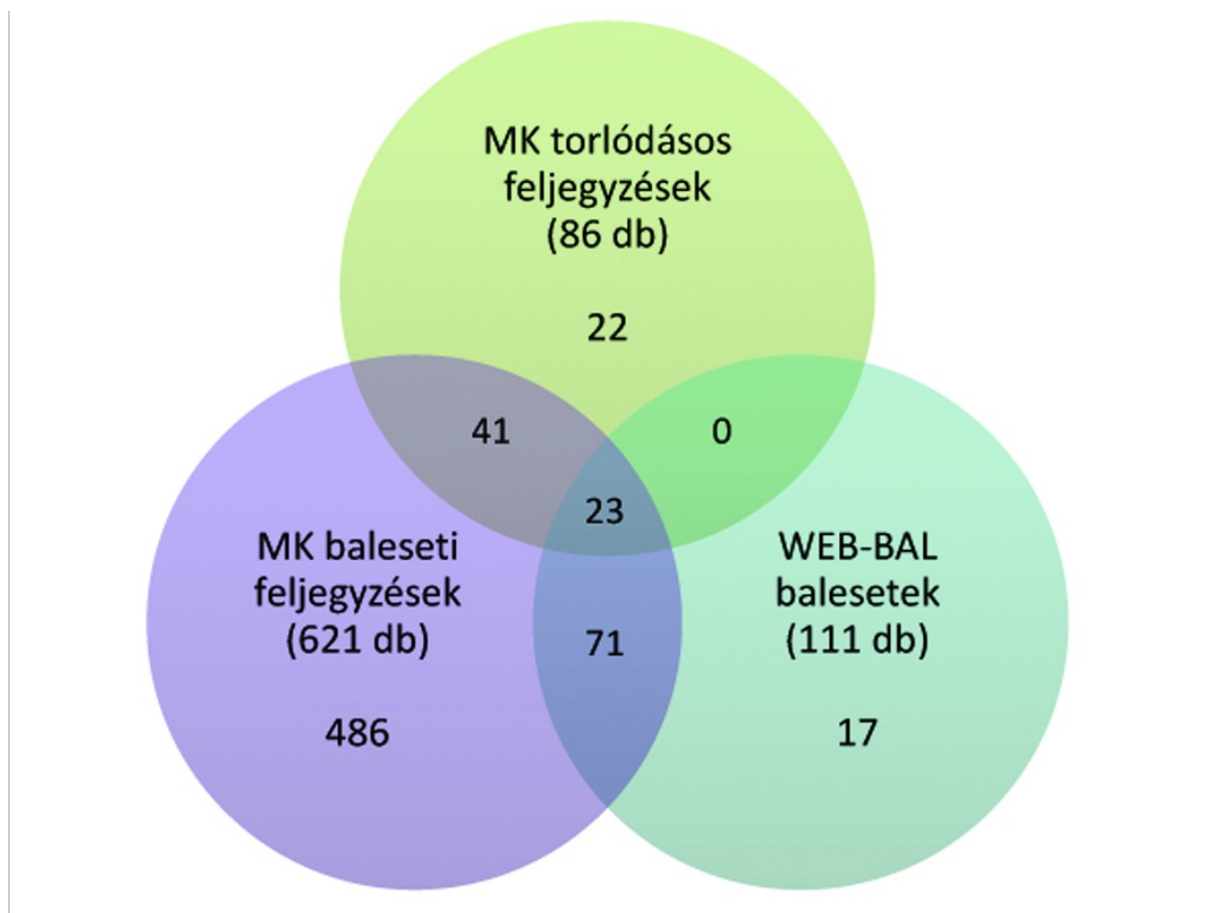
Balesetsűrűség az M1 autópályán, 2010-2014 évi baleseti adatok alapján

3. A balesetek és a torlódások közötti összefüggések vizsgálata 2014. évben

Végül együttesen elemeztük a 2014 évben történt baleseteket és torlódásokat. 111 baleset (forrás: WEB-BAL) és 129 torlódás (forrás: MK Zrt.) adatait, illetve a Magyar Közút Nzrt. által nyilvántartásba vett személyi sérüléssel és csak anyagi káros balesetek listáját vettük számításba (621 feljegyzés).

Az M1 autópályán történt balesetből eredően 86 alkalommal alakult ki torlódás, és további 3 baleset történt más okból előálló torlódás közben. Ez az összes bekövetkezett forgalmi zavar 67%-át tette ki. A torlódás okaként meghatározott balesetek 23 esetben (26,7%) jelentettek személyi sérüléssel járó balesetet, 41 csak anyagi kárral járó balesetet (47,7%) és 22 torlódásos feljegyzéshez nem tudtunk balesetet hozzárendelni (25,6%). A személyi sérüléssel járó balesetek időtartama átlagosan 2,5 óra, hossza átlagosan 3,8 km volt. A személyi sérüléssel járó balesetek időtartama átlagosan 2,0 óra, hossza átlagosan 3,6 km.

A WEB-BAL adatbázis szerinti személyi sérüléssel járó balesetek 20,7%-a (23 baleset) okozott az autópályán torlódást. A 111, adatbankból leszűrt személyi sérüléssel járó baleset 15,3%-áról nem készült a Magyar Közút Nzrt. részéről feljegyzés (17 eset, vélhetően nem került sor közútkezelői intézkedésre). Az összefüggéseket a 6. ábra szemlélteti.



6. ábra

Balesetek és a torlódások közötti összefüggések, M1 autópálya, 2014.

A 6. ábrából levonható tanulság, hogy a balesetek és a torlódások közötti összefüggések kutatásakor fontos figyelembe venni az anyagi káros baleseteket is. Ugyan a személyi sérüléssel járó baleseteknek csak 20%-a, az anyagi káros baleseteknek 8%-a okoz torlódást, az adathalmaz mérete indokoltá teszi felhasználásukat, illetve árnyaltabb képet kapunk a balesetekre érzékeny helyszínekről.

4. Összegzés

Összefoglalva elmondható, hogy évente kb. 130 alkalommal számíthatunk torlódás kialakulására az M1 autópályán. Leggyakoribbak a torlódások a reggeli és délelőtti órákban, a csütörtöki és a pénteki napokon, illetve augusztus és december hónapban. Forgalmi zavarra szinte minden szakaszon inkább a bal pályán, leggyakrabban Bicske és Biatorbágy között lehet számítani.

Forgalmi zavarok kialakulásának okai negyed részben építési és fenntartási munkák voltak. Lényeges, hogy ezeket az ideiglenes kapacitás-csökkenéssel járó tevékenységeket a forgalomlefoiyás ingadozása és a torlódások kialakulásának valószínűsége alapján úgy tervezzük meg előre, hogy a lehető legkevesebb fennakadást okozzák, ahogy belső utasításával a Magyar Közút Nonprofit Zrt. ezt – a tervezhető tevékenységek esetére vonatkozóan – szabályozta.

Mivel a torlódások kialakulásának oka az esetek kétharmadában baleset és baleseti helyreállítás, fontos elemezni a baleseti adatokat is. A 2010 és 2014 között bekövetkezett 505 személyi sérüléssel járó baleset 6%-a volt halálos, 33%-a súlyos és 61%-a járt könnyű sérüléssel.

Az autópálya Budaörs-Hegyeshalom szakasza a relatív baleseti mutatók tekintetében az országos átlag körül helyezkedik el, ám magas a relatív halálozási mutató az 50+649 és 66+500 km sz. között, illetve a 141+900 és 165+500 km sz. között. Balesetek előfordulása leggyakoribb a nagy forgalmú szakaszokon: M0 és Zsámbék, Bicske és Tatabánya-centrum csomópontok között, illetve a 82-es és a 85-ös főutak csomópontjai között.

A baleseti mentés, baleseti helyreállítás és szükség esetén forgalomterelés esetére kidolgozott forgatókönyvek, az úthasználók valós időben történő informálása, az ehhez szükséges tájékoztató és forgalombefolyásoló

rendszerek kiépítése, kiegészítése jelentős utazási idő megtakarítást eredményezhet.

Köszönetnyilvánítás

A jelen tudományos közleményt a szerzők a Pécsi Tudományegyetem alapításának 650. évfordulója emlékének szentelik.

Felhasznált irodalom

Breitenstein et al (1980): Fahrzeugpulks und Verkehrsstau. Strassenverkehrstechnik 24 (1980) Heft 1. ISSN: 0039-2219

EasyWay EW-ICT-DG01: Traffic Management Plans for Corridors and Networks Alkalmazási Útmutató, 2012. november

EasyWay TMS-DG07: Traffic Management Plans for Corridors and Networks Alkalmazási Útmutató, 2014. december

Friedrich-Franz Bolte: Stauwarneinrichtungen an Autobahnen – Konzeption und Erfahrung. Dissertation zur Erlangerung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs. Karlsruhe, 1984.

Lindenbach Ágnes, et al: CROCODILE forgalmi menedzsment tervek. Tanulmány. Budapest, 2015.

Universitas-Győr Nonprofit Kft. – Trenecon Kft.: A közúti biztonsági hatásvizsgálati útmutató felülvizsgálata Budapest, 2015. december, 18 oldal

Y.Chung – W. Recker: A Methodological Approach for Estimating Temporal and Spatial Extent of Delays Caused by Freeway Accidents, 2012

Adatok

Megjelent itt

7. szám

Szerző

Dr.-habil. Lindenbach Ágnes

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

Bachmann Dóra

Okleveles építőmérnök, közúti közlekedésbiztonsági auditor.

Témakörök

Kiemelt • Közlekedésbiztonság • Útgazdálkodás

Kulcsszavak

autópálya • baleseti adatok • forgalmi menedzsment terv • torlódás

Befogadva

2016. március 31.

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](#)



A közlekedésbiztonságot javító intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások fejlődési lehetőségeinek, stratégiai célkitűzéseinek meghatározása

Szerző(k) **Dr. Török Árpád**

Kivonat

Jelen cikk a célja a közlekedésbiztonság javítását szolgáló intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások jövőbeni hazai stratégiájára vonatkozó koncepcionális megfontolások ismertetése.

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedben a közúti közlekedés baleseti mutatóit folyamatos javulás jellemezte, mely azonban az előző két évben megtorpant (Török, Á., 2015). Az Európai uniós célkitűzések teljesítésének kötelezettsége, és az áldozatokkal járó anyagi veszteségek csökkentése nemzetgazdasági szempontból kiemelt jelentőségű. Ennek tükrében a biztonság javítását szolgáló innovatív infokommunikációs megoldások, az új, intelligens rendszerek napjainkban felértékelődnek, az általuk nyújtott potenciál kiaknázása stratégiai fontosságúnak tekinthető.

Az elmúlt évtized baleseti mutatóinak javulásában óriási szerepe van a passzív biztonsági megoldások terjedésének. Ezzel is magyarázható, hogy a passzív biztonság terén már kisebb mértékű javulás várható, így felértékelődnek a balesetek elkerülésének egyéb módszerei, eszközei.

Az intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások (intelligent transport systems and services, ITS) feladata az információs technológiák integrálásával a közlekedési rendszerek hatékonyságának - kapacitás-kiaknázás, energiahatékonyság, közlekedésbiztonság és védelem – növelése (Khorasani, G. et al., 2013). Kutatásunk célja az ITS rendszerek közlekedésbiztonsági szempontból történő vizsgálata, az egyes megoldások rendszerezése, fejlődési lehetőségeinek feltárása és elemzése (Van De Ven, T., et al., 2013). Vizsgálatunk első lépéseként összegyűjtöttük azon megoldásokat, melyek bizonyos funkcióikkal hozzájárulhatnak a közlekedésbiztonsági helyzet javulásához, majd ezen rendszereket közös tulajdonságaik alapján csoportokba soroltuk (Szendro, G. et al., 2012). A rendszercsoportokra vonatkozóan a fejlődési lehetőségek meghatározása után stratégiai célokat alakítottunk ki, melyeket összetett szempontrendszer szerint értékeltünk. Végül a célok elérésének elengedhetetlen lépéseit, folyamatait foglaltuk össze.

Tekintettel arra, hogy jelen cikk célja az ITS területéhez kapcsolódó közlekedésbiztonságot javító egyes stratégiai célkitűzések koncepcionális bemutatása (KTI, 2015), konkrét technológiák, műszaki megoldások, a területre vonatkozó konkrét szabványos megoldások, illetve azok elemei a vonatkozó terjedelmi korlátok miatt a teljesség igényével nem kerülhetnének bemutatásra, így attól a szerző eltekint.

2. A közlekedésbiztonságot befolyásoló intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások helyzetelemzése, csoportosítása

Napjainkat az infokommunikációs megoldásokon alapuló intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások széles körű elterjedése jellemzi. A technológiák a közlekedési folyamatok harmonizálása, a kapacitások jobb és energiahatékonyabb kihasználtságának megteremtése, a tervezhetőség, a szabályozhatóság, a kommunikációs lehetőségek javítása mellett a közlekedésbiztonság növelésében is szerepet kapnak. A baleseti kockázatok ITS megoldásokkal a közlekedési rendszerek mindhárom alappilléreire vonatkozóan, a jármű, az infrastruktúra és az emberi tényező oldaláról is csökkenthetők (Akerstedt, T. et al., 2003).

Bizonyos járművön belüli rendszerek a jármű biztonságosságát növelik a balesetek bekövetkezési valószínűségének csökkentésével, illetve a bekövetkezett balesetek hatásainak mérséklése által. Ilyen ITS megoldások például a járművön belüli, vezetést támogató rendszerek (ABS, ACC, ESP, ASR, BSW, stb.) (Jarasuniene, A. et al., 2007), melyek egy része ugyan jelenleg autonóm módon működik, ugyanakkor az általuk gyűjtött adatok számos kommunikációs és együttműködési lehetőséget biztosítanak egyéb járműrendszerek, vagy az infrastruktúra részét képező egységek számára. Az európai szinten megvalósuló eCall szolgáltatás a biztonság javulásához a balesetek során automatikusan megvalósított vész hívásokkal, ezáltal a mentési tevékenység idejének jelentős lerövidítésével járul hozzá.

Az infrastruktúra biztonságosságának elősegítése egyrészt kifejezetten erre a célra született ITS megoldásokkal lehetséges, másrészt az elsődlegesen más funkciót megvalósító rendszerek is hozzájárulhatnak ahhoz (Török, Á., et al., 2012). Például a forgalomirányító rendszerek lokális, vagy hálózati szintű optimumra törekvő

hangolása során a forgalmi jellemzők közlekedésbiztonságra gyakorolt kedvező hatásainak szerepe is érvényesíthető. A közutakon egyre sűrűbben előforduló kamerarendszerek, sebességet mérő és kijelző, sebességtúllépésre figyelmeztető táblák a járművekről gyűjtött adatok alapján ösztönzik a járművezetőket a biztonsági előírások betartására. A változtatható jelzéstartalmú közúti jelzőtáblák segítségével a veszélyek előre jelezhetők, bizonyos rendszerek segítségével (pl. ütközésre vagy sávelhagyásra figyelmeztető rendszerek, baleseti gócpont kereső algoritmusok) pedig a lehetséges veszélyhelyzetek és konfliktusok előre becsülhetők.

Az intelligens rendszerek a járművezető figyelmeztetésével, támogatásával, vagy beavatkozás révén az emberi tényező veszélyeztető szerepének csökkentésére is alkalmazhatók. A fáradtságfigyelő rendszerek vagy befolyásolt állapotot észlelő ITS megoldások (pl. alcolock) segítségével veszélyes közlekedési helyzetek kialakulása előzhető meg, az általuk gyűjtött adatok pedig egyéb területek rendszerei (pl. rendőrségi ellenőrzések, adatbázisok) által is felhasználhatóak. A közlekedők által egyre szélesebb körben, folyamatosan alkalmazott okos eszközökön közvetlen, személyre szabott támogatásra és adatgyűjtésre nyílik lehetőség.

A közlekedésbiztonság javítását elősegítő intelligens megoldások fejlődési lehetőségeinek feltérképezéséhez tehát első lépésben összegyűjtöttük és megvizsgáltuk a jelenleg meglévő rendszereket, majd ezeket alulról építkezve valamely közös tulajdonságuk alapján csoportokba soroltuk. Az így azonosított fő ITS-rendszercsoportokat, és néhány példaként hozható ITS-rendszert az 1. táblázatban foglaltuk össze.

ITS-rendszercsoportok	Példák
1. Járművezetői állapottól függő beavatkozó rendszerek	fáradtságfigyelő rendszerek, alcolock
2. KRESZ szabályok betartását segítő rendszerek	sebességtúllépésre figyelmeztető rendszerek, sebesség kijelző, mérő táblák, intelligens kamerarendszerek
3. Közlekedői viselkedés egyénre szabott valósidejű, folytonos nyomon követését, támogatását lehetővé tevő rendszerek	flottamenedzsment rendszerek, VEMOCO rendszer, okostelefonos applikációk
4. Veszélyes közlekedési helyzetek előrejelzésére szolgáló rendszerek	változtatható jelzéstartalmú közúti jelzőtáblák, ÚtMet
5. Mentési tevékenységet támogató rendszerek	eCall rendszer
6. Egységes Európai uniós elektronikus vezetői engedély és nyilvántartási rendszer	Smart Card rendszerek (pl. Gemalto, Hollandia)
7. Forgalomirányító rendszerek	SITRAFFIC Scala, VEKTOR
8. Közlekedési infrastruktúra közlekedésbiztonsági jellemzőinek előállítására szolgáló rendszerek	ROADMASTER-G, KARESZ, veszélytérképek, baleseti adatbázisok
9. Járművön belüli aktív közlekedésbiztonsági rendszerek	ABS, ACC, ESP, ASR, BSW
10. Járművön belüli, közlekedésbiztonságot támogató, kötelezően használandó megfigyelő rendszerek	Digitális tachográf

1. táblázat

A kialakított ITS-rendszercsoportok és példák

3. A közlekedésbiztonsági ITS rendszerek stratégiájának kidolgozása, rendszerezése

Az ITS rendszerek közlekedésbiztonsági alkalmazhatóságának, evolúciós lehetőségeinek vizsgálatához számos, összetett szempont figyelembe vétele szükséges (Foss, T., 2014). A rendszerek funkcióinak vizsgálata során célunk volt a közlekedésbiztonsági szempontok kiemelése, valamint figyelembe vettük, hogy az Európai uniós tematizálás alapján a biztonsági rendszerek jellemzésével a védelmi szerep (security) vizsgálata is szorosan összefügg. Meghatároztuk a rendszerek input és output adatainak főbb jellemzőit (adatgyűjtés helye, ideje, célja stb.), a kapcsolódási területeket, illetve az adatok kezelésének vonatkozásában felmerülő védelmi kockázatokat. Mindemellett becslést adtunk a rendszercsoport elterjesztése esetén várható haszon-költség hányados (BCR) alakulására vonatkozóan és meghatároztuk a stratégia megvalósítása során keletkező állami feladatok jellegét is.

A kialakított ITS-rendszercsoportok mentén az intelligens rendszerek jövőbeli fejlődési lehetőségeit, az általuk megvalósítható közlekedésbiztonsági, valamint védelmi funkciók stratégiai célkitűzéseit a következő pontokban foglalmaztuk meg.

3.1. Járművezetői állapottól függő beavatkozó rendszerek

A járművezetői állapottól függő beavatkozó rendszerek által alkotott csoport evolúciós lehetősége középtávon a járművön belüli, önállóan, hálózathoz függetlenül működő ellenőrző rendszerek elterjedése. Hosszútávon stratégia

célt képez a rendszer online működésének megvalósítása, mely lehetőséget biztosíthat a befolyásolt vagy fáradt állapotban történt vezetési kísérletek központi adatbázisban történő naplózására. Az ITS csoport rendszerlemeinek elsődleges funkciói a járművezetők vezetésre alkalmatlan állapota esetén a vezetési tevékenység meggátlása, a visszaeső járművezetők nyomon követése, "utógondozása". Másodlagos funkcióként jelenhet meg a „befolyásolt” járművezetés szempontjából szabálykövetési hajlandóságot befolyásoló járművezetői attitűd, illetve profiljellemzők elemző értékelése adatbányászati módszerekkel.

3.2. KRESZ szabályok betartását segítő rendszerek

A rendszercsoport evolúciós irányai középtávon az online, járművön kívüli (infrastruktúra oldali) megfigyelő rendszerek (fix és mobil egységek) elterjedése, valamint azok hálózatos működésének (ellenőrzés) megvalósulása. Hosszútávon stratégiai cél a járművön belüli, szabálysértő műveletet gátló rendszerek elterjesztése. A megfigyelő rendszerek célja a tettenérés valószínűségének szignifikáns növelése, ezzel összefüggésben a megfelelő helymeghatározási technológiák alkalmazása és fejlesztése kiemelten hangsúlyos szerepet kell, kapjon a jövőben. A fentiekben túl az ellenőrző kamerarendszer alkalmas a védelmi kockázatot jelentő közúthasználók kiszűrésére és nyomon követésére. A járművön belüli rendszerek lehetőséget biztosítanak a kockázatos, szabálysértő viselkedés megakadályozására is. Másodlagos funkcióként jelenik meg a szabálykövetési hajlandóságot befolyásoló járművezetői attitűd, illetve profiljellemzők elemző értékelése adatbányászati módszerekkel. A helyváltoztatási folyamatok rögzítésével a honnan-hová mátrixok becslésére nyílik lehetőség, az adatok lehetőséget biztosítanak a balesetek térbeli sűrűsödésével összefüggő okok, a baleseti tényezők súlyának pontosabb becslésére.

3.3. Közlekedői viselkedés egyénre szabott valósidejű, folytonos nyomon követését, támogatását lehetővé tévő rendszerek

Középtávú jövőkép a közlekedők által folyamatosan használt önkéntes okos eszközökre fejlesztett olyan támogató alkalmazások elterjedése, melyek figyelik a helyváltoztatási szokásokat (közlekedésbiztonsági vonatkozások: módváltás, sebességváltás, szabálykövetés) és ez alapján a szokások megváltoztatására vonatkozó javaslatokat fogalmaznak meg, ezzel összefüggésben a megfelelő helymeghatározási technológiák alkalmazása és fejlesztése kiemelten hangsúlyos szerepet kell, kapjon a jövőben. Ennek fontos részét képezi a hivatásos járművezetők bevonása (Tóth, J., 2001). Hosszútávon online, hálózatos működésű közösségi hálózatok terjedhetnek el, mely megosztható egyéni közlekedői profilok kialakításához járulhat hozzá. Az ITS rendszercsoport elsődleges funkciója, az egyéni közlekedési kultúra fejlesztése a közösségi rendszer szemléletformáló hatásán keresztül érhető el. Másodlagos funkcióként említhető a szabálykövetési hajlandóságot befolyásoló járművezetői attitűd, illetve profiljellemzők elemző értékelése adatbányászati módszerekkel. A helyváltoztatási folyamatok rögzítésével a honnan-hová mátrixok becslésére nyílik lehetőség, az adatok lehetőséget biztosítanak a balesetek térbeli sűrűsödésével összefüggő okok, a baleseti tényezők súlyának pontosabb becslésére. A rendszer speciális körülmények között alkalmas lehet a védelmi kockázatot jelentő közúthasználók nyomon követésére.

3.4. Veszélyes közlekedési helyzetek előrejelzésére szolgáló rendszerek

Az ITS csoport középtávú jövőképe a közlekedők által folyamatosan használt önkéntes okos eszközökre fejlesztett olyan támogató alkalmazások elterjedése, melyek figyelik a közlekedők aktuális helyzetét és mozgásjellemzőit, valamint a rendelkezésre álló statikus térinformatikai útinformációk alapján előre jelzik a statikus paraméterek alapján becsülhető veszélyhelyzeteket. Hosszútávon online, hálózatos működésű közösségi hálózatok és olyan támogató alkalmazások terjedhetnek el, melyek a rendszerhasználók által szolgáltatott dinamikus és statikus adatok, valamint a saját mozgásjellemzők alapján előre jelzik a becsülhető konfliktusokat, a közlekedésbiztonságot befolyásoló információkat valós időben biztosítják. Az említett rendszerek elsődleges funkciója középtávon a veszélyhelyzetek előre jelzése statikus útparaméterek (pl. baleseti adatok, ívsugár, túlelérés, hosszesés) alapján, hosszú távon a várható konfliktusok előre jelzése a rendszerben résztvevő egyéni közlekedők dinamikus adatai alapján. Az előre jelzett konfliktusok száma alapján góchely keresés; járművezetői attitűd, illetve profiljellemzők elemző értékelése végezhető el adatbányászati módszerekkel. A rendszer speciális körülmények között alkalmas lehet a védelmi kockázatot jelentő közúthasználók nyomon követésére is.

3.5. Mentési tevékenységet támogató rendszerek

A mentési tevékenységet támogató rendszerek a már bekövetkezett balesetek esetén jelentősen hozzájárulnak a következmények csökkentéséhez. Középtávon a terjedési, fejlődési lehetőséget a járművön belüli, automatikus baleseti segélyhívó rendszerek elterjedése jelentheti az újonnan forgalomba helyezett járműállományban. Hosszútávon a közlekedők által folyamatosan használt okos eszközökre is olyan támogató alkalmazások fejleszthetők, melyek figyelik a közlekedők aktuális helyzetét és mozgásjellemzőit, így a rendelkezésre álló statikus térinformatikai útinformációk alapján alkalmasak automatikus, vagy fél-automatikus segélyhívások indítására. A támogató rendszerek elsődleges célja a személygépjármű részvételével történt közúti balesetek helyének és alapvető jellemzőinek illetékesek felé történő automatikus továbbítása. Ez a mentés hatékonyságát

javítja, a mentési időt csökkenti, ezáltal az áldozatok számának csökkentéséhez, a sérülések kimenetelének enyhítéséhez járul hozzá. A baleset bekövetkezését követően rögzített jellemzők elemző értékelése adatbányászati módszerekkel válik lehetségessé. A 112-es hívószám kiterjesztésével, a cellahálózat helymeghatározó képességének javításával kapcsolatban felmerül a cellainformáción alapuló honnan-hová mátrixok becslése; a helyváltoztatási adatok lehetőséget biztosítanak a balesetek térbeli sűrűsödésével összefüggő okok, a baleseti tényezők súlyának pontosabb becslésére. A segélyhívó rendszer alkalmas a védelmi kockázatot jelentő közúthasználók nyomon követésére. A rendszercsoport a közforgalmú járművek közlekedésbiztonsági, védelmi funkcióit ellátó jövőbeli megoldásokat is magában foglalja. Az ilyen típusú járművekben alkalmazandó intelligens megoldások (komplex video-megfigyelő, adatrögzítő, követő/riasztó modulok) a védelem mellett monitoring és controlling feladatokat is elláthatnak, önállóan és/vagy az automatikus baleseti segélyhívó rendszerrel komplex rendszert és szolgáltatást alkotva is működtethetők.

3.6. Egységes Európai uniós elektronikus vezetői engedély és nyilvántartási rendszer

Középtávú vízió az egységes e-vezetői engedély bevezetése. Hosszútávon stratégiai cél lehet a közlekedőkről nyilvántartott hivatalos adatokat tartalmazó teljes adatbázis létrehozása, automatikus ellenőrző rendszer megvalósítása (fix és mobil egységek, okos eszközök). Ennek funkciói egyrészt a közúti járművezetők rendőrségi ellenőrzésének támogatása, másrészt a külföldi honosságú járművezetők szankcionálási lehetőségeinek javítása, tettenérési valószínűség növelése. Hosszú távon segítségével megvalósítható a közlekedési rendszer használatához kapcsolódó valósidejű hitelesítési, jogosultsági és azonosítási folyamatok automatizálása, összevonása, automatikus közúti ellenőrzési műveletek végrehajtása. Másodlagos funkcióként jelenhet meg az említett műveletek kiterjesztése egyéb, nem csupán közlekedéshez kapcsolódó általános folyamatokra, műveletekre is. A rendszer kiemelten alkalmas a védelmi kockázatot jelentő közlekedők kiszűrésére és nyomon követésére, jól alkalmazható automatikus, célzott ellenőrzési műveletek végrehajtásakor.

3.7. Forgalmirányító rendszerek

Középtávon az igényvezérelt, dinamikus, lokálisan, többváltozós célfüggvényt alkalmazó (különös figyelmet fordítva a közlekedésbiztonsági kritériumok teljesülésére), több szempontú célrendszeren alapuló optimalizáló végző forgalmirányító és befolyásoló rendszerek elterjedése, míg hosszútávon hasonló, de rendszerszintű és rendszer optimumra törekvő forgalmirányító és befolyásoló rendszerek elterjedése szükséges. Ezen rendszerek elsődleges célja a lokális/rendszerszintű forgalomfüggő forgalmirányítás megvalósítása, figyelembe véve a forgalmi jellemzők közlekedésbiztonságra gyakorolt hatásait. A forgalmi adatok rögzítésével a honnan-hová mátrixok becslése válik megvalósíthatóvá, speciális körülmények között a rendszer alkalmas lehet a védelmi kockázatot jelentő közúthasználók nyomon követésére is.

3.8. Közlekedési infrastruktúra közlekedésbiztonsági jellemzőinek előállítására szolgáló rendszerek

A közlekedésbiztonsági jellemzők előállítására középtávon a közlekedési rendszer szigorúan az alapadatokra szorító (infrastruktúra kialakítás, baleseti adatok) térinformatikai alapú időszakosan ismételt felmérését, illetve elemzését biztosító rendszerek megvalósítása szolgálhat. Hosszútávon a teljes közlekedési rendszer alapadatokra fókuszáló, térinformatikai alapú folyamatos felmérését, illetve elemzését biztosító rendszerek megvalósítása a cél. Elemi szintű megvalósulás esetén (középtávon) az elsődleges funkciók a közlekedési hálózat közlekedésbiztonsági minősítése (térinformatikai alapon, online közzététellel), valamint a biztonságos infrastruktúramenedzsment folyamatokhoz kapcsolódó feladatok ellátása. Magas szintű megvalósulás mellett (hosszútávon) a közlekedési hálózat közlekedésbiztonsági minősítése térinformatikai alapon, valósidejű, folyamatos közzététellel, útvonal választási algoritmusba történő megjelenítéssel válik lehetővé. Másodlagos funkcióként említhető az infrastruktúrajellemzők baleseti adatokkal való összefüggésének vizsgálata; a baleseti becsülő modell kialakítása; valamint balesetsűrűsödési helyek területi autókorrrelációs modell alkalmazásával való azonosítása. A kialakítandó rendszerek a hálózat gyenge pontjainak azonosítására is lehetőséget nyújtanak.

3.9. Járművön belüli aktív közlekedésbiztonsági rendszerek

A járművön belüli, közlekedésbiztonsági szempontból kiemelt vezetéstechnikai műveleteket támogató (fékezés, sebesség, követési távolság) rendszerek jelenleg is számos ITS megoldást alkalmaznak, melyek többsége azonban autonóm módon működik. Középtávon stratégiai cél ezen rendszerek szélesebb körű elterjesztése, és kommunikációs szerepük megjelenése. Hosszútávú stratégiai célkitűzésként a szélesebb körben értelmezett, járműmozgáshoz kapcsolódó, teljes folyamatokat ellátó rendszerek (parkolás, sávtartás, gépjárműoszló képzés) elterjedése, hálózatos működés lehetőségének megvalósulása jelenhet meg. A rendszerek elsődleges funkciói a közúti balesetek bekövetkezésének megelőzése, kimenetel súlyosságának enyhítése; magas szintű megvalósulás esetén (hosszútávon) a veszélyes közúti helyzetek elkerülése, konfliktus helyzetek felismerése, beavatkozás a vészhelyzetek elkerülése érdekében. Emellett egyéb, biztonságos, önálló, automatikus helyváltoztatáshoz kapcsolódó folyamatok is támogathatók. A rendszercsoportba tartozó megoldásokkal lehetőséget biztosíthatunk a védelmi kockázatot jelentő járművek külső blokkolására, irányítására.

3.10. Járművön belüli közlekedésbiztonságot támogató, kötelezően használandó megfigyelő rendszerek

Középtávon a tachográfok révén már napjainkban is elterjedt, hivatásos járművezetők ellenőrzésére, visszacsatolás biztosítására alkalmas járműbe épített, kötelezően működtetett megfigyelő rendszerek egységesítése, elterjedése várható, mely a kezdő járművezetőket figyelő rendszerekkel egészülhet ki. Hosszútávú cél egy online rendszer teljes körű megvalósulása, a vezetési tevékenység központi naplózása, adatbázisban tárolása, valamint ennek segítségével automatikus ellenőrzés. A rendszercsoport elsődleges funkciói az érintett járművezetői csoportok (pl. hivatásos, kezdő, visszaeső) vezetési stílusának folyamatos ellenőrzése; a hibák, tipikus problémák visszajelzése; az elkövetett szabálysértések folyamatos, valósidejű elektronikus ellenőrzése, automatikus szankcionálása. A rendszer emellett balesetek esetén feketedoboz funkciót láthat el, speciális körülmények között pedig alkalmas lehet a védelmi kockázatot jelentő közúthasználók nyomon követésére.

A meghatározott rendszercsoportokkal kapcsolatos fejlődési lehetőségek, stratégiai célkitűzések egyéb jellemző paramétereit a 2. és a 3. táblázatokban foglaltuk össze.

ITS csoport	Input adatok				Output adatok		Állami feladatok ³	Kapcsolódási területek ⁴	Személyiségi jogi krit.-ok ⁵	Adatvédelmi kockázatok ⁶	Becsült BCR ⁷
	köre	gyűjtési helye	gyűjtési ideje	gazdál-ja ¹	köre	célcsoportja ²					
1.	járművezető állapota	jármű	jármű indításkor és vezetés közben	a	1. "befolyásolt" járművezetés szempontjából kockázatos járművezetők azonosítása, 2. kockázatos járművezetői profil az. 3. kapcsolódó statisztikák generálása	b c	b c	a b	1	2	1
2.	jármű mozgásjellemzők (sebesség adatok, stat. és din. forgalm szabályzási paraméterek)	középtáv: infrastruktúra oldal hosszútáv: jármű	jármű-mozgás közben	a	1. szabálysértő azonosítása 2. kockázatos járművezetői profil az. 3. kapcsolódó statisztikák generálása	b c	a b c d	a b c	1	2	1
3.	egyéni mozgásjellemzők, közlekedési rendszert leíró paraméterek	közlekedők által folyamat. használt okos eszközökön	helyváltott.közben	b	1. közlekedői viselkedéssel kapcsolatos javaslatok 2. kockázatos közlekedői profil azonosítása 3. kapcsolódó statisztikák generálása	b c e	a c d	a	1	2	3
4.	egyéni mozgásjellemzők, közlekedési rendszert leíró paraméterek	közlekedők által folyamat. használt okos eszközökön	helyváltott.közben	b	1. vészhelyzetek valósidejű előre jelzése 2.	b c e	a c d	a	1	2	3

					útvonalajánlás							
					3. kapcsolódó statisztikák generálása							
5.	jármű mozgásjellemzők, érzékelők adatai	középtáv: jármű, infrastruktúra hosszútáv: okos eszközökön is	helyváltott.közben	a	1. GPS adatok 2. helyszíni kamera kép: azonosítás 3. időjárás, forgalmi infók	a b c e	a c e	a b c	1	2	1	

2. táblázat

Az ITS-rendszercsoportok stratégiájának paraméterei (I.)

ITS csoport	Input adatok				Output adatok		Állami feladatok ³	Kapcsolódási területek ⁴	Személyiségi jogi krit.-ok ⁵	Adatvédelmi kockázatok ⁶	Becsült BCR ⁷	
	köre	gyűjtési helye	gyűjtési ideje	gazdája ¹	köre	célcsoportja ²						
6.	jogosítványszám, rendszám, azonosítók	fix ellenőrzési pontoknál járművön, illetve okos eszközökkel	folyamatos	a	1. azonosítás 2. szűrés 3. jóváhagyás	a b c e	a b c e	a b c	1	1	1	
7.	forgalmi paraméterek	középtáv: infrastruktúra hosszútáv: jármű által és okos eszközökön is	folyamatos	b c	forgalmat befolyásoló jelzőkészlet	d	a	a b c	2	3	1	
8.	infrastruktúra paraméterek	bejárások során járműben, ill. szakértői vizsgálatokkal	időszakos/ folyamatos	b	közlekedési rendszer veszélytérképe	b d	a e	a	3	3	3	
9.	jármű mozgásjellemzők, érzékelők adatai	középtáv: jármű, infrastruktúra hosszútáv: okos eszközökön is	helyváltott.közben	d	1. vészhelyzetek, konfliktusok azonosítása 2. beavatkozás	d	a b c d	b	2	3	2	
10.	jármű mozgásjellemzők, járművezető adatai, vonatkozó szabályok	középtáv: jármű hosszútáv: infrastruktúra	helyváltott.közben	a b	1. közlekedői viselkedéssel kapcsolatos javaslatok 2. kockázatos közlekedői magatartás azonosítása 3. szabálysértés és vészhelyzetek azonosítása	a b	a b c d	b d	1	2	2	

3. táblázat

Az ITS-rendszercsoportok stratégiájának paraméterei (II.)

¹*Input adatok gazdája:*

a: belügyi szaktárca; **b:** a közlekedési szaktárca szakértői háttérintézménye; **c:** önkormányzat háttérintézménye; **d:** járműrendszerek

²*Output adatok célcsoportja:*

a: u.az; **b:** u.az; **c:** balesetek megelőzéséért felelős szervezetek; **d:** közlekedők; **e:** egyéb piaci és állami szervezetek

³*Állami feladatok:*

a: beruházás- rendszerfejlesztés; **b:** jogszabály előkészítés; **c:** szemléletformálás, ismeretterjesztés, **d:** részben működtetés; **e:** működtetés

⁴*Kapcsolódási területek:*

a: összközlekedés; **b:** közúti közlekedés: jármű; **c:** közúti közlekedés: infrastruktúra; **d:** egyéni járművezető

^{5,6}*Személyiségi jogi kritériumok és adatvédelmi kockázatok:*

1: magas szintű biztonsági kritériumok és kockázatok; **2:** átlagos kritér. és kockáz.; **3:** átlag alatti kritér. és kock.

⁷*Becsült BCR:*

1: átlagos; **2:** átlag feletti, közepes; **3:** magas

4. Összefoglalás

Kutatásunk során a közlekedésbiztonságot támogató intelligens közlekedési rendszereket és szolgáltatásokat csoportosítottuk, majd meghatároztuk a rendszercsoportok stratégiai célkitűzéseit. Feltártuk az ITS megoldások közép- és hosszútávú fejlődési lehetőségeit, definiáltuk az általuk megvalósítható elsődleges, illetve másodlagos funkciókat. A stratégiai célkitűzésekkel kapcsolatos egyéb jellemző paramétereket (mint például az adatok gyűjtésének helyét, módját, beruházás becsült BCR mutatóit stb.) táblázatos formában foglaltuk össze.

A célkitűzések kialakításakor szem előtt tartottuk a megfelelő funkcionalitási mélység elérésének, és az ITS szolgáltatások hálózatosodásának igényét is. A stratégia egyik elsődleges feladata a gyorsan fejlődő információs technológiákból következő innovatív megoldások potenciáljának megteremtése. A kitűzött célok eléréséhez az intelligens rendszerek fejlődésével, széleskörűvé válásával párhuzamosan a rendszerek közti kommunikációs csatornák, adatcsere módok egységesítése elengedhetetlen jelentőségű, az Európai uniós szabványok figyelembe vétele javasolt. A dinamikus bővülés lehetőségének megteremtése érdekében prioritást kell, kapjon az információkhoz való nyílt hozzáférés feltételrendszerének egységesítése és egyértelműsítése a végfelhasználók számára. A rendszerek kiépítése, megvalósítása során a projekt tervezési szakaszok elvégzése, a rendszercsoportokon belüli ITS megoldásokra vonatkozó pontos hatás- és költség-haszon elemzések elvégzése indokolt. A hazai, teljes körű ITS stratégia kialakítása és megvalósítása során a közlekedésbiztonsági szempontok figyelembe vétele a kitűzött célok eléréséhez nagymértékben hozzájárul.

5. Felhasznált irodalom

Akerstedt, T. - Mollard, R. -Samel, A. -Simons, M. -Spencer, M. -Mcdonald, N. [2003]: European Transport Safety. <https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/Akerstedt-Mollard-Samel-Simons-Spencer-2003.pdf>.

Foss, T. [2014]: Safe and secure Intelligent Transport Systems (ITS).

Jarasuniene, A. -Jakubauskas, G. [2007]: Improvement of Road Safety Using Passive and Active Intelligent Vehicle Safety Systems. Transport. 22. évf. 4. sz. 284–289. old. doi:10.1080/16484142.2007.9638143

Khorasani, G. -Tatari, A. -Yadollahi, A. -Rahimi, M. [2013]: Evaluation of Intelligent Transport System in Road Safety. International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS). 1. évf. 1. sz. 110–118. old.

Közlekedéstudományi Intézet (KTI), "ITS Stratégia" Munkacsoport. (2015). Nemzeti ITS Stratégia. Budapest, 2015. (egyeztetési munkadokumentum)

Szendro, G. -Csete, M. -Torok, A. [2012]: Unbridgeable gap between transport policy and practice in Hungary. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 20. évf. 2. sz. 104-109. old.

Török, Á. [2015]: Analysing the Connection of Hungarian Economy and Traffic Safety. Periodica Polytechnica Transportation Engineering. 43. évf. 2. sz. 106–110. old. doi:10.3311/PPtr.7953

Török, Á. -Fütyü, I. [2012]: Investigating the effects of transport safety- and infrastructure- development with

the use of SCGE models in the material flows. In 2012 IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, SISY 2012. 199–203. old.
doi:10.1109/SISY.2012.6339514

Tóth, János. "BASIC EXAMINATION OF ELECTRONIC DATA INTERCHANGE IN ROAD, RAIL AND COMBINED TRANSPORT OF GOODS." Periodica Polytechnica. Transportation Engineering 29.1-2 (2001): 35.

Van De Ven, T. -Long, J. -Wedlock, M. [2013]: ITS ACTION PLAN. Free Road Safety Traffic Information, (January). Retrieved from http://ec.europa.eu/transport/themes/its/studies/its_en.htm.

Adatok

Megjelent itt

7. szám

Szerző

Dr. Török Árpád

2010-óta a KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. tudományos munkatársa, illetve 2014 óta a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszékének adjunktus. Fő szakterülete a közlekedésbiztonság, közlekedésgazdasági modellezés.

Témakörök

Közlekedésbiztonság • Témakörök • Városi közlekedés

Kulcsszavak

Befogadva

2016. március 31.

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 Útúgyi Lapok** 2013 • *Minden jog fenntartva.*



Aszfaltburkolatú pályaszerkezetek megerősítésének méretezése – összefoglaló ismertető

Szerző(k) **Karoliny Márton**

Kivonat

Előzmények A „Fenntartható utak” (1) című projekt zárójelentésében szerepel a címbeli eljárás, ami – a szándék szerint – a jelenleg érvényes megerősítési utasítást (2) váltaná ki. Az eljárás bemutatása már évek óta egy képzés (3) keretében számos mérnök számára vált elérhetővé. Néhány konkrét esetre – tapasztalatszerzési céllal – az eljárás a tervezés szintjén alkalmazásra került. [...]

1. Előzmények

A „Fenntartható utak” (1) című projekt zárójelentésében szerepel a címbeli eljárás, ami – a szándék szerint – a jelenleg érvényes megerősítési utasítást (2) váltaná ki. Az eljárás bemutatása már évek óta egy képzés (3) keretében számos mérnök számára vált elérhetővé. Néhány konkrét esetre – tapasztalatszerzési céllal – az eljárás a tervezés szintjén alkalmazásra került. Egy ilyen alkalmazás részletesen ismertetve lett egy, a Zala Megyei Mérnöki Kamara által kiírt pályázaton, ahol tisztes elismerésben részesült. (4) Az eddigi alkalmazások során ugyanakkor felmerült több kérdés is az eljárással kapcsolatban, ezért egy tömör összefoglalóban kívánom világosabbá tenni a módszert.

2. Az eljárás megalkotói

Az eljárás kifejlesztése a MAUT illetékes (akkor illetékes) bizottságában kezdődött és az eredmények nagyon nagy része ezen közösség közreműködésével történt.

Mivel az eljárást mostanság egyszerűsítéssel a szerző nevével kötik össze (ez egy számára tiszteletre méltó, de nem igaz egyszerűsítés), feladat, hogy minden résztvevő neve ismertetve legyen tehát:

- Dr. Adorjányi Kálmán
- Dr. Ambrus Kálmán
- Dr. Boromisza Tibor
- Dr. Keleti Imre (+)
- Dr. Liptay András
- Dr. Pethő László
- Dr. Tóth Csaba
- Nyiri Szabolcs
- Sik Csaba

Megjegyzendő még, hogy a „Fenntartható utak” projekt során az eljárás bizonyos mértékig átalakult, ehhez értékes észrevételeikkel Kettinger Ottó és Tari Jenő is hozzájárult.

3. Alapok

A továbbiakban - emlékeztető jelleggel - az eljárás megfelelő értelmezéséhez néhány fontos kérdést megemlítek.

3.1. Alkalmazott méretezési kritériumok

A megerősítés méretezésének két kritériumát használjuk – használtuk:

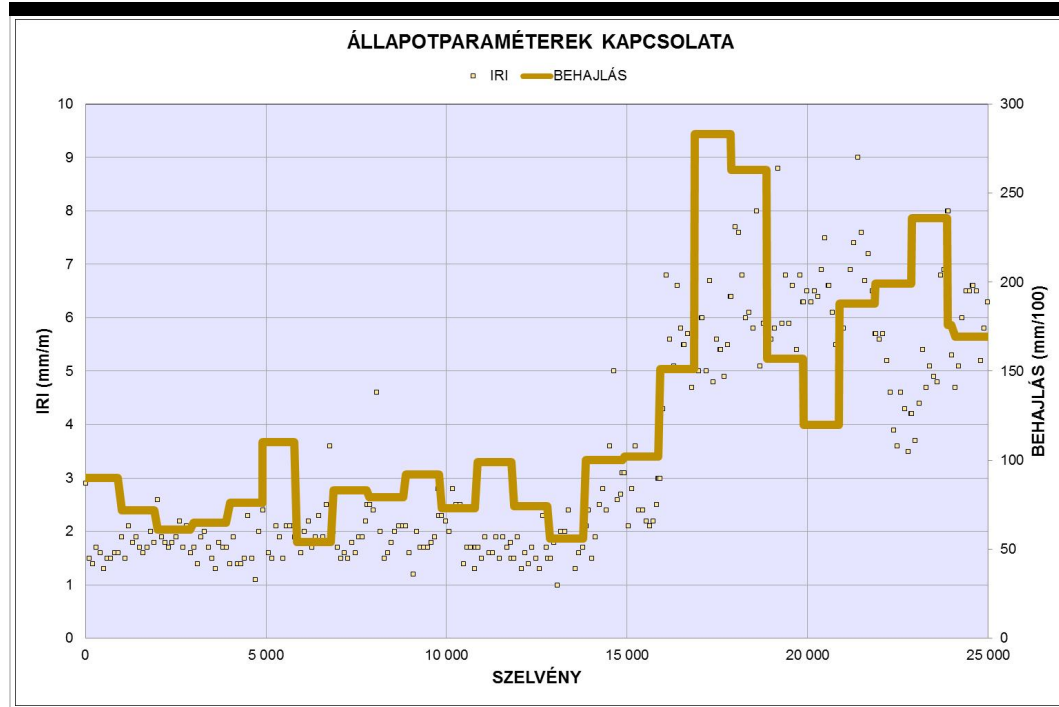
- az „empirikus”, vagy „behajlási” kritérium, aminek lényege az, hogy létezik, meghatározható egy „megengedett” behajlásérték, megmérhető, megismerhető egy „mértékadó” behajlásérték, majd ezek segítségével egy „szükséges” erősítőrétteg vastagság
- a „mechanikai” alapú kritérium (amit helyesebb szilárdságtaninak nevezni, de erről később) a tartószerkezetek mechanikáját használja az igénybevétel, az építőmérnöki anyagtant pedig a szerkezeti merevség és a határigénybevétel meghatározására

Az irodalomjegyzékben (5)–(11) alatt adok egy felsorolást a magyar szakirodalomból az érdeklődőknek.

Az empirikus módszer eredete az AASHO kísérletekre vezethető vissza, aminek időpontjában a mérnökök számára már rendelkezésre álltak Boussinesq, Odemark és Burmister és mások elméleti megoldásai, (igazából

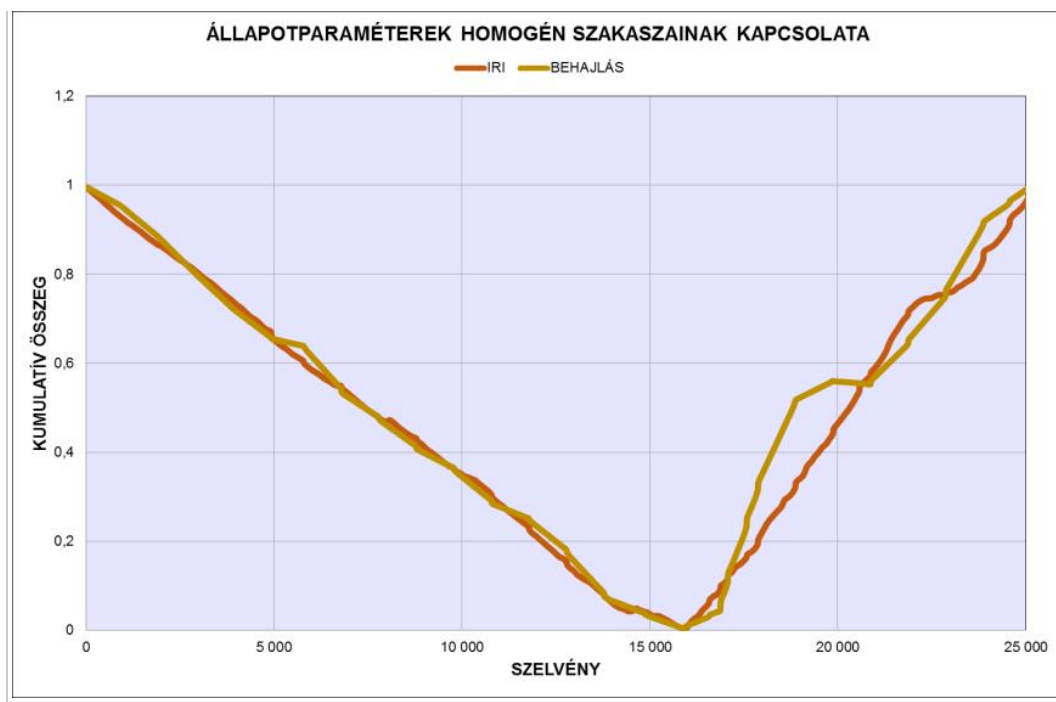
ma is ezekre támaszkodunk) azaz a szilárdságtani megoldás lehetséges volt, amit akkor az anyagvizsgálatok lehetőségei korlátoztak, főleg az aszfaltanyagok esetében.

Jellemző, hogy a betonburkolatoknál a sokkal magasabb szintű anyagismeret már az 50-es évek végén lehetővé tette a szilárdságtani módszerek alkalmazását. Ma már szintén kissé elfelejtődött, hogy a kísérlet során a leromlást a *PSI (Present Serviceability Index)* (12) változásával jellemezték, majd mivel ennek rendszeres meghatározása a gyakorlatban akkor nehézséget okozott (13), kapcsolatot kerestek és találtak a PSI és a behajlások változása között. Az európai és ezen belül a hazai átvételnél – a PSI itt nem volt használatos – a behajlásmérés eredménye került a középpontba és méretezési kritériummá is vált.



1. ábra
Állapotparaméterek kapcsolata

Az utolsó 20 évben hazánkban is megjelentek olyan állapotfelmérő eszközök, amelyek az úthálózat felületi tulajdonságait gyorsan és pontosan mérik, így fontos jellemző a felületi egyenletesség, amit az IRI mérőszámmal jellemeznek. Kimutatták, hogy az IRI és a PSI között szoros kapcsolat létezik (13) ezáltal vizsgálható, hogy az AASHO kísérletből levezetett méretezési kritérium az új eredmények függvényében mennyire érvényes. A *2. ábrán* egy hazai méréssorozat eredményei láthatók (14), jól felismerhető, hogy van kapcsolat a behajlás és az IRI között, de ez a kapcsolat korántsem erős.



2. ábra

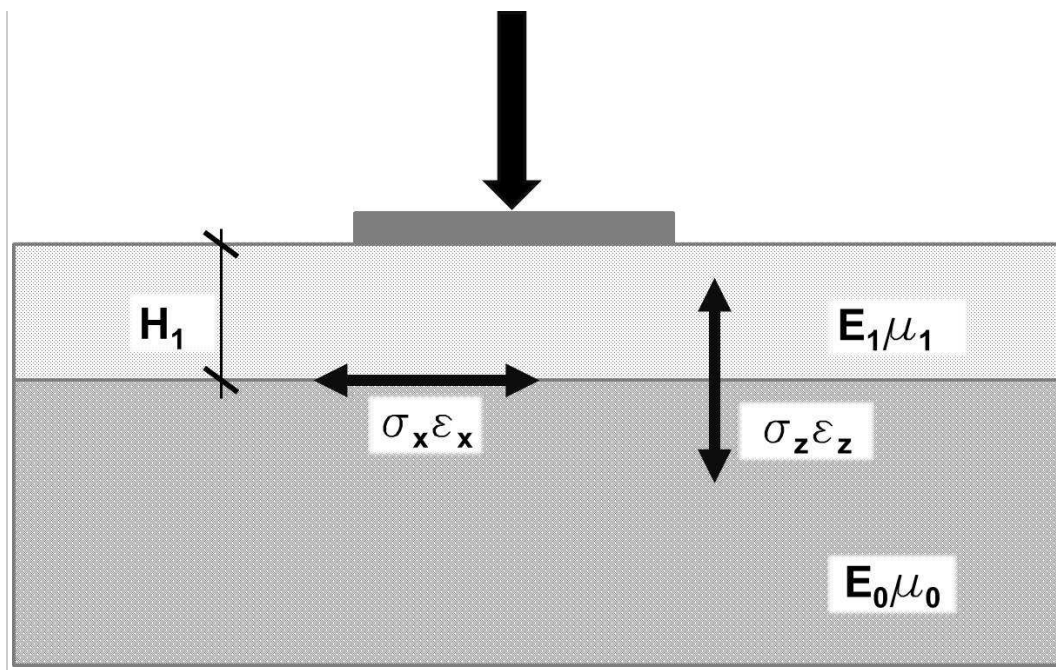
Állapotparaméterek homogén szakaszainak kapcsolata

Ugyanakkor a paraméterek homogén szakaszai lényegében teljes mértékben összeesnek. Nagyon valószínű tehát, hogy az IRI nem közvetlenül a központi behajlással korrelál, hanem a behajlási teknő egészét (esetleg lokális ismérveket is) kell elemezni a kapcsolat megismeréséhez. Léteznek ilyen kutatások – főleg az amerikai kontinensen – ahol egyéb magyarázó tényezők és a szilárdságtani módszerek figyelembevételével prognosztizálják a felületi egyenletesség alakulását. (15).

3.2. A szilárdságtani számítások

Az útpályaszerkezetek rétegekből állnak, az ezekben keletkező feszültségek, megnyúlások számítására különböző lehetőségek vannak, ezek jellemzően kereskedelmi forgalomban kapható szoftverek. Megemlítendő, hogy a Boussinesq egyenletek és az Odemark transzformáció alkalmazásával egy olyan eljárást is kifejlesztettek (*Method of Equivalent Thickness, MET*) (13) amely táblázatkezelővel programozva nagyon termelékeny módon teszi lehetővé a számítások elvégzését. Hazánkban a SHELL – BISAR szoftver használata már konvenciónak minősíthető (a jelenlegi típus – pályaszerkezetek ezzel lettek meghatározva) ezért ennél az anyagnál is ezt használtuk.

Az alkalmazott szilárdságtani modellt a következő ábrán lehet tanulmányozni.

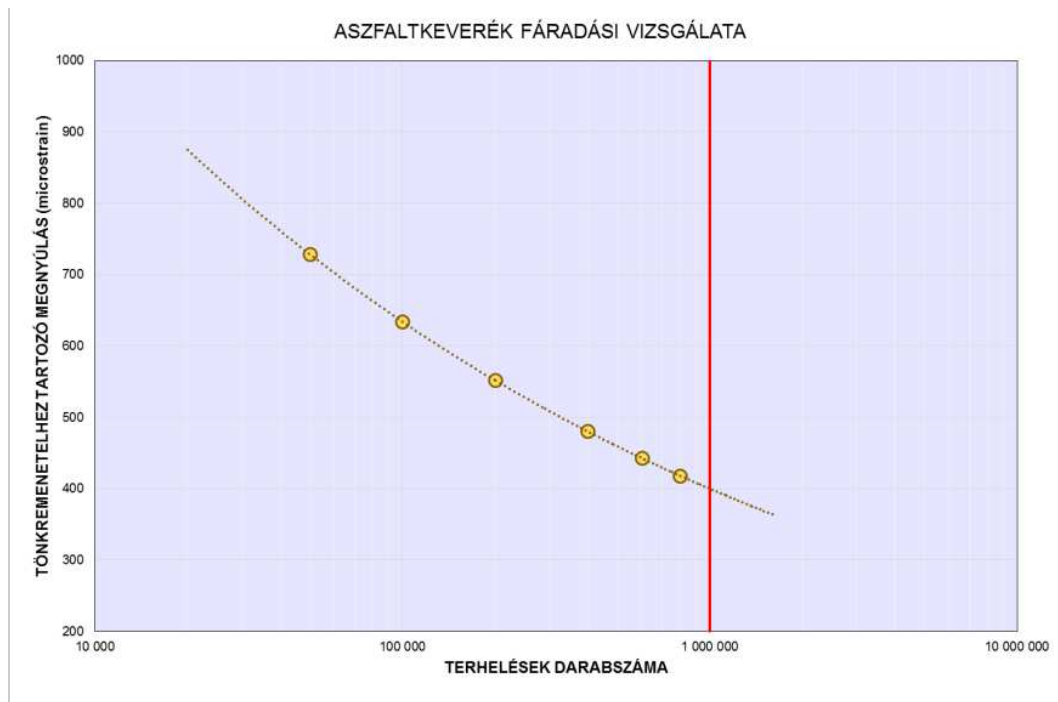


3. ábra
Alkalmazott szilárdságtani modell

E szerint létezik egy E_0 merevséggel és μ_0 Poisson tényezővel rendelkező végtelen féltér, amire ráépítünk erősítési céllal egy ismert H_1 vastagságú, E_1 rugalmassági modulusú μ_1 Poisson tényezőjű új réteget. A réteget egy 300 mm átmérőjű tárcsára ható 50 kN nagyságú erő terheli. A szoftver képes kiszámolni az új réteg alsó szélén keletkező vízszintes és függőleges feszültséget és megnyúlást, ezután az anyagtani méretezés is végrehajtható, ezt a továbbiakban kerül bemutatásra.

3.3. Az aszfaltszerkezet fáradási méretezése

Kellően nagy számú, ismételt igénybevétel hatására teherhordó szerkezeteink az egyszeri terhelésnél tapasztalható határfeszültségnél lényegesen kisebb keletkező feszültség mellett is „eltörnek”, ezt nevezzük fáradásnak. Egy aszfaltkeverék fáradási tulajdonságát alapesetben fárasztóvizsgálattal lehet meghatározni. Számos, főleg a próbatest alakjában és elkészítési módszerében, továbbá a terhelés módjában különböző fárasztóvizsgálat létezik, ugyanakkor a vizsgálatok alapelve azonosnak tekinthető. A próbatestet a vizsgálat szerinti terhelési móddal, különböző terhelési szinteken (ez lényegében a terhelési mód szerint értelmezhető feszültség) ismételt terhelésnek vetjük alá. A próbatest valamilyen ismétlésszámnál tönkremegy (tönkremenetelnek jellemzően az ismétlések hatására – a fáradás hatására – csökkenő merevségnek a kiinduló merevség 50%-át értelmezik). Ha a vizsgálat eredményeit diagramban ábrázoljuk, a következő képet kapjuk.



4. ábra
Aszfaltkeverék fáradási vizsgálata

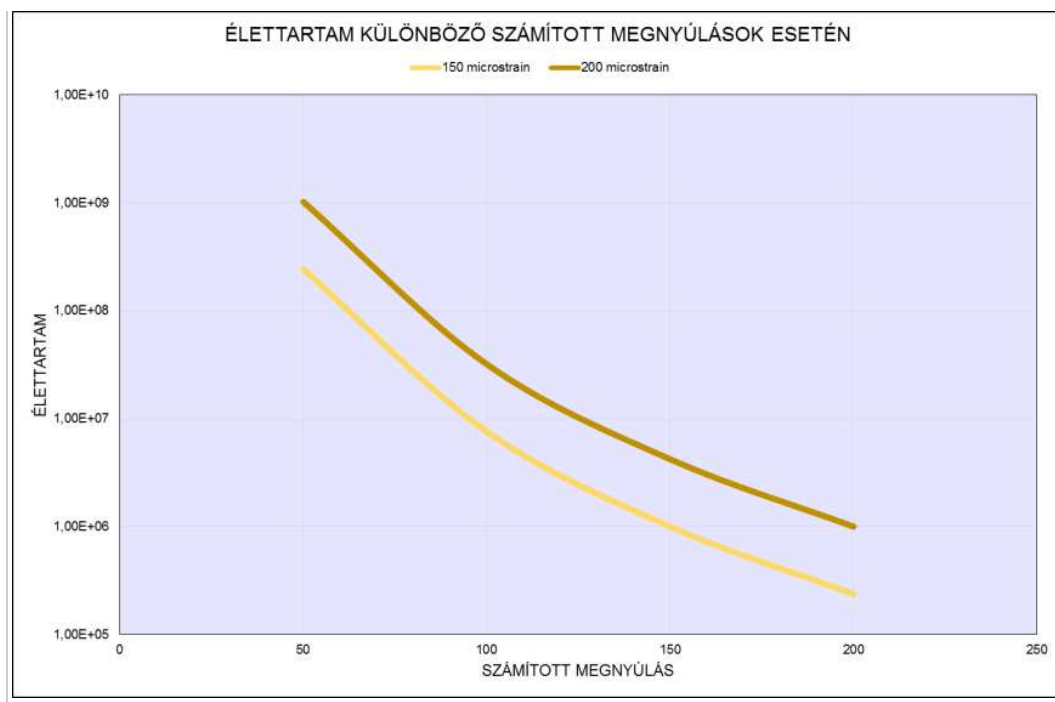
Az aszfaltmechanikában az a gyakorlat alakult ki, hogy a fáradási tulajdonságot a megnyúlással jellemezzük (mért, számított), azért, mert az aszfalt nem tisztán rugalmas, hanem viszkózus tulajdonságokkal is rendelkezik, emiatt van relaxációs (ernyedési) képessége, amely miatt a feszültség viszonylag gyorsan leépül, míg a megnyúlás megmarad.

Szintén konvenció az aszfaltmechanikában, hogy a fáradási képességet a 106 teherismétléshez rendelhető megnyúlással jellemezzük, ezt nevezzük megengedett megnyúlásnak (a diagramon a függőleges piros vonallal való metszéspont a megengedett megnyúlás). Jól megfigyelhető, hogy a terhelés ismétlésszámának növekedésével a „töréshez” tartozó megnyúlás markánsan csökken.

Miután ismerjük az aszfaltszerkezet megengedett megnyúlását, továbbá meghatároztuk a terhelés hatására keletkező megnyúlást, az adatokból tudjuk számítani a szerkezet fáradási élettartamát, a következő képlet szerint.

$$N = 10^6 \cdot \left(\frac{\epsilon_{szamitott}}{\epsilon_{megengedett}} \right)^{-5}$$

Megjegyzendő, hogy a kitevőben szereplő -5 érték egy konvenció eredményeként használt egyszerűsítés, egyébként anyagtól függő paraméter.



5. ábra
Élettartam különböző számított megnyúlások esetén

Az előző ábrán bemutatjuk a képlet „működését” különböző számított és megengedett megnyúlások esetében, jól megfigyelhető, hogy a fáradási tulajdonságoknak milyen nagy a hatása.

3.4. A tervezett eljárás méretezési módszere és határkritériuma

A tervezett eljárás a megerősítést a következő módon kívánja megvalósítani:

- behajlásmérésekkel meghatározza a megerősítendő szakasz merevségét,
- ezt a merevségértéket a meteorológiai és földtani adatok alapján egy referencia – mértékadó – merevségre korigálja (hőmérsékleti és talajmerevségre vonatkozó korrekciók),
- további merevség – növelő, vagy csökkentő intézkedések lehetségesek, így:
 - o merevségnövelés lokálisan rossz merevségű helyeken lokális javításokkal,
 - o merevségnövelés esetleges újrahasznosítással,
 - o merevségcsökkentés a technológiai/geometriai okok miatti aszfalteltávolítás következtében,
- az így kialakult méretezési merevségre számítja a szükséges új aszfaltvastagságot és a méretezési kritériumként az új aszfalréteg alsó szálában keletkező számított megnyúlást veti össze a megengedett megnyúlással.

Az utolsó mondatot kiemelve, a megerősítési eljárás méretezési kritériuma az új aszfalréteg alsó szálában keletkező megnyúlás nagysága. Ennek bevezetésével a megerősítés és az új pályaszerkezet tervezés hazai gyakorlata egyöntetűen a szilárdságtani alapokra helyeződött. A fent leírtakban szereplő „merevség” fogalom azonosnak vehető a hajlított tartók számításánál használt „rugalmassági modulus×inercia” kifejezés merevségfogalmával. Erre a legegyszerűbben meghatározható pályaszerkezeti tulajdonság az „egyenértékű felületi modulus” amit homogén végtelen féltér esetén a Boussinesq képletből, rétegzett szerkezet esetében pedig az Odemark eljárás felhasználásával nyerhetünk.

3.5. Elmélet és valóság

A tartószerkezetek szilárdságtana (az útpályaszerkezet is tartószerkezet!) modellekkel dolgozik, amelyek valamilyen pontossággal leírják a valóságban végbemenő folyamatokat.

Az útpályaszerkezetek esetében számos olyan befolyásoló tényezőt ismerünk, ami a valós viselkedést „eltéríti” a modellhez képest, a teljesség igénye nélkül néhányat megemlítek.

- A valós terhelések eltérnek, mind a terhelőerő, mind az érintkezési felület szempontjából a modelltől (a terhelő járművek tömege, terheltsége, a gumiabroncsok méretei stb.)
- A pályaszerkezeti anyagok szilárdságtani tulajdonságainak meghatározása laboratóriumi körülmények között ugyan megoldott, de viszonylag kevés az értékelhető eredmény, ráadásul a tulajdonság mértéke a vizsgálati eljárástól (lényegében a feszültségállapottól) is függ, ami eltérő lehet a valós terhelések esetében jelentkező válaszoktól.
- Az anyagok tulajdonságai nem állandóak, megfigyelhetők rövid távú ciklusok (főleg meteorológiai okokra

visszavezethetően) és tapasztalhatók hosszú távú, főleg az anyag összetevőinek tulajdonságváltozásából eredő módosulások (pl. kötőanyag öregedés).

Összefoglalva megállapítható, hogy az elméleti értékekhez képest nagymértékű eltérések is tapasztalhatók, hasonlóak megfigyelhetők más teherhordó szerkezetek esetében is.

4. A tervezett eljárás egyes sajátosságai

A továbbiakban az eljárás általam lényegesnek ítélt sajátosságait felsorolva, azokhoz rövid magyarázatot fűzök.

4.1. Az eljárás felépítése

Eljárásnak egy tevékenység vagy egy folyamat elvégzésének előírt módját nevezzük. A tervezetben rögzítve van egy sorrend, azért mert az egyes lépésekben megszerzett információk a következő lépések végrehajtásához szükségesek. Nem kívánom részletezni, de belátható, hogy a laboratóriumi vizsgálatok helyének kijelölése nem történhet meg értelmes módon a helyszíni szemle előtt.

4.2. Megerősítési módszerek

Az eljárás létrejöttének egyik alapvető indoka az volt, hogy a gyakorlatban alkalmazott módszerek azonos elven, egyidejűleg vizsgálhatók legyenek.

FELÚJÍTÓ MÓDSZER MEGNEVEZÉSE	MÓDSZER ALKALMAZHATÓ VÁLTOZATAI	ALKALMAZÁST KIZÁRÓ KÖRÜLMÉNYEK	
MEGERŐSÍTÉS RÁÉPÍTÉSSEL	RÁÉPÍTÉSSEL, SZABÁLYOZÁSOKNAK MEGFELELŐ ASZFALTKEVERÉKEK ALKALMAZÁSÁVAL	A MEGLÉVŐ ASZFALTRÉTEGEK NEM MEGFELELŐ ASZFALTMECHANIKAI TULAJDONSÁGAI, A MEGLÉVŐ BURKOLATFELÜLET PROFILHELYESSÉGÉNEK OLYAN HIBÁJA, AMELYEK TELJES FELÜLETŰ KIEGYENLÍTŐRÉTEGGEL NEM SZÜNTETHETŐK MEG	
	RÁÉPÍTÉSSEL, SZABÁLYOZÁSOKNAK MEGFELELŐ ASZFALTKEVERÉKEK ALKALMAZÁSÁVAL, A MEGLÉVŐ ASZFALTRÉTEGEK RÉSZBENI, VAGY TELJES ELTÁVOLÍTÁSÁVAL	A MARADÓ ASZFALTVASTAGSÁG NEM LEHET 0 - 60 MM KÖZÖTT	
	RÁÉPÍTÉSSEL, SZABÁLYOZÁSOKNAK MEGFELELŐ ASZFALT ÉS MÁS PÁLYASZERKEZETI KEVERÉKEK ALKALMAZÁSÁVAL	NINCSENEK	
	MEGERŐSÍTÉS HELYSZÍNI ÚJRAHASZNOSÍTÁSSAL	HELYSZÍNI MELEG ÚJRAHASZNOSÍTÁSSAL, MELEGÍTÉSSEL ÉS/VAGY ÚJ KÖTŐANYAG HOZZÁADÁSÁVAL (A RÉTEGVASTAGSÁG VÁLTOZATLAN)	A PÁLYASZERKEZET ASZFALTRÉTEGEI ALKALMASAK AZ ÚJRAHASZNOSÍTÁSRA, AZ ÚJRAHASZNOSÍTÁS VASTAGSÁGÁN FELÜL MARADÓ ASZFALTVASTAGSÁG NEM LEHET 0 - 60 MM KÖZÖTT
	HELYSZÍNI MELEG ÚJRAHASZNOSÍTÁSSAL, ÚJ ASZFALTKEVERÉK HOZZÁADÁSÁVAL (A RÉTEGVASTAGSÁG NŐ)		
		HELYSZÍNI HIDEG ÚJRAHASZNOSÍTÁSSAL, ANYAGPÓTLÁS NÉLKÜL	MINIMÁLISAN 150 MM. HIDEGEN ÚJRAHASZNOSÍTHATÓ RÉTEG(EK) A MEGLÉVŐ PÁLYASZERKEZETBEN, AZ ÚJRAHASZNOSÍTÁS VASTAGSÁGÁN FELÜL MARADÓ ASZFALTVASTAGSÁG MINIMUM 60 MM, VAGY TELJESEN EI KELL TÁVOLÍTANI AZ ASZFALTOT
	HELYSZÍNI HIDEG ÚJRAHASZNOSÍTÁSSAL, ANYAGPÓTLÁSSAL	AZ ÚJRAHASZNOSÍTÁS VASTAGSÁGÁN FELÜL MARADÓ ASZFALTVASTAGSÁG NEM LEHET 0 - 60 MM KÖZÖTT	
MEGERŐSÍTÉS	LOKÁLIS JAVÍTÁSSAL, ÚJ KOPÓRÉTEG	A MEGLÉVŐ ASZFALTRÉTEGEK NEM	

(ÉLETTARTAM NÖVELÉS) LOKÁLIS JAVÍTÁSOKKAL	NÉLKÜL	MEGFELELŐ ASZFALTMECHANIKAI TULAJDONSÁGAI, A MEGLÉVŐ BURKOLAT FELÜLETI EGYENLETESSÉGÉNEK, PROFILHELYESSÉGÉNEK NEM MEGFELELŐSÉGE (IRI>5 MM/M, KERÉKNYOM > 10 MM)
	LOKÁLIS JAVÍTÁSSAL, ÚJ KOPÓRÉTEG FELÜLETI BEVONAT	
	LOKÁLIS JAVÍTÁSSAL, ÚJ KOPÓRÉTEG VÉKONYASZFALT (MAX 25 MM VASTAGSÁG)	A MEGLÉVŐ ASZFALTRÉTEGEK NEM MEGFELELŐ ASZFALTMECHANIKAI TULAJDONSÁGAI, A MEGLÉVŐ BURKOLAT FELÜLETI EGYENLETESSÉGÉNEK, PROFILHELYESSÉGÉNEK NEM MEGFELELŐSÉGE (IRI>10 MM/M, KERÉKNYOM > 15 MM), AZ ALKALMAZANDÓ ASZFALTKEVERÉKEN FELÜL TELJES FELÜLETEN KIEGYENLÍTŐRÉTEG SZÜKSÉGES

1. táblázat

A különböző felújító módszerek és az alkalmazásukat kizáró körülmények

A táblázat a módszerek felsorolásán túl az alkalmazhatóságra vonatkozó kézenfekvő kritériumokat is tartalmazza.

4.3. Megrendelői diszpozíció

A megrendelői diszpozíció fontosságáról és az általa elérhető eredményekről a szerző az Ütügyi Lapok hasábjain már publikált, ezért itt nem részletezem a kérdést, azt mindenképpen megjegyzem, hogy az átgondolt diszpozíció a hatékonyságot nagymértékben segíti. (16).

4.4. Szükséges vizsgálatok

4.4.1. Behajlásmérések

A tervezet készítése során az egyik legtöbb vita a behajlásmérési módszerrel kapcsolatban volt. Fenntartva a lehetőséget az itt leírt vitatására is néhány megállapítást kell rögzíteni:

- ahhoz, hogy szilárdságtanilag korrekten lehessen méretezni a szerkezet egy részének eltávolítását, továbbá a hasonló problémát jelentő újrashasznítási eljárásokat, a behajlási teknőt legalább négy ponton kell rögzíteni.

A billenőkaros behajlást jelentős szisztematikus hibával terheli a:

- o talphiba (azaz az a tény, hogy az eszköz alátámasztása a behajlási teknőben van),
- o a gépjármű gumiabroncsának nyomása (a terhelő felület nagyságát befolyásolja),
- o az ikerabroncsok közötti „felhajlás”.

- A billenőkaros behajlás eredményét bizonytalanná teszik a:
 - o tisztázatlan reológiai tulajdonságok („dinamikus” átszámítás),
 - o geometriai viszonyok (pályaszerkezet oldalesése).

Összefoglalva, a billenőkaros behajlásmérés metrológiai bizonytalanságai miatt sok nehézséget okozhat, ezért célszerű az FWD (Falling weight deflectometer) készülékek használata. A metrológiai szempontok alapján ugyanakkor az eljárás minden behajlásmérő eszköz esetére előírja a vizsgálólaboratóriumi kritériumoknak megfelelő mérési utasítás elkészítését. Mindenképpen jelentős változás az, hogy nem csak a terhelés tengelyében kell a behajlást meghatározni, hanem a 300, 600 és a 900 mm távolságban lévő helyeken is, erre minden behajlásmérő készülék esetében van lehetőség.

4.4.2. Egyéb vizsgálatok

Jelenlegi szabályozásunk – és főleg gyakorlatunk - a kérdésben kifejezetten hibásnak tekinthető, mert az általánosságok és az esetlegességek szintjén marad meg.

A probléma ezzel kapcsolatban kettős:

- amennyiben a tervezési feladat közbeszerzés alapján kerül végrehajtásra, az ajánlatkérés (mit csináljon a tervező?) nem meghatározott,
- szakmailag nézve pedig súlyos kockázatokat vállal a megbízó, ha a vizsgálatok „megspórolásával” pl. deformációra hajlamos aszfaltréteg „marad benn” a szerkezetben.

A problémák elkerülésére ezért a tervezet táblázatos formában előír egy vizsgálati sort, a szükséges

frekvenciákkal együtt, aminek betartása esetén kellően jó technológiai terv készíthető.

Jellemző, hogy az eddigi próbaalkalmazásoknál ezt a mennyiséget és a hozzátartozó vizsgálati időt sokallták. Konkrét esetre végzett kalkulációk azt mutatták, hogy a behajlásmérésen túli vizsgálatok 1 km.-re vonatkozó díja 1–1,5 mFt alatti összeg, ami, figyelembe véve a megszerezhető információkat és az elmaradásuk esetén fellépő kockázatokat semmiképpen nem tűnik soknak.

4.5. Behajlási korrekciók

A jelenlegi szabályozás szerint a behajlásokat hőmérsékleti és „évszak” korrekcióval kell módosítani, a tervezet ezen elveket megtartva, új módszereket vezet be.

4.5.1. Hőmérsékleti korrekció

Mivel a behajlási teknő több pontján is meg kell mérni a behajlást, és a jelenlegi korrekciós képlet erre nem alkalmas, egy új módszert kellett alkalmazni.

Ezt egy fejlett eljárás átvételével lehetett megoldani.(17)

4.5.2. Földmű merevség változása

A változékonyabbá váló klímánkban könnyen érthető, hogy a korábbi tapasztalatok alapján kidolgozott korrekciók mára elavultak, ezért vált szükségessé, hogy az éves ciklushoz kapcsolódó módszer helyett egy, a behajlásmérést megelőző időszak csapadékmennyiségéhez köthető eljárást alkalmazzunk. (14)

4.6. Lokális javítások

Gondos tervező már a jelenlegi szabályok alapján is alkalmazott lokális javításokat.

A szabályozástervezet egyrészt megkísérli ezeket definiálni, másrészt a hozamát (azaz a merevség átlagos növekedését) a méretezésnél figyelembe venni, ezáltal a gazdaságosságot növelni.

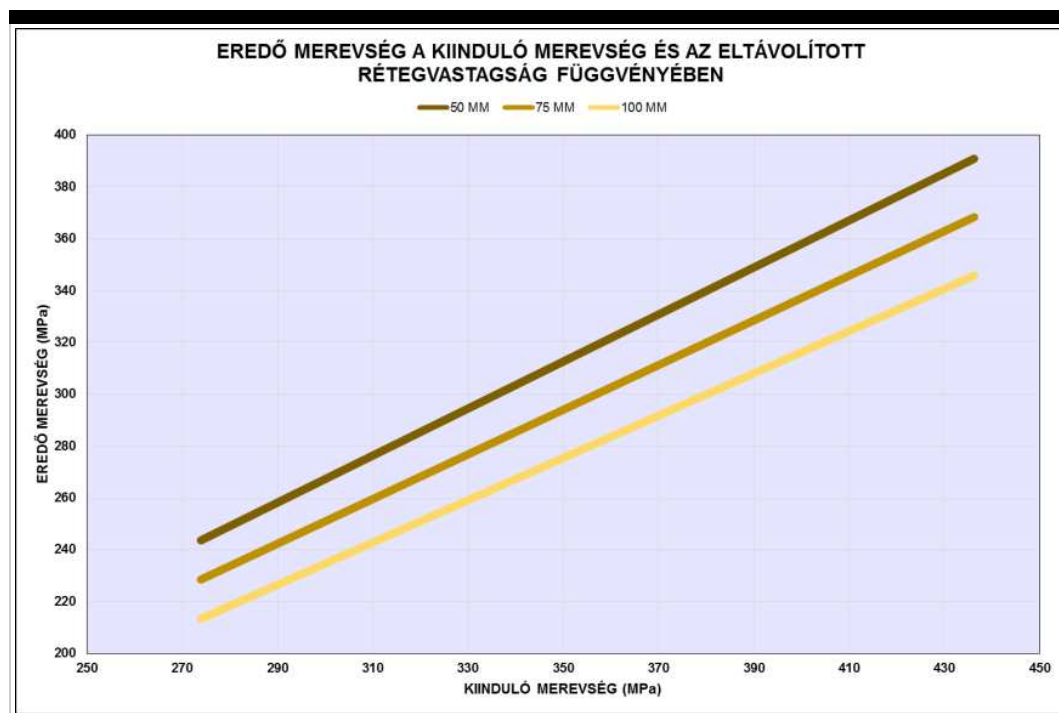
4.7. Merevségcsökkentés - növelés

A meglévő aszfaltrétegek geometriai és anyagi tulajdonságai egy kicsit is gondos tervezés esetében igénylik a meglévő aszfaltréteg egy részének eltávolítását.

Jelenlegi szabályozásunk nem tartalmaz eligazítást, a kialakult gyakorlat pedig pazarló (jellemzően pótolni kell az eltávolított vastagságot, majd ezután alkalmazni az erősítést).

Az újrahasonosítási eljárások sem méretezhetők a meglévő szerkezet „eltávolítása” nélkül.

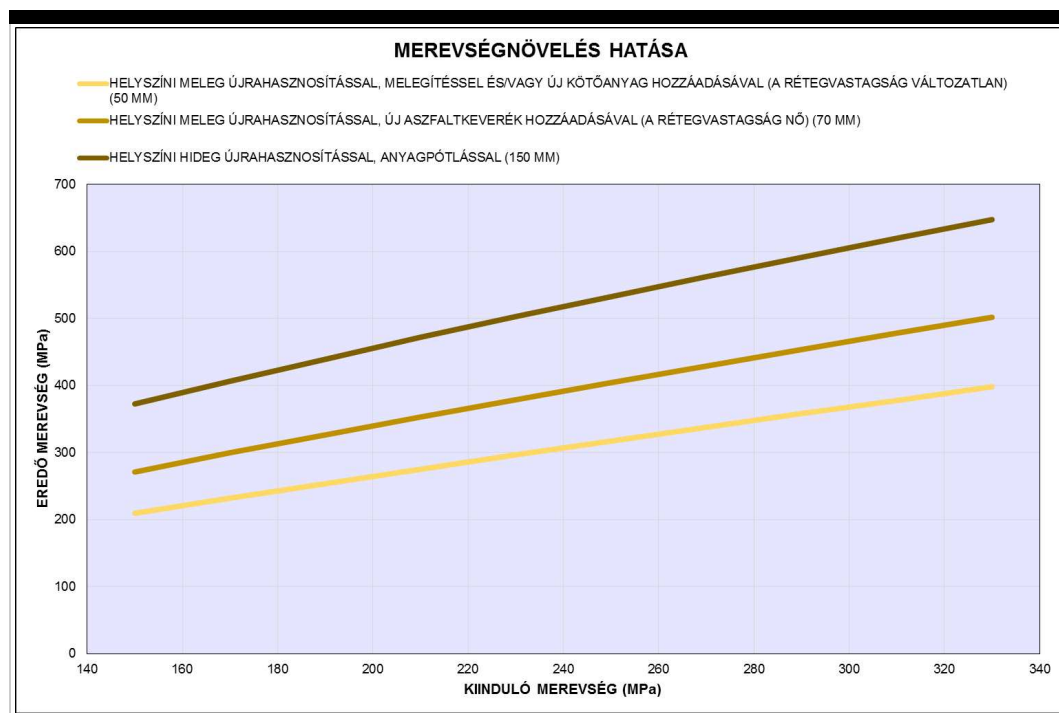
Ezért – Odemark – képletét felhasználva egy könnyen használható megoldást tartalmaz a tervezet, aminek hatását a 6. ábra mutatja be.



6. ábra

Eredő merevség a kiinduló merevség és az eltávolított rétegvastagság függvényében

Alapvetően az újrahazsnosítási eljárások esetében kérdés, hogy az átalakított meglévő szerkezetrés milyen mértékben növeli a pályaszerkezet merevségét. Ezekre az esetekre lett kidolgozva egy képlet, amivel ez az eredő merevség számítható, a képlet hatását a 7. ábrán lehet tanulmányozni.



7. ábra

Az újrahazsnosítási eljárások merevségnövelő hatása

4.8. Méretezési rész - szakasz

Az eljárás pontosítja az azonos megerősítési módszerhez tartozó és egyidejűleg homogén szakasz (ezt nevezzük méretezési rész – szakasznak) meghatározásának módját, a homogenitásnak a jelenleginél lényegesen szigorúbb feltételével. Ennek során ugyanakkor figyelembe vehetők a lokális javítások, az elnedvesedést korlátozó megoldások stb. illetve a kiugróan „jó” értékek is. Az eljárás ad bizonyos egyszerű segédmodszereket a homogenitás meghatározására, javasolható a következő cikk tanulmányozása is (18).

4.9. Alkalmazható aszfaltok és tulajdonságaik

Jelenlegi szabályozásunk egyféle aszfaltkeveréket ismer.

Az aszfalttechnológia ma már lényegesen többet tud, a következő táblázatban tanulmányozhatjuk az alkalmazott (méretezési paraméterrel ellátott) aszfaltkeverékeket.

MÉRETEZÉSI ASZFALT PARAMÉTEREK			
ASZFALTKEVERÉK TÍPUSA	MÉRETEZÉSI MODULUS (MPa)	POISSON TÉNYEZŐ	MEGENGEDETT MEGNYÚLÁS (mstrain)
KOPÓRÉTEGKÉNT HASZNÁLHATÓ AC (N, F) ASZFALTKEVERÉK ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	3500	0,35	340
KOPÓRÉTEGKÉNT HASZNÁLHATÓ AC (N, F) ASZFALTKEVERÉK MODIFIKÁLT BITUMEN KÖTŐANYAG, VAGY MODIFIKÁLT ASZFALT	3500	0,35	380
ASZFALTKEVERÉK KÖTŐ ÉS ALAPRÉTEG AC (N, F) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	6000	0,35	220
ASZFALTKEVERÉK KÖTŐ ÉS ALAPRÉTEG AC (N, F) MODIFIKÁLT BITUMEN KÖTŐANYAG VAGY MODIFIKÁLT ASZFALT	6000	0,35	320

ASZFALTKEVERÉK KÖTŐ ÉS ALAPRÉTEG AC (NM) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	10000	0,35	190
ASZFALTKEVERÉK KÖTŐ ÉS ALAPRÉTEG AC (NM) MODIFIKÁLT BITUMEN KÖTŐANYAG VAGY MODIFIKÁLT ASZFALT	10000	0,35	220

2. táblázat
Méretezési aszfalt paraméterek

A háromféle alap aszfaltkeveréket egyenként két fázisú kategóriába sorolva az eljárás alkalmazásánál a használnak sokkal nagyobb mozgásteret lesz.

5. A szükséges aszfaltvastagság meghatározásának módja

Az eddig ismertett sajátosságokon túl egy speciális részét a szabályozástervezetnek részletesebben is ismertetem.

5.1. A számítási képlet és a megadott paraméterek

A normaszövegben szerepel a szükséges aszfaltvastagság meghatározásának képlete.

$$V_{aszf.szüks.} = E_{mertekeado} \cdot (A \cdot LN TF - B) + (C \cdot LN TF - D)$$

ahol:

$V_{aszf.szüks.}$ - a szükséges erősítő aszfaltvastagság (mm)

$E_{mertekeado}$ - a méretezési rész – szakaszra megállapított mértékadó egyenértékű felületi modulus

TF - a tervezési forgalom (egységtengety számban)

A, B, C, - a választott aszfaltkeverék és terhelési viszonyoknak megfelelő paraméterek

D

A paramétereket a 3. táblázat tartalmazza. A 2. táblázathoz képest megkészszerződtek az aszfalttípusok, ennek oka az, hogy a reflexiós repedéssel terhelt szakaszokon az új aszfalttrétegek igénybevételei nagyobbak, a számításban ezt figyelembe kellett venni. Látható, hogy a képlet meglehetősen „felhasználóbarát” azaz az inputok $E_{mertekeado}$, TF, az alkalmazandó aszfalttípus és a terhelési körülmények) függvényében egy lépésben adja a szükséges aszfaltvastagságot.

ASZFALTFAJTA ÉS KÖRÜLMÉNYEK	PARAMÉTEREK			
	A	B	C	D
KOPÓRÉTEGKÉNT HASZNÁLHATÓ AC (N, F) ASZFALTKEVERÉK ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	0,029	0,648	16,92	111,72
KOPÓRÉTEGKÉNT HASZNÁLHATÓ AC (N, F) ASZFALTKEVERÉK ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG A MEGLÉVŐ PÁLYÁN MOZGÓ REFLEXIÓS REPEDÉSEK VANNAK	0,0195	0,4797	19,099	119,12
ASZFALTKEVERÉK 6000 MPa AC (N, F) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	0,0192	0,5011	22,308	134
ASZFALTKEVERÉK 6000 MPa AC (N, F) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG A MEGLÉVŐ PÁLYÁN MOZGÓ REFLEXIÓS REPEDÉSEK VANNAK	0,015	0,4177	25,259	144,92
ASZFALTKEVERÉK 10000 MPa AC (NM) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	0,0225	0,4918	17,696	100,34
ASZFALTKEVERÉK 10000 MPa AC (NM) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG A MEGLÉVŐ PÁLYÁN MOZGÓ REFLEXIÓS REPEDÉSEK VANNAK	0,0163	0,3769	19,167	96,781

3. táblázat
Paraméterek értéke a szükséges aszfaltvastagság számításához

5.2. A képlet kifejlesztése

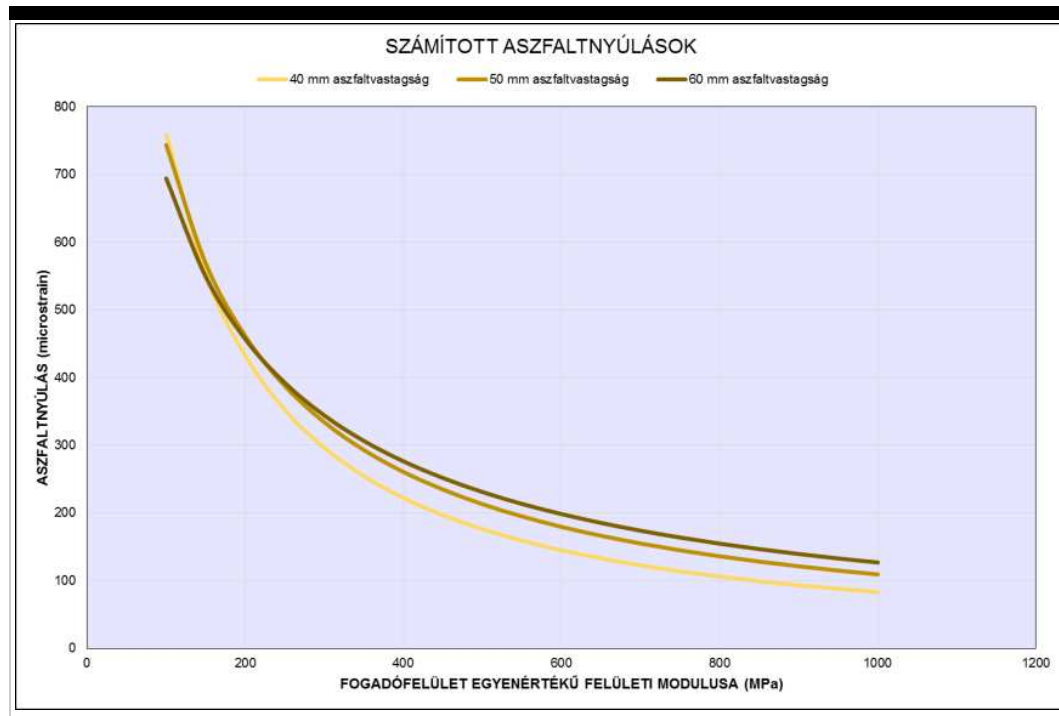
Az „alapok” - ban leírtak ismeretében elvileg a „mérétezés” végrehajtható, de az alábbiakban leírtak komoly nehézséget jelentenek:

- a BISAR szoftver viszonylag drága, általános elérhetősége aligha valósítható meg,
- a fent leírt eljárásor lényegében egy ismert keresztmetszet ellenőrzése, tehát, amennyiben „nem felel meg”, az eljárást ismételtetni kell, ami valószínűleg sok időt vesz igénybe.

Ezek miatt az a döntés született, hogy egy képletet kell kifejleszteni, aminek használatához csak számítókapacitás szükséges.

5.2.1. A SZÁMÍTOTT MEGNYÚLÁSOK

Kiszámítottuk különböző merevségű aszfaltokra (3500 MPa, kopóréteg, 6000 MPa, szerkezeti réteg, 10000 MPa, nagymodulusú szerkezeti réteg) különböző fogadófelület egyenértékű modulusra és különböző aszfaltvastagságokra a keletkező megnyúlásokat, ezek közül a 3500 MPa merevségű aszfaltrétegét közlöm.



8. ábra

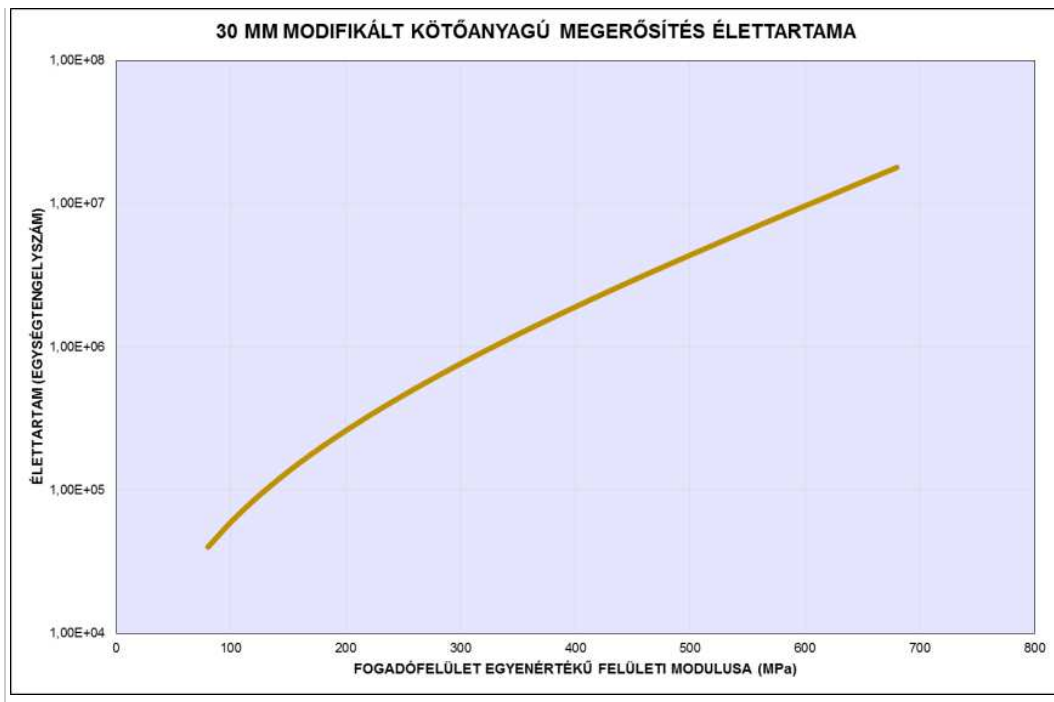
Számított aszfaltmegnyúlások különböző aszfaltvastagságok esetében

A számításoknak az volt a célja, hogy a kapott eredményorsóból regressziós elemzés segítségével a független változók (itt az aszfaltvastagság a másik független változó) értékeiből közvetlenül (azaz egy képlet segítségével, a BISAR „megkerülésével”) lehessen a függő változót meghatározni.

Megjegyzendő, hogy a regressziószámításhoz kell némi kreativitás is, bár az excel függvény és diagram választéka megkönnyíti a munkát.

5.3. Számítható élettartam

A regressziós képlet és a 3.3 pontban szereplő élettartam számító képlet segítségével meghatározható az élettartam, az adott fogadófelület merevség és tetszőleges aszfaltvastagság függvényében, a következő diagramon egy számítás eredményét látjuk.



9. ábra

30 mm modifikált kötőanyagú megerősítés élettartama

5.4. A számítóképlet alapját adó táblázat létrehozása

A munka célja egy - a megerősítő aszfalt tulajdonságaitól és a terhelési körülményektől függően változó paraméterekkel bíró – képlet kifejlesztése volt.

Ezt megelőzően a képlet alapját képező táblázatot kellett létrehozni (lásd 4. táblázat).

A számításhoz egy táblázatot hoztunk létre az excel alkalmazásban.

A számítás a következőképpen ment végbe:

- egy kiinduló (jelen esetben 30 mm) aszfaltvastagság élettartamát számoltuk ki a különböző meglévő pálya teherbírások esetében
- a számított élettartamot a táblázatkezelő összehasonlította a felvett tervezési forgalom értékkel (a táblázatban szereplő különböző TF-ek esetére külön lett végrehajtva a számítás)
- amennyiben a számított élettartam kisebb volt, mint a felvett (az összehasonlítást az excel logikai függvénycsomagjával lehetett végrehajtani), a következő számítási lépésben a táblázat 5 mm-el növelte az aszfaltvastagságot
- amennyiben az élettartam kielégítő volt, az aszfaltvastagság a továbbiakban változatlan maradt
- a számításokat ezek után a táblázat ismételte addig, amíg a kellő élettartam minden teherbíróképességnél létre nem jött.

A számítások végeredménye látható a 4. táblázatban.

ÚTPÁLYASZERKEZET KORRIGÁLT MÉRETEZÉSI TEHERBÍRÁSA N/mm ²	TERVEZÉSI FORGALOM										
	1,00E+05	1,50E+05	2,00E+05	3,00E+05	5,00E+05	7,50E+05	1,00E+06	1,50E+06	3,00E+06	6,00E+06	1,00E+07
	SZÜKSÉGES ASZFALTVASTAGSÁG (mm)										
80	45	50	60	65							
100	40	45	50	55	65						
120		40	45	50	60	70					
140			40	45	55	60	70				
160				40	50	55	65				
180					45	50	60	70			
200					40	45	55	65			
220						40	50	60			
240							45	55	70		

260						40	50	65		
280							45	60		
300							40	55		
320								50	70	
340								45	65	
360								40	60	
380									55	70
400									50	65
420									45	60
440									40	55
460										50
480										50
500										45
520										40

A köztes tervezési forgalom értékre lineáris interpoláció megengedett, az értéket 5 mm pontossággal kell megadni

4. táblázat

Szükséges aszfaltvastagságok egyrétegű erősítéshez; kopóréteggént használható AC, SMA (N, F) modifikált bitumen kötőanyag vagy modifikált aszfalt

A táblázat üres helyei a jobb felső területen az aszfaltfajtára megengedett maximális vastagságnál nagyobb (tehát nem alkalmazható), a bal alsó részen pedig az erősítést nem igénylő megoldásokat jelentik. A számítótáblázat megalkotása után az egyes TF értékekhez tartozó eredmény másodpercek alatt adódik, azaz a teljes táblázat számítása kb 10–15 percet vesz igénybe. Az így elkészített táblázatok már alkalmasak a méretezésre, de a munkabizottság tagjai kérték a további „képletesítést”, ehhez további regressziós számítások váltak szükségessé, eredményüket már leírtam.

6. Összefoglalás

A hányatott sorsú megerősítési szabályozástervezet rövid összefoglalóját azzal a céllal írtam meg, hogy az érdeklődők számára fogódzókat nyújtsak annak megértéséhez. Az Útügyi Lapok felépítése lehetővé teszi a közvetlen kommentálást és ezáltal egy lehetséges vitafórumként is képes működni. Örömmel venném, ha lennének reakciók.

7. Irodalomjegyzék

- (1) Magyar Közút Zrt – Magyar Útügyi Társaság: Fenntartható utak. Kézirat, 2013
- (2) ÚT 2-1.202 [e-UT 06.03.13] Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése
- (3) Id. Dr. Gáspár László Útügyi technológiai továbbképzés (Magyar Közút Zrt – Magyar Útügyi Társaság – Magyar Mérnöki Kamara)
- (4) Huszár János: „Fenntartható utak” projekt keretében megfogalmazott aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek új méretezési módszere. Kézirat, 2015
- (5) Dr. Boromisza Tibor: Útburkolatok behajlása. Mélyépítéstudományi Szemle 1959/12
- (6) Dr. Gáspár László: Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének időszerű kérdései Mélyépítéstudományi Szemle, 1965/10-11
- (7) Dr. Gáspár László: Az új útpályaszerkezetek méretezése és a meglévők megerősítése Franciaországban Mélyépítéstudományi Szemle, 1967/12
- (8) Dr. Nemesdy Ervin: Az útpályaszerkezetek mechanikai méretezésének fejlődése és aszfaltlaboratóriumi alapproblémái Mélyépítéstudományi Szemle, 1977/9
- (9) Dr. Nemesdy Ervin: Útpályae erősítés méretezése mechanikai alapon, lehajlasméréssel., Mélyépítéstudományi Szemle, 1986/10
- (10) Dr. Tóth Ernő – Zsiga Kiss Endre: Az útpályaszerkezetek teherbírásszámításának néhány kérdése., Mélyépítéstudományi Szemle, 1986/10
- (11) Dr. Nemesdy Ervin: Az új magyar típus – útpályaszerkezetek mechanikai méretezésének háttere Közlekedés és Mélyépítéstudományi szemle 1992/8
- (12) Primusz Péter : Pályaszerkezet-gazdálkodás az erdészeti feltáráshálózatokon PHD értekezés Sopron, 2012
- (13) Per Ullidtz: Modelling Flexible Pavement Response and Performance. 1998
- (14) Márton Karoliny, László Gáspár: Investigation and design of durable pavement structure rehabilitation; 14TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON ASPHALT, PAVEMENT ENGINEERING AND

INFRASTRUCTURE February 11-12, 2015, Britannia Adelphi Hotel, Liverpool, UK
(15) Ralph Haas, CM, FCAE,FRSC,FCSCCE,PhD,P.Eng. Reinventing the (pavement management) wheel V. Conference of International Society For Asphalt Pavements, Seattle, Washington, 2001. aug. 11-14.
(16) Karoliny Márton: Megrendelői diszpozíció az útfelújítási munkáknál; Útügyi Lapok 2014 ősz.
(17) Harri Spoof, Sami Petäjä & Antti Ruotoistenmäki: Pudotuspainolaitemittaus 2000. TPPT Menetelmäkuvaus
(18) Szentpéteri Ibolya: Útpályaszerkezetek homogén szakasképzésének tapasztalatai; Útügyi Lapok 2014 tavasz

Adatok

Megjelent itt

7. szám

Szerző

Karoliny Márton

Okleveles építőmérnök, szakmérnök, mérnök-közgazdász. A MAUT Útpályaszerkezetek szakbizottság elnöke, jelenleg aktív, szakmai tanácsadással foglalkozó nyugdíjas.

Témakörök

Földművek • Kiemelt • Útépités • Útgazdálkodás

Kulcsszavak

Befogadva

2016. március 31.

Hozzászólás

* Név

* Email

Honlap

Hozzászólás

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Szakolvasó

Témakörök

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



Loading [MathJax]/extensions/MathZoom.js

Sűrűségkorrekció alkalmazása dinamikus ejtősúlyos berendezéseknél

Szerző(k) **Subert István**

Kivonat

Az új dinamikus tömörségmérési módszer alkalmazásáról, elemzéséről több tudományos munka és tanulmány készült. Szükségesnek láttuk annak elemzését, hogy a különböző sűrűségű anyagok illetve a víztartalom, a réteg tömörsége milyen hatással van a mért dinamikus tömörségi és teherbírási eredményekre. Az elemzés különösen fontos a szélsőséges sűrűségű anyagok, a kohósalak, salakkó és pernye esetében, melyek másodlagos nyersanyagok és alkalmazásra kell kerüljenek, ugyanakkor minősítésük (mérésük) nem megoldott. Ezek az anyagok közismerten nehezen, vagy egyáltalán nem minősíthetők a hagyományos tömörségmérési módszerekkel, különösen nem az izotópos tömörségmérési eljárással.

Kimutattuk, hogy dinamikus modulus meghatározásánál a sűrűség, víztartalom és tömörségi fok pontos ismerete nélkül nem lehet minősítő eredményt adni. Ha a dinamikus teherbírást pontosan kívánjuk meghatározni, akkor korrekciók szükségesek. Megállapításunk adaptálható valamennyi dinamikus mérőeszközre (KUAB, Dynatest, BP-LFWD). A korrekció alkalmazása jelentős lépés lehet az összefüggések meghatározásában. A tanulmány azt igazolta, hogy valóban elegendő egy teherbírási és egy tömörségi fok határérték megszabása a szabványokban, tenderekben.

1. Bevezető, előzmények

Az Infrastruktúra (vasút, közút, vízépítés, repülőtér) pályaszerkezetét megfelelő teljesítményképességű alapokra kell helyezni. Az alépítmény általában a földmű, beleértve esetleges javítórétegeit. Alkalmazni lehet és kell a másodlagos nyersanyagokat is egyre nagyobb arányban, melyek minőségellenőrzése mindaddig nem volt kellően biztosított. Jelen cikk bemutatja, hogy ezek a szélsőséges sűrűségű rétegek is minősíthetők, a dinamikus tömörség- és teherbírás mérési módszerét alkalmazva.

A dinamikus terhelés alkalmazása a terepi mérési módszereknél gyorsan terjed a világon. A könnyűejtősúlyos terhelési módszer alkalmazhatóságát növeli, hogy nem igényel ellensúlyt - mint a statikus teherbírás - és annak vizsgálathoz képest igen gyors. Lehetővé teszi a tényleges dinamikus forgalmi terheléssel azonos modellhatású mérést, egyben egy pontosabb és megbízhatóbb, realisabb és gazdaságosabb minősítési mód alkalmazását, megnöveli a földművek és más szemcsés anyagrétegek minőségellenőrzésének hatékonyságát.

Magyarországon 2003-ban egy új, dinamikus módszerrel mérő berendezés kifejlesztése kezdődött, mely a két legfontosabb jellemző egyidejű mérésére alkalmas. A B&C SP-LFWD kistárcsás könnyű-ejtősúlyos berendezés egyrészt méri a dinamikus modulus, mint teherbírást, másrészt az ejtések hatására létrejött tömörödési görbéből a tömörségi fokot. A dinamikus tömörségi fok elméletét és mérésének módját az Andreas Kft dolgozta ki [22, 23, 24]. Az új módszer európai szabadalom lett és több díjat, elismerést kapott. 2008-ban elkészült a CEN-WA 15846 európai szabvány [1], mellyel a B&C dinamikus tömörség- és teherbírás mérő berendezés alkalmazása megnyílt Európa és a világ más országai előtt.

A B&C alkalmazása során nyert mérési tapasztalatok azonban rávilágítottak olyan a problémákra is, melyek eddig nem merültek fel, vagy nem voltak kezelhetők, ezek megoldását ugyanakkor a BC dinamikus teherbírás méréssel lehetségesnek tartottuk. A dinamikus tömörségmérési módszert Magyarországon már 28 laboratórium alkalmazza közel negyven mérőeszközzel. A mérőeszközöket a Közlekedéstudományi Intézet kalibrálja. A tapasztalatok külföldön is kedvezőek, az érdeklődés kiemelkedő. A B&C kistárcsás könnyűejtősúlyos berendezés a statikus teherbírás méréshez nagyon hasonló $p=0,35$ MPa tárcsa alatti terhelést alkalmaz, szemben más típusú nagytárcsás LFWD (Zorn, HMP) berendezésekkel, melyek a dinamikus modulus mérésére $p=0,1$ MPa tárcsa alatti terhelést használnak [7-8].

Az új dinamikus tömörségmérési módszer alkalmazásáról, elemzéséről számos tudományos munka és

tanulmány készült [16-18, 22, 25]. A mérőeszköz alkalmazási területének bővítéséhez szükségesnek és időszerűnek láttuk annak elemzését, hogy a talajoktól jelentősen különböző sűrűségű anyagok illetve a víztartalom, a réteg tömörsége milyen hatással van a mért tömörségi és teherbírási eredményekre. Különösen fontos a vizsgálat a szélsőséges sűrűségű szemcsés anyagok, így a kohósalak, salakkó, pernye esetében, melyek mint másodlagos nyersanyagok alkalmazásra kell kerüljenek, ugyanakkor minősítésük (mérésük) nem megoldott. Ezek az anyagok közismerten nehezen, vagy egyáltalán nem minősíthetők a hagyományos tömörségmérési módszerekkel, különösen nem az izotópos tömörségmérési eljárással.

2. A dinamikus könnyűejtősúlyos teherbírás mérés alapelve

Az LFWD (**L**ight **F**alling **W**eight **D**eflectometer) mérés elvét több európai szabvány és tanulmány részletezi [7-9]. Lényeges, hogy az ejtősúly $7070 \text{ N} \pm 2\%$ terhelőerőt hoz létre a tárcsa erőátadó golyón. Típustól függően a tárcsa mérete $D=300 \text{ mm}$, vagy a B&C esetében $D=163 \text{ mm}$. Ebből adódóan a nagytárcsás készülékeknél $0,1 \text{ MPa}$, míg a kistárcsás B&C készüléknél $0,35 \text{ MPa}$ tárcsa alatti terhelést jön létre a mért réteg felületén. A nagytárcsás készüléket a továbbiakban BP-LFWD-nek, a kistárcsásat SP-LFWD-nek nevezzük. A tárcsa alatt mért alakváltozásból, süllyedésből számítjuk a Boussinesq-képlettel a dinamikus modult. A nagytárcsás BP-LFWD fix Poisson-tényezőt és hajlékony tárcsa szorzót alkalmaz egy constans érték megadásával [6-7]:

$$C_{\mu} = 22,5$$

$$E_{vd} = \frac{22,5}{s_{1a}} (\text{MPa})$$

Az így kapott E_{vd} értékeket szokták E_2 -re átszámítani - melyre különböző képletek ismeretesek -, de az összefüggés regressziós szorosságát nem ismerjük.

A magyar megoldás a B&C SP-LFWD, mely a mért anyagtypustól függően választható Poisson-tényezővel ($\mu = 0,3 - 0,4 - 0,5$) és választható tárcsaszorzóval ($c = 2$, vagy $\pi/2$) dolgozik (emiat $C_{\mu} = változo$).

$$E_d = \frac{(1 - \mu^2) \cdot c \cdot p_{din} \cdot r}{s_a} = \frac{C_{\mu}}{s_a} \quad (1)$$

Az így kapott E_d dinamikus modulus értékek hasonló mérési tartományt mutat, mint az E_2 statikus teherbírás mérés, melyben lényeges szerepe lehet annak, hogy a statikus tárcsás mérésnél is $p=0,3 \text{ MPa}$ tárcsa alatti végterheléssel mérünk.

Minden dinamikus terhelésű mérés az impulzus-törvényt használja fel arra, hogy a földmű, vagy pályaszerkezeti réteg felszínén terhelést hozzon létre. Ennek kapcsolatai, tömegei ismertek. Jelen tanulmány azt tűzte ki célul, hogy fenti kapcsolatok végigtekintésével, elemzésével tegyen megállapításokat a mért réteg sűrűségeltéréseinek lehetséges következményeire, az összefüggések feltárásával.

Az ejtősúly működése az impulzus-törvény alapján

Az „ejtősúly” kifejezés pontosítása érdekében előljáróban szükséges hangsúlyozni, hogy milyen részeiről is beszélünk a készüléknek - általában. A vizsgálandó rétegre (talajra) helyezett tárcsára ejtjük le a súlyt, de oly módon, hogy azt egy ejtő-rúd megvezeti. A központosító golyóra ható impulzus tehát már a vezető-rúd és az ejtősúly együttes tömegéből származik, azaz más sebességgel mozog már, mint az ejtősúly maga a szabadesésben. Az erőhatás felépülése és lecsengése a teherátadó-központosító golyó előtt egy közbenső rugóval van szabályozva, melynek időszükséglete 18 msec -ban szabályozott mind a nagytárcsás BP-LFWD, mind a kistárcsás SP-LFWD típusú készülékeknél [1-3, 5-8].

A terhelőtárcsában elhelyezett gyorsulásmérő és a $0,001 \text{ sec}$ pontosságú kvarcóra segítségével a mért időből és a tárcsa mért gyorsulásából számítható a megtett út, mint süllyedési amplitúdó. Ez a mutató mind a rugalmas, mind a maradó alakváltozást tartalmazza. Tárcsasebesség és benyomódás összefüggése nyilvánvaló, mivel az LFWD berendezéseknél az alakváltozást a tárcsa sebességéből és constans (18 msec) időből állapítjuk meg. Ha tehát a tárcsa sebességét ismerjük, akkor a tömeg és sebesség szorzatából az impulzus számítható.

A kioldókar meqhúzása után a leeső súly tömege (kalibrálástól függően) $65-75 \text{ cm}$ távolsáqú szabadesés után

ütődik a csillapító rugó erőátadó szerkezetének. A központosító golyóra átadódó impulzus a tömegből, valamint a csökkent sebesség figyelembevételével számítható. Bár ejtősúly alatt a jelenlegi szabványok jellemzően a leeső súly tömegét értik (feltehetően ez egyértelmű), mégis a súly és a rúd + rugó együttes tömege képezi az impulzust a teherátadó golyón együttesen (Zorn, HMP és B&C), tehát az előírt $7070 \text{ N} \pm 2\%$ nagyságú terhelés így alakul ki. Az impulzustörvény alapján a tömeg és sebesség szorzata állandó ($I = m \cdot v$). Ha a kismértékű rúdsúrlódástól eltekintünk, akkor az impulzus sorozat egyszerű és könnyen áttekinthető.

Készülék	Zorn D=300	B&C D=163
Tömeg [kg]		
Ejtősúly tömege	11,0	10,4
Ejtősúly + vezetőrúd tömege	15,4	15,4
Terhelő tárcsa tömege	15,2	14,8

1. táblázat

LFWD készülékek fő alkatrészeinek tömege (példa)

Ha az erőátadó golyóra jutó ejtősúly + vezetőrúd és a terhelőtárcsa tömege (1. táblázat) egyenlő, akkor a tárcsa sebessége azonos, ha eltérő, akkor a tömeggel fordítottan arányosan változik meg a sebesség. A tárcsa süllyedési sebességét a B&C dinamikus tömörség- és teherbírás mérő berendezés is gyorsulásmérővel méri és rögzíti. A készülék adattárolójában ezek a tárcsasebesség adatok tárolódnak, így utólag is rendelkezésre állnak. Innen származó sebességadatokból és a tárcsatömegből tehát mindenkor pontosan számítható az alkalmazott (tényleges) impulzus nagysága.

Talajra, szemcsés rétegre átadódó impulzus

Az impulzus végső oldala a mért anyagréteg, talaj, mely a tárcsa által átadott impulzus miatt tömörödik, lefelé mozdul. A talaj rugalmasságától függően, de a deformációra fordított energiával lecsökkentve, egy visszapattanást indít el a tárcsa felé. Az energia egy részét a maradó alakváltozás felemészti, ez az oka annak, hogy a visszapattanás sohasem éri el a végtelen merev modulusra jellemző $h = v^2/2g$ értékét. Ehhez képest mért magasság-különbség azonban arányos az elnyelt energiával, az pedig a tárcsa alatti süllyedéssel.

A tárcsa alatti deformáció térfogatcsökkenést, sűrűség növekedést okoz. A tárcsa alatti terület és a hatásmélysége konstans, mely által meghatározott térfogatot tekinthetjük mértékadónak. Ennek tömege az, amit az impulzustörvény figyelembe vehet.

Az impulzustörvényben figyelembe vehető talajsűrűség a B&C mérési elméletéből könnyen számítható. A sűrűség egyenesen arányos a tömörséggel (minél kisebb a tömörség annál kisebb a sűrűség) és egyenesen arányos a víztartalommal (minél magasabb a nedvesség, annál nagyobb a sűrűség). Általánosságban tehát a mérés időpontjában a talaj sűrűsége a tárcsa alatt:

$$\rho_n = \rho_{Pr} \frac{T_{rE}\%}{100} \cdot \left(1 + \frac{w\%}{100}\right) \quad (2)$$

ahol:

w% - a víztartalom a méréskor

ρ_{Pr} - a Proctor-vizsgálat szerinti legnagyobb száraz sűrűség az EN 13282/2-7.4.pont szerint

$T_{rE}\%$ - a mért réteg helyszíni relatív tömörsége az adott víztartalom mellett

Mivel az altalaj különböző fajtájú és víztartalma is változó lehet, a visszapattanás (egyben a tárcsa alatt mért alakváltozás) értékei is ettől függőek. A mért süllyedési amplitúdó tehát tartalmazza ezek hatásait.

A fő kérdés, hogy a teherbírásra és a tömörségre vonatkozó minősítő határértéket ennek a mért értéknek kell-e teljesíteni, vagy a mért értéknek „anyagtól, víztartalomtól függetlenül” kellene teljesülnie. Nyilvánvalóan előnyös lenne egy általános minősítő határértékeket megadni (jelenleg alkalmazott is általános) és nem

anyagfüggő módon kell kezelni (mint például az e-UT 06.03.13 - ÚT 2-1.202 ÚME eltakarás előtti teherbírási modulusokra adott anyagfüggő tájékoztató határértékeit).

Ezt a gondolkodásmódot indokolja továbbá az is, miszerint a beépített talaj idővel az optimális víztartalma közelébe és 100%-os tömörség közelébe kerül. Ha az előírt határértékeket úgy tekintjük, mint ennek elérését, akkor az optimálistól eltérő víztartalom és a nem kellő tömörség miatt logikusan csak ennek megfelelő teherbírást lehet elérni.

Nyilvánvalóvá vált, hogy amit mérünk, az egy adott víztartalmat, tömörséget tükröző érték, ezért korrigálni kellene ahhoz, hogy mértékadó eredményt kapjunk, amit a megadott teherbírási határértékhez hasonlíthatunk. Szükséges tehát annak elemzése, hogy a sűrűség hatása a dinamikus modulusra, illetve a dinamikus tömörségi fokra mekkora és milyen hatása van e tényezőnek, illetve, hogy a mért modulust módon korrigálhatjuk ahhoz, hogy azt az előírt (általános) határértékkel összehasonlíthassuk.

Talajtömeg számítása a víztartalma és tömörsége figyelembevételével

A visszapattanást előidéző impulzus nagysága attól függő, hogy a működésbe vont talajrész tömege mekkora. Ennek hatását legjobban egy példában tudjuk bemutatni négy választott anyagon. Két jelentősen eltérő sűrűségű a pernye és a kohósalakkó, illetve két kissé eltérő sűrűségű anyagot is vizsgáltunk, egy homokos iszapot (saSi) és egy finom homokot (Fsa). Ez utóbbit egyben bázisnak, viszonyítási alapnak választottuk (2. táblázat), mint jellemzően gyakran előforduló hazai altalajt.

Viszonyítási alapnak, bázisnak választott finom homok módosított Proctor vizsgálati sűrűsége $\rho_{pr} = 1,65g/cm^3$, melyet földmű építésben még *elfogadható töltésépítő anyagnak tekintünk*. Az optimális víztartalom ennél az anyagnál $w_{opt} = 7\%, \pm 3\%$ a beépítésre előírt intervallum. Nedves sűrűsége az optimális víztartalomnál $1,65 \cdot 1,07 = 1,77g/cm^3$, illetve az anyag sűrűsége 95% tömörségi állapotban $0,95 \cdot 1,65 \cdot 1,07 = 1,68g/cm^3$. Általánosságban a mérés időpontjában a mért talaj sűrűsége a (2) képlet szerint számítható.

Anyagtípus	r_{dmax}	$w_{opt}\%$	$w_{opt}\% - 3\%$	$w_{opt}\% + 3\%$
Pernye (fly-ash)	1,00	26	23	29
bázis = finom homok (Fsa)	1,65	7	4	10
Iszapos homok (siSa)	1,72	11	8	14
Kohósalakkó (slag)	1,92	6	3	9

2. táblázat
Vizsgált anyagok és jellemzőik

Hasonlóan képeztük a sűrűségeket a 3. táblázatban valamennyi anyagra, a három víztartalom és négy tömörségi kategória esetén. Az anyagok kiindulásul választott adatait a 2. táblázatban összesítettük.

Mivel a hatásmélység sűrűségtől függetlenül azonosnak vehető, a példánkban 25 cm-es hatásmélységnek megfelelő térfogatot választottunk ki. Kisebb tömörségnél ennek tömege kisebb, ezért a visszapattanás alacsonyabb, a mért süllyedési amplitúdó pedig nagyobb. Ha a bázisra vetített (mértékadó) értékre vagyunk kíváncsiak, akkor ennek hatását számítani és a mért értéket korrigálni szükséges. Ugyanez a logika vonatkozik a víztartalom hatásának számítására is.

Ha határértéket szabtuk a dinamikus modulusnak, akkor nem arra gondoltunk, hogy a víztartalom hatásától az függő lehet, vagy a tömörségtől kellene függővé tegyük. Ezzel azt is kimondtuk, hogy a határérték bizony más-más talajon nem ugyanazt a jellemzőt (és viselkedést) takarja.

T _{rd} (85-90-95) és w(opt, -3%, +3%) sűrűségek számítása											
T _{re} %=85			T _{re} %=90			T _{re} %=95			T _{re} %=100		
1,07	1,05	1,10	1,13	1,11	1,16	1,20	1,17	1,23	1,26	1,23	1,29

1,50	1,46	1,54	1,59	1,54	1,63	1,68	1,63	1,72	1,77	1,72	1,82
1,62	1,58	1,67	1,72	1,67	1,76	1,81	1,76	1,86	1,91	1,86	1,96
1,73	1,68	1,78	1,83	1,78	1,88	1,93	1,88	1,99	2,04	1,98	2,09
w _{opt} %	-3%	+3%	w _{opt} %	-3%	+3%	w _{opt} %	-3%	+3%	w _{opt} %	-3%	+3%
Sűrűségarányok											
T _{rE} %=85			T _{rE} %=90			T _{rE} %=95			T _{rE} %=100		
0,61	0,59	0,62	0,64	0,63	0,66	0,68	0,66	0,69	0,71	0,70	0,73
0,85	0,83	0,87	0,90	0,87	0,93	0,95	0,92	0,98	1,00	0,97	1,03
0,92	0,89	0,94	0,97	0,95	1,00	1,03	1,00	1,06	1,08	1,05	1,11
0,98	0,95	1,01	1,04	1,01	1,07	1,10	1,06	1,13	1,15	1,12	1,19
w _{opt} %	-3%	+3%	w _{opt} %	-3%	+3%	w _{opt} %	-3%	+3%	w _{opt} %	-3%	+3%
korrekciós tényező (Ed minősítő=Ed mért*korrekciós tényező)											
1,65	1,69	1,61	1,56	1,59	1,52	1,47	1,51	1,44	1,40	1,44	1,37
1,18	1,21	1,14	1,11	1,14	1,08	1,05	1,08	1,02	1,00	1,03	0,97
1,09	1,12	1,06	1,03	1,06	1,00	0,97	1,00	0,95	0,92	0,95	0,90
1,02	1,05	0,99	0,96	0,99	0,94	0,91	0,94	0,89	0,87	0,89	0,84
w _{opt} %	-3%	+3%	w _{opt} %	-3%	+3%	w _{opt} %	-3%	+3%	w _{opt} %	-3%	+3%

3. táblázat

Választott anyagok és jellemzőik az anyagtípusok sorrendjében

Egy bázisnak tekintett és ehhez képest más sűrűségű talaj (anyag) tömegarányát elemezve megállapítható:

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{V_1 \cdot \rho_1}{V_2 \cdot \rho_2}$$

mivel

$$V_1 = V_2$$

azonos ezért

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

azaz a hatásmélységtől független a megállapításunk. Ugyanez a logikája a víztartalom változásának is:

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{V_1 \cdot \rho_1 (1 + w_1)}{V_2 \cdot \rho_2 (1 + w_2)}$$

azaz

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{\rho_1 (1 + w_1)}{\rho_2 (1 + w_2)}$$

azaz a térfogat kiesik az aránypárból.

A sűrűségi és víztartalmi korrekció fentiekből:

$$\varsigma = \frac{\rho_1 (1 + w_1)}{\rho_2 (1 + w_2)} \quad (3)$$

3. Dinamikus modulus korrekciója, minősítő dinamikus modulus

A dinamikus modulus számítása (1) az (s) süllyedési amplitúdó mérése alapján történik. Ha a mért anyag sűrűsége változik, akkor a süllyedési amplitúdó is, azaz a dinamikus modulus is. A dinamikus modulus tehát a sűrűséggel arányos, ami azonban függ a talaj tömörségétől és a víztartalmától.

Az alkalmassági vizsgálatból ismerjük a talaj legnagyobb száraz Proctor sűrűségét és az optimális víztartalmát. Tudjuk továbbá a beépítésre, a víztartalomra előírt tűrést. A víztartalmat a helyszínen minden tömörségmérésnél mérni kell, így ezek az adatok rendelkezésre állnak. Ahol a CWA15846 szerinti SP-LFWD műszerrel mérjük a dinamikus teherbírást, ott mindig rendelkezésre állhat tömörségi adat is. A B&C berendezésnél minden dinamikus tömörségméréskor van mért adat a dinamikus teherbírással is, mivel egy mérésorozatban mérjük a tömörséggel. 10 db (max 18) ejtésből számítjuk a tömörségi fokot, a 4-5-6 süllyedési amplitúdó átlagából a dinamikus modulus.

A 3. táblázatban számított korrekciós tényezőket alkalmazva bemutatjuk, hogy $E_d=40\text{MPa}$ mérési eredmény a tömörség miatti, víztartalom miatti korrekciók után a következőképpen jellemezhető (4. táblázat), a vizsgált tárgyat képező anyagokra (a sorok sorrendben pernye, finom homok, iszapos homok és kohósalak).

Ed min minősítő, mértékadó érték: Ed mért = 40MPa* korrekciós tényező												Anyag
65.9	67.5	64.4	62.3	63.8	60.8	59.0	60.4	57.6	56.0	57.4	54.7	Pernye
47.1	48.4	45.8	44.4	45.7	43.2	42.1	43.3	41.0	40.0	41.2	38.9	H,Bázis
43.5	44.7	42.4	41.1	42.2	40.0	38.9	40.0	37.9	37.0	38.0	36.0	I-HL-H
40.8	42.0	39.7	38.6	39.7	37.5	36.5	37.6	35.5	34.7	35.7	33.7	K
w_o	-3%	+3%	$w_{opt}\%$	-3%	+3%	$w_{opt}\%$	-3%	+3%	$w_{opt}\%$	-3%	+3%	$w\%$
TrE%=85			TrE%=90			TrE%=95			TrE%=100			TrE%

4. táblázat

Vizsgált anyagok mértékadó minősítő modulusa $E_d=40\text{MPa}$ bázis esetén

A mért értékből számítottuk a százalékos arányokat is. Ezt úgy adjuk meg, mint jellemző terjedelmet a jelenleg vizsgált esetekre (mely a szélsőséges és a nem szélsőséges sűrűségi eltérésű anyagokra egyformán érvényes), az 5. táblázatban.

Mind a négy vizsgált anyagra	Átlag	100%
	Min	74%
	Max	148%
	Szórás	21%
Bázis és iszapos homokra	Átlag	100%
	Min	86%
	Max	116%
	Szórás	8%

5. táblázat

A vizsgált anyagok szélső értékeinek jellemző, százalékos eltérése

A dinamikus modulusra vonatkozó elemzésünk összefoglalásaként rögzíthető, hogy a vizsgált szélsőséges sűrűségű (de az építési gyakorlatban előforduló) anyagokat vizsgálva a dinamikus modulus sűrűség-korrekciós tényezője jelentősen megváltoztatja a modulus értékét, a korrekciós tényező terjedelme jelentős 1,69 és 0,84 közötti (!). Még kisebb sűrűségi eltérés és megengedett víztartalom tartomány mellett sem hanyagolható el a

korrekció, mely -14%, +16% százalékos eltérést mutat a 85-100 % tömörségi tartományban, tehát az általános mérési esetekben. Fentiek alapján minden mért dinamikus modulust minden esetben korrigálni kellene ahhoz, hogy azt a határértékhez viszonyítsuk, mert az eltérés jelentős lehet. Korrekciója általánosan:

$$\varsigma_E = \frac{\rho_1(1 + w_1)}{\rho_2(1 + w_2)} \cdot \frac{100}{T_{rE}\%} \quad (4)$$

Ha a dinamikus teherbírást pontosan kívánjuk meghatározni (pláne például összefüggést vizsgálni a statikus teherbírással E_2 értékével), akkor korrekció nélkül a következtetések, összefüggések nem tekinthetők elfogadhatónak. Megállapításaink értelemszerűen adaptálhatók valamennyi dinamikus mérőeszközre, mint az FWD típusú (KUAB, Dynatest) mérőeszközökre. Ezek korrekciójával (a minősítő dinamikus modulus fogalmának bevezetésével) jelentős előrelépés tehető az összefüggések újvizsgálásával.

Kijelenthető tehát, hogy a dinamikus modulus pontos értéke csak a sűrűség (tömörségi fok, a víztartalom és a legnagyobb száraz Proctor sűrűség) **ismeretében határozható meg.**

4. A dinamikus tömörségi fok korrekciója

Az előző gondolatmenet alapján a mért süllyedési amplitúdót is lehet korrigálni, a víztartalom és sűrűség értékeinek változása miatt. Mivel azonban a dinamikus tömörségi fok számítása során a süllyedési amplitúdók különbségét (a maradé alakváltozást) vesszük figyelembe, a hatása is más. A víztartalom eltérése miatti korrekció tekintetében is más a helyzet, mivel a w_{opt} környezetében a T_{rw} értéke $\left(\frac{\rho_{di}}{\rho_{ámas}}$) alig változik. A választott anyagokra elvégeztük a $T_{rE}\%$ helyszíni relatív dinamikus tömörségi fokra vonatkozó elemzést, melyet a 6. táblázatban mutatunk be. Megállapítható, hogy a korrekciós szorzó kiemelhető a deformációs együttható képletből a D_m elé.

$$T_{rE}\% = 100 - \phi \cdot \varsigma \cdot D_m \quad (5)$$

és

$$T_{rd}\% \cdot T_{rw}$$

ahol

$$D_m = \left[\sum_{i=1}^{i=17} d_i \cdot \sum_1^i SUM \Delta s \right] \cdot \frac{1}{17}$$

A választott anyagokból egy-egy adatsort választottunk a vizsgálat tárgyául, melynél megvizsgáltuk, hogy a víztartalom és sűrűség hatásait figyelembe vevő korrekciós együttható (3-as képlet) egy választott $\zeta=0,85-0,9-0,95-1,0-1,05-1,1-1,15$ aránsoránál a számított helyszíni relatív tömörségi fok ($T_{rE}\%$) hogyan változik.

$\zeta=$	TrE%	56. mérés	62. mérés	$\zeta=$	eltérés	56. mérés	62. mérés
0.85	95.8	92.0	90.3	-0.15	0.70	1.40	1.70
0.90	95.6	91.6	89.7	-0.10	0.50	1.00	1.10
0.95	95.3	91.1	89.2	-0.05	0.20	0.50	0.60
1.00	95.1	90.6	88.6	0.00	0.00	0.00	0.00
1.05	94.8	90.2	88.0	0.05	-0.30	-0.40	-0.60
1.10	94.6	89.7	87.4	0.10	-0.50	-0.90	-1.20
1.15	94.3	89.2	86.9	0.15	-0.80	-1.40	-1.70

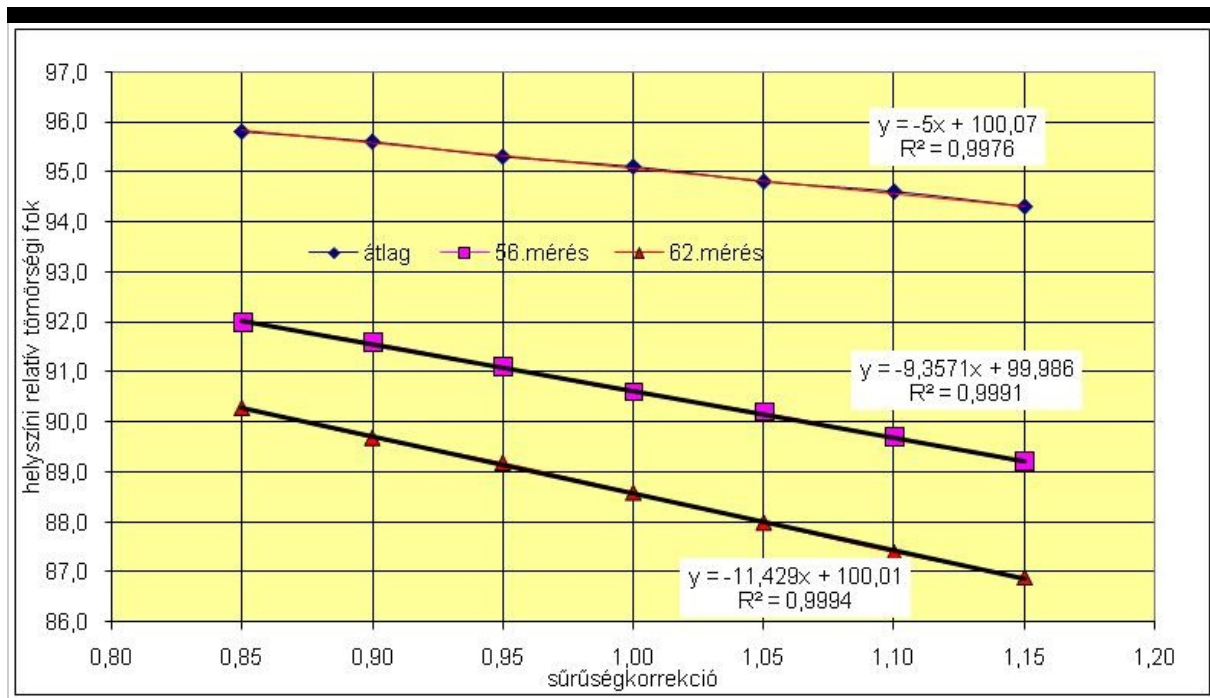
6. táblázat

$T_{rE}\%$ érzékenysége a sűrűségi korrekciókra

A 6. táblázat bemutatja a B&C berendezéssel 10-18 ejtéssel 25 mérési adatsor elaszticitás vizsgálatát. Az eredményeket úgy dolgoztuk fel, hogy a süllyedési amplitúdóknál a sűrűségkorrekciót is figyelembe vettük, a helyszíni relatív tömörségi fokot újra számítottuk, eltérését meghatároztuk. Minden korrekcióra számítottuk a 25 mérés helyszíni relatív tömörség fok értékeinek átlagát, illetve kiemeltük a 56.-os és 62.-es jelzésű mérést, melynél a helyszíni relatív tömörségi fok a legalacsonyabbra adódott, ezért a legérzékenyebb. Például a 25 mérés $T_{rE}\%$ átlaga 95,1 %-ról 95,8 %-ra változik a 0,85 sűrűségkorrekciós tényezőnél. Mivel a tömörségi fokot egész számra kell kerekíteni **megállapítható, hogy a dinamikus tömörségi foknál tapasztalt eltérés a hagyományos anyagoknál a sűrűségkorrekció miatt legföljebb 1 % körüli, azaz nem jelentős.** Az 1. ábra mutatja a sűrűségkorrekció hatását az átlagos, valamint 56. és 62. kiemelt mérések helyszíni relatív tömörségi fokára.

Ezek lineárisak, meredekségük változó és az összefüggésük a következő:

- 25 mérés átlaga $T_{rE}\% = -5 \zeta + 100$
- a kiemelt 56. mérésnél $T_{rE}\% = -9,4 \zeta + 100$
- a kiemelt 62. mérésnél $T_{rE}\% = -11,4 \zeta + 100$



1. ábra

A $T_{rE}\%$ relatív dinamikus tömörségi fok függése a sűrűségkorrekciótól

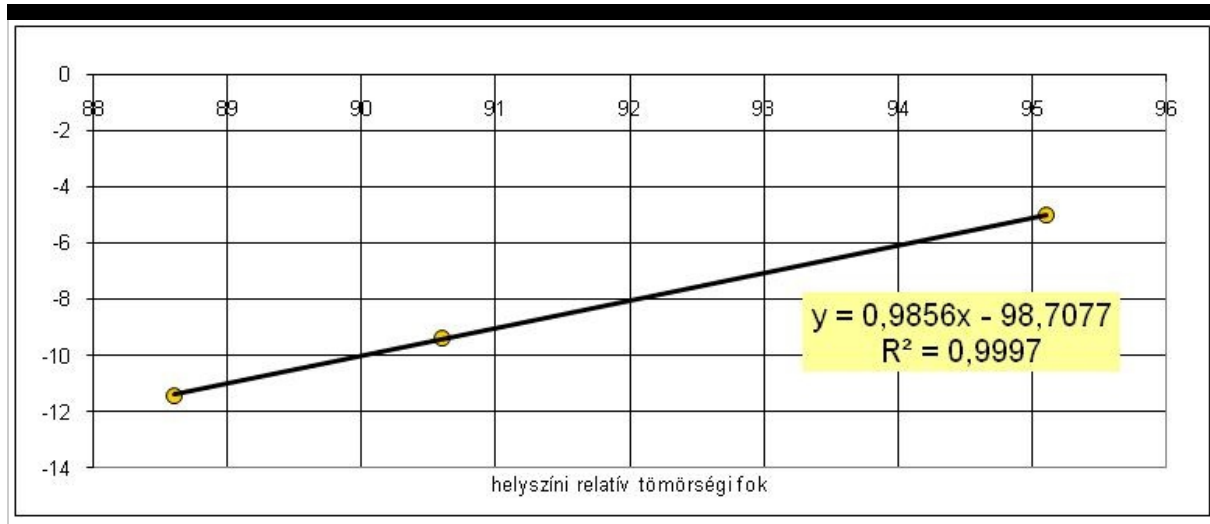
A mért helyszíni relatív tömörségi fok és a sűrűségkorrekció közötti összefüggés a meredeksége (m) tehát függ a relatív tömörségi foktól is (mely meghatározható). Az (m) meredekség és a helyszíni relatív tömörségi fok közötti összefüggést megvizsgálva (2. ábra) a következőt kaptuk:

$$m = 0,986 \cdot Tr_{E\%} - 98,7 \quad (R^2 = 1,0) \quad (6)$$

Fentiek szerint a sűrűség hatása hagyományos anyagoknál a relatív tömörségi fokra igen kis mértékű, de nagy pontossági igény esetén számítható. Jelentősége igazán a **pernye** anyagok építőipari alkalmazásánál van, mert sűrűsége igen alacsony.

Példaként bemutatjuk a H-TPA laboratórium által mért dinamikus tömörség- és teherbírás mérési eredményt az M35 autópálya 21+875 kmsz pernyetöltésén. A mért értékek $E_d=18,9\text{MPa}$, $T_{rE}\%=91,7\%$, $w_t=38,3\%$ voltak. A nedves sűrűség $1,26\text{ g/cm}^3$, Proctor $\rho_{dmax}=0,91\text{ g/cm}^3$ és $w_{opt}=26\%$, $T_{rw}=0,985$. Megjegyzés: statikus

teherbírás $E_2=37$ MPa, $T_r=1,6$ és kiszúró hengeres tömörségi fok $T_{rp}=98,3$ % volt.



2. ábra

Az összefüggés meredekségének függése a T_{re} %-tól

Számítások

- sűrűségkorrekció 3-as képlettel $\zeta = (0,91 \times 1,26)/(1,65 \times 1,07) = 1,147/1,766 = 0,649$

- minősítő dinamikus tömörségi fok számítása:

$$m = (T_{re}\% \times 0,986) - 98,7 = -8,3 \rightarrow T_{re}\% \text{ minősítő} = -8,3 \times 0,649 + 100 = \mathbf{94,6\%}$$

$$T_{rw} = 0,985 \rightarrow T_{rd}\% \text{ minősítő} = T_{rw} \times T_{re}\% = 0,985 \times 94,6 = \mathbf{93,2\%} > 90\%$$

- minősítő dinamikus modulus

$$E_d \text{ minősítő} = E_d \times (1/\zeta) \times (100/T_{rd}\%)$$

$$E_d \text{ minősítő} = 18,9 \times (1/0,649) \times (100/93,2) = 18,9 \times 1,54 \times 1,07 = \mathbf{31,1 \text{ MPa} < 40 \text{ MPa}}$$

Mint látható, a sűrűségeltérések dinamikus tömörségi fokra gyakorolt hatása az impulzus-vizsgálat szerint kevésbé releváns, mint a teherbírásnál. A sűrűségnek tehát az általánosan használt anyagoknál nincs jelentős hatása a dinamikus tömörségi fokra. Ezt egyébként már tapasztaltuk a Proctor-vizsgálatok elemzésekor, amikor a Φ értékét vizsgáltuk, mind elméleti mind gyakorlati vonatkozásban. Pernye vizsgálata esetén azonban a mért helyszíni relatív tömörségi fokot korrigálni kell, mert egyedül ennek hatása lehet olyan jelentős, hogy a biztonság javára már nem elhanyagolható.

5. Összefoglalás

A nagyárcsás LFW berendezéssel a mért dinamikus modulusokra jellemzően nincs előírás a szabványban [6, 7, 8] a párhuzamos eredmények meghatározására, átlagképzésre, az eredmény egyetlen vizsgálat, ettől pedig az eredmény különösen érzékeny. A B&C SP-LFWD mérés ÚT2-2.124, MSZ15846 illetve CWA 15846 a mértékadó dinamikus modulus képzésére előírja, hogy egy méteren belül két mérést kell végezni, illetve azt átlagolni, ezért pontosabb eredményt ad [1, 2,5].

Minden dinamikus mérés az impulzus-törvényt használja fel arra, hogy a földmű felszínén terhelést hozzon létre. Ennek kapcsolatai, tömegei ismertek. Jelen tanulmány azt tűzte ki célul, hogy ezen kapcsolatok végigtekintésével, elemzésével tegyen megállapításokat a talaj sűrűségeltéréseinek következményeire, esetleges összefüggéseit feltárva. Szükségesnek láttuk annak elemzését, hogy a különböző sűrűségű anyagok illetve azonos anyagnál talajállapotok (víztartalom, tömörség) esetén, de különösen a szélsőséges esetekben mért dinamikus modulusnál milyen hatás, milyen kapcsolat mutatható ki, korrekció alkalmazása szükséges-e, illetve lehetséges-e. Különösen fontos megemlíteni e problémakörben a kohósalakot, salakkövet, pernyét, pernyés stabilizációt, meszes stabilizációt, melyek mint másodnyersanyagok (újrafelhasználás, inert anyagok), illetve mint stabilizálási technológiák melyek sűrűségük, vagy anyaguk miatt nehezen, vagy egyáltalán nem mérhető izotópos berendezéssel, emiatt igen nehezen, vagy egyáltalán nem minősíthetők a hagyományos

tömörségmérési módszerekkel.

E tanulmány kimutatta, hogy **dinamikus modulus meghatározásánál a sűrűség, víztartalom és tömörségi fok pontos ismerete nélkül nem lehet mértékadó minősítő eredményt szolgáltatni**. Ha a dinamikus teherbírást pontosan kívánjuk meghatározni, netán összefüggését vizsgálni a statikus teherbírást E2 értékével, akkor ezek nélkül a korrekciók nélkül a következtetések, összefüggések nem tekinthetők megbízhatónak. Ezek a korrekciók annál durvábbak, minél nagyobb a választott bázistól való eltérés. A dinamikus modulusok számításakor a korrekciót minden esetben figyelembe kellene venni. Csak emiatt a mért értékek akár 10-20%-kal is eltérhetnek a mértékadó minősítő értéktől, nem beszélve arról, hogy egységes követelményünk van a teherbírási határértékre, nem pedig anyagonkénti.

Megállapításaink értelemszerűen adaptálhatók valamennyi dinamikus mérőeszköze, mint a nagytárcsás LFWD és az FWD (KUAB, Dynatest) mérőeszközökre. Ezek korrekciójával jelentős előrelépés tehető az összefüggések újvizsgálásával.

Azok a törekvések, melyek a minősítéseket a dinamikus teherbírást mérésével, a tömörség meghatározása nélkül kívánják megoldani, ezzel az elmélettel nem támaszthatók alá: szükség van a tömörségi fok ismeretére ahhoz, hogy a mért dinamikus modulus a mértékadó minősítő modulusra átszámítani lehessen.

A tanulmány igazolta, hogy valóban elegendő egy dinamikus teherbírási határérték megszabása az előírásokban, tenderekben, nem kellene anyagtípusonként külön szabályozni ezeket, ha a mért értékeket mértékadó minősítő értékre korrigáljuk.

Kijelenthető, hogy a dinamikus teherbírást pontos értéke nem határozható meg a tömörségi fok, a víztartalom és a sűrűség pontos ismerete nélkül.

B&C berendezés alkalmazásánál igen egyszerű a tömörségi és a víztartalmi eltérések miatti korrekció, mert valamennyi ehhez szükséges adat inputként szerepel, számítható. Ismert az anyag, a Proctor legnagyobb száraz sűrűség, az optimális és mért víztartalom, valamint a tömörségi fok. **Egyértelműen előnyös és javasolt a jelenlegi vizsgálatok alapján a B&C berendezés szélesebb körű alkalmazása és használata, különösen frekvenciált, magas minőségi követelményű helyeken.**

A mért dinamikus modulus korrekcióját a D=300mm tárcsaméretű, úgynevezett nagytárcsás BP-LFWD berendezéseknél is alkalmazni szükséges. Korrekció nélkül ugyanis nem alkalmasak az egyedi eredmények megfelelő pontosságú mértékadó, minősítő eredmény előállítására. Több mérésből képzett mértékadó eredmény szabványosítása (mint a B&C esetén) sem oldja meg a korrekció problémáját, attól nem lehet eltekinteni, ezért a sűrűség-korrekciót az új mérési szabvány alkalmazza [1].

Bebizonyosodott, hogy a B&C SP-LFWD berendezés használata előnyös akkor is, ha tömörséget nem kell meghatározni, csak teherbírást. A tanulmány felveti annak szükségességét, hogy minden esetben mérjünk a dinamikus modulus mellé tömörséget. Ez a B&C berendezéssel gyakorlatilag 6 helyett 10 ejtést jelent, azaz minden feltétel nélkül könnyen megoldható.

A tanulmány kimutatta, hogy helyszíni relatív dinamikus tömörségi fok T_{re} % tekintetében általában (pernye kivételével) nem kell korrekció, mert a sűrűségi eltérések hatása a dinamikus tömörség-mérési eredményekre minimális. A hatás jelentéktelen amiatt, hogy a számítás csak a süllyedési amplitúdók különbségét, a maradé alakváltozást veszi figyelembe.

Az építőmérnöki geotechnika nem nélkülözheti sem a teherbírást, sem a tömörség ismeretét, egymásra való hatásuk ellenére. A teherbírást vonatkozó határérték teljesülése ellenére történhet utántömörödés, süllyedés, illetve jelen tanulmánnyal igazoltan valóban megtörténhet, hogy a mérési eredmény látszólagosan kielégíti a teherbírást határértéket, valójában azonban nem megfelelő. Ehhez a szükséges korrekció elvégezhető jelen tanulmány alapján és a **mértékadó minősítő eredmény** megbízhatóan számítható. Ennek kell elérni az előírt teherbírást határértéket.

A minőség-ellenőrzés, minőségtanúsítás ma már nem nélkülözheti a kellően pontos méréseket. A megfelelőség ellenére hibásnak minősített munka (felesleges javítási költsége miatt) éppúgy kerülendő, mint a jónak minősített, de valójában nem megfelelő minőség. Az előírást nem kielégítő földmunka meghibásodáshoz vezet, mely mindig és jól láthatóan megbosszulja magát. A nem megfelelő alapok utólagos javítása igen nehéz, nyugodtan mondhatjuk, egy rémálom. Autópályáinkon sajnos gyakran látjuk viszont a deformációt, süllyedést, a minősítő mérések „megfelelősége” ellenére.

A B&C berendezés és elméletének folyamatos fejlesztése lehetővé teszi a korrekt minőségtanúsítást, megelőzve a viszonyítási sűrűségeen alapuló tömörségi fok körüli vitákat és tisztázza a valóban lehetséges eltérések okát. Mivel a jelenlegi műszaki elemzés is kimondottan előnyös tulajdonságokat mutat a B&C berendezés javára, ezért annak széleskörű alkalmazását ajánljuk.

6. Irodalomjegyzék

- [1] CWA 15 846:2008 Measuring Method for Dynamic Compactness & Bearing Capacity with SP-LFWD
- [2] MSZ 15843:2015 Dinamikus tömörség-és teherbírás mérés SP-LFWD berendezéssel (Measuring Method for Dynamic Compactness & Bearing Capacity with SP-LFWD)
- [3] MSZ 15320 Földművek tömörségének meghatározása radioizotópos 46 módszerrel (Determination of the compactness of earthworks by radioisotopic method)
- [4] MSZ EN 13286-2 Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú keverékek 2. Vizsgálati módszerek a laboratóriumi viszonyítási térfogatsűrűség és víztartalom meghatározására. Proctor-tömörítés. (Mixtures without binding material and with hydraulic binding material 2. Test methods for the determination of the laboratory reference volume density and water content. Proctor-compaction)
- [5] e-UT09.02.35, ÚT 2-2.124 Dinamikus tömörség és teherbírás mérés kistárcsás könnyűejtősúlyos berendezéssel (Dynamic compactness and bearing capacity measurement with small-plate light falling deflectometer)
- [6] e-UT09.02.32, ÚT 2-2.119 Teherbírásmérés könnyűejtősúlyos berendezéssel /Measuring of Bearing Capacity with Light Falling Weight Deflectometer.
- [7] TP BF-StB Part 8.3 Dynamic Plate-load Testing with Aid of the Light Drop-weight Tester./ Dinamikus tárcsás teherbírás mérés, könnyű ejtősúlyos mérőberendezés alkalmazásával
- [8] ASTM E2835-11 Standard Test Method for Measuring Deflections using a Portable Impulse Plate Load Test Device./ Standard mérési eljárás behajlás mérésére hordozható dinamikus tárcsás mérőberendezéssel
- [9] Brandl, H. and Adam, D. (2004) Basics and Application of the Dynamic Load Plate Test in Form of the Light Falling Weight Device. A.W. Skempton Memorial Conference. Proc. of Imperial College, London.
- [10] Dr Boromisza Tibor: Talajmechanika, Alapozás I Szakközépiskolai Tankönyv
- [11] Dr Boromisza Tibor, Bertz Gyula Ébényi Miklós: Építőanyagok. TK 1974 Az építőipari, az út- és vasútépítési, a vízügyi szakközépiskolák számára
- [12] Subert (2015): CWA15846:2008 Modification Draft and Main Background Studies. Engineering Geology – Rock Mechanics 2015 Congress. BMGE Hungary. p.:379-394
- [13] Subert (2015): Önellenőrzés - Stabilizációk tömörség és teherbírás mérése / Self control - Compaction-rate & Bearing Capacity Measuring on Stabilizations. Kézdi Á Konferencia Budapest 2015
- [14] 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
- [15] Subert I: ER-TRG01 Ellenőrzési rendszer próbatömörítések végrehajtására és értékelésére az M7 Zamárdi–Balatonszárszó szakszán. (Control system for the implementation and the evaluation of test compactness on the road section of M7 between Zamárdi and Balatonszárszó/ Mérnöki Eljárési Utasítás. p.10)
- [16] Subert at al: Az izotópos és dinamikus tömörségi fok szórás-analízise (Analysis of Standard deviation of the isotopic and the dynamic compactness rate)
- [17] Subert at al: Proctor-vizsgálatok új értelmezési lehetőségei. (Options for new interpretations of Proctor-tests) Mélyépítéstudományi Szemle, 2007.
- [18] Subert: Method for measuring Compactness-rate with New Dynamic LFWD. XIII. Danube-European Conference on Geotechnical Engineering Ljubljana, Slovenia, 2006
- [19] Subert I.: „Dinamikus tömörségmérés a hazai autópályákon és városi helyreállításokon” (Dynamic compactness measurement on Hungarian highways and urban reconstructions) Geotechnika Konferencia 2006 Ráckeve. (2006. október 17-18.)
- [20] Fáy M., Király Á., Subert I.: Közúti forgalom igénybevitelének modellezése új, dinamikus tömörség- és teherbírásméréssel. (Modelling of the straining of public road traffic by the new, dynamic compactness and bearing capacity measurement) Városi Közlekedés 2006
- [21] Fáy M., Király Á., Subert I.: Egy földmű-tömörségi anomália feltárása és megoldása. (Presentation and solution of an anomaly of earthwork density) Mélyépítéstudományi Szemle 2006
- [22] Subert I.: „Dinamikus tömörségmérés aktuális kérdései. A dinamikus tömörség mérés újabb tapasztalatai” (Recent issues of dynamic compactness measurement. New experiences of the dynamic compactness measurement) Geotechnika Konferencia 2005 Ráckeve. (2005. október 18–20.)
- [23] Subert I.: „Új, környezetkímélő, gazdaságos mérőeszközök a közlekedésépítésben” /New, environmental-friendly, economical measuring instruments in traffic building/ Geotechnika Konferencia 2004 Ráckeve. (2004. október 26–27.)

- [24] Subert I.: „A dinamikus tömörség- és teherbírásmérés újabb paramétereit és a modulusok átszámíthatósági kérdéseit” (Recent parameters of dynamic compactness and bearing capacity measurement and recalculation issues of modulus) Közúti és Mélyépítési Szemle, 55. évf. 2005. 1. sz. (5 oldal)
- [25] Subert I.: „B&C dinamikus tömörségmérés” (B&C dynamic compactness measurement) Mélyépítés 2004 október–december (p. 38–39)
- [26] Z.Tompai: Laboratory evaluation of B&C small-plate light falling weight deflectometer. Periodica polytechnica, Civil Engineering 52/2 (2008) 103-107. p.:103-107
- e-UT 06.02.11 (ÚT 2-1.222) Utak és Autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai.
- e-UT 06.03.52 (ÚT 2-3.207) Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei.
- e-UT 06.03.23 (ÚT 2-3.307) Kohósalakaszfalt útpályaalapok és burkolatok 11.
- e-UT 05.02.41 (ÚT2- 3.603) Pernye alkalmazása útépitési kötőanyagként

Adatok

Megjelent itt

7. szám

Szerző

Subert István

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

Témakörök

Földművek • Kiemelt • Útépités

Kulcsszavak

B&C • CWA15846 • dinamikus teherbírás mérés • dinamikus tömörségmérés • korrekciós tényező • sűrűség hatásának vizsgálata

Befogadva

2016. március 31.

Hozzászólás

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

[Bejegyzések](#)

[Galéria](#)

[Impresszum](#)

[Interjúk](#)

[Könyvajánló](#)

[Nemzetközi szemle](#)

[Szakolvasó](#)

[Témakörök](#)

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

