Útügyi lapok 11

Cikk

A közlekedési felületek és a légköri csapadék

Szerző(k) **Dr. habil. Gáspár László**

Kivonat

A cikk áttekinti a légköri csapadéknak, tágabban értelmezve, a víznek a közutakra gyakorolt komplex hatását. A hatékony víztelenítés jelentőségét hangsúlyozva, a burkolatlan és a burkolt utak esetében, főleg a következő károsító hatásokkal foglalkozik: a talaj teherbírás-csökkenése, a pálya-szerkezeti rétegek repedezése, a pálya csúszásellenállásának csökkenése. Az éghajlatváltozás ezeket a kockázatokat növeli.

1. Bevezetés

Németh Endre professzor szerint „a mérnök legnagyobb barátja és ellensége a víz”. Ez a vitat-hatatlan megállapítás a víz szerepét a mérnöki (ebben az esetben

elsősorban az építőmérnöki) létesítmények szempontjából értékeli. Arra utal, hogy a létesítmények egyes elemei csak meghatározott tartományba eső víztartalom mellett képesek elvárt teljesítményüket kifejteni; ugyanakkor pedig a szóban forgó létesítményeket túlzott mennyiségben (ellenőrizhetetlen formában) érő víztömegek nagyon súlyos károkat okoz(hat)nak [Gáspár, 2003]. Rendkívüli mértékben felértékelődik ezen a területen a tervezők és az üzemeltetők szerepe. A következőkben az útügy példáján szemléltetjük a légköri csapadék hasznosítása során jelentkező fő kihívásokat és a felmerült problémák megoldása érdekében hozott erőfeszítéseket.

A hazai utak egy része a 31.936 km-nyi országos közúthálózat (ebből 1884,6 km a gyorsforgalmi utak, a csomóponti ágakkal együtt) [Országos, 2016], másik része a megközelítőleg 174.599 km-es összes hosszúságú önkormányzati (helyi) közúthálózat elemét képezi [http], emellett a mező- és az erdőgazdasági kezelésű, ún. magán utaknak a hosszúsága közel 53.000 km-nyit tesz ki. Az országos közutak gyakorlatilag minden szakasza burkolt (szilárd burkolattal ellátott), ugyan-akkor a helyi hálózat 74%-a [http], míg a magánutaknak több mint 75%-a nem rendelkezik burkolattal [Országos, 2014]. A csapadékkal történő „gazdálkodás” egyes, utakra vonatkozó kérdéseinek összefoglalása után a burkolatlan és a burkolt utak ez irányú jellegzetességeit tekintem át.

2. A légköri csapadék és az utak

Az utakat építésének elsődleges célja, hogy személyek és áruk biztonságos, kényelmes és gaz-daságos mozgatásához infrastrukturális feltételeket teremtsenek. Ezt a célkitűzést különböző külső körülmények akadályozhatják (hátráltathatják), ezek közé tartozik a túlzott mennyiségű víztömeg is. Ez a kockázatokat magában rejtő vízmennyiség vagy a légköri csapadék valamilyen alakja (víz, hó, jég), vagy pedig az azokból közvetett módon kialakuló magas talajvízszint, árvíz vagy belvíz formájában fenyeget.

A légköri csapadék – akár víz, akár pedig hó alakjában jelentkezik – az útburkolat felületén összegyűlhet (felhalmozódhat), a burkolat repedésein vagy hézagain (a betonburkolat esetében) keresztül a pályaszerkezet belsejébe, sőt az alatta levő földmű talajába is beszivároghatnak, ott különböző tartóssági károkat okozva. A földművet a kapilláris úton feljutó talajvíz is elnedvesít-heti [Mallick et al., 2009]. Az említett jelenségekből az út pályaszerkezetére, valamint a földmű anyagára gyakorolt, kedvezőtlen fizikai, ritkán kémiai hatás ellen a pálya hatékony vízelvezetésével és az út egyes részeinek állékonyságát biztosító berendezésekkel, eljárásokkal lehet védekezni. A víz elvezetésére – a tulajdonosi és a gazdálkodási szempontok messzemenő figyelembevétele mellett – már a vonalvezetés kijelölésekor gondolni kell. Az út olyan nyomvonalának kijelölésére kell törekedni, amely a vízjárás szempontjából kedvező. Több nyomvonal-változat közüli optimális

választást a talajmechanikai szakvélemény adatai megkönnyítik. A jó víztelenítés az útpálya (burkolatfelület) és az árokrendszer kedvező magassági vonalvezetésével is megalapozható.

Új út létesítése, nyilvánvalóan, környezetére is jelentős hatást gyakorol. Így a lefolyási viszonyokat megváltoztatja. A burkolt út felülete a víz számára nehezen vagy egyáltalán nem átjár-ható. De még a tömörödött földutak felülete is kevesebb vizet enged beszivárogni, mint a természetes talajfelszín. Ezért a felszínre érkező víz egy része lefolyik Az úthoz kapcsolódóan szakszerűen megépített víztelenítési rendszer (padka, vízelvezető árkok, átereszek, surrantók, stb.) képes a környezeti károk érdemleges csökkentésére. A bevágások a felszín alatti vizek áramlását megzavarhatják [Kisfaludy, 2014].

3. Burkolt utak

A nagyobb gépjármű-forgalom – elsősorban közlekedésbiztonsági és utazáskényelmi okok miatt – az utak szilárd (jellemzően aszfalt vagy beton anyagú) burkolattal való ellátását indokolttá teszi, sőt ilyenkor általában több rétegből álló útpályaszerkezetek épülnek. Ezek a szer-kezetek pedig – a burkolatlan utak esetéhez képest – a légköri csapadék egyes formáinak kezelésével kapcsolatosan a tervezőket és a kezelőket, a korábbiaknál említettekhez képest, más feladatok elé állítják.
A burkolt utakon az általában vegyes – gyors és lassú gépjárművekből, de gyakran még lassabb és védtelen, nem motorizált járművekből álló – forgalom résztvevői különböző biztonsági kockázatoknak vannak kitéve, amelyeket a víznek az útpályán való nem kívánatos formában és/vagy mennyiségben való jelenléte csak súlyosbít [Gáspár et al., 2011]. A szabályozatlan vizek emellett az úton közlekedők számára kényelmi és pénzügyi – többlet gépjármű-üzemeltetési költséggel és időveszteségi költséggel járó – hátrányokat is okoznak. Az útburkolat felületén folyékony vagy szilárd halmazállapotban jelentkező vízzel kapcsolatos manipulációk igénye, nyilvánvalóan, az útkezelői feladatokat és költségeket is megnöveli.

A szilárd, valamilyen kötőanyag (jellemzően bitumen vagy cement) alkalmazásával készült burkolatnak, de rendszerint az alatta levő út-pályaszerkezeti rétegeknek is egyik fő feladatát a szerkezet alatti földmű talajának csapadékvíz általi, káros mértékű elnedvesedésének meg-akadályozása képezi. (A szóba jövő talajfajták legtöbbje megemelkedett – az optimális értéket jelentősen meghaladó – nedvességtartalom mellett eredeti szilárdságának jelentős részét elveszti, és így a rajta készített pályaszerkezet alátámasztására többé már nem alkalmas, a burkolat forgalmi terhelés alatti gyors tönkremeneteléhez vezetve). Az út tudatos és gondos tervezése, építése, majd fenntartása és üzemeltetése ezért, egyebek mellett, a szerkezet egészének teherbírásvesztését és ezzel élettartamának lerövidülését törekszik elkerülni. A következőkben felsoroljuk az ezzel a tárgykörrel összefüggő legfontosabb teendőket:

• az új út tervezője a nyomvonalba eső talajfajták geotechnikai jellemzőinek (szemeloszlás, természetes nedvességtartalom, optimális víztartalom, állapothatárok, szerves anyag tartalom stb.) részletes megismerése tekintetében, és abban a vonatkozásban is kiemelt felelősséggel bír, hogy az útpályaszerkezet felépítését ezeket a jellemzőket is messzemenően figyelembe véve tervezze meg (méretezze);
• az út geometriai jellemzőinek (ívviszonyainak, hosszirányú esésének és a pálya oldalesésének) előrelátó tervezése jelentős mértékben hozzájárulhat ahhoz, hogy a csapadékvíznek hosszabb időn keresztül az útburkolaton való pangása – és ezzel a víznek a pályaszerkezetbe történő behatolása – elkerülhető legyen;
• az úttervezői munkának a tárgykör szempontjából legfontosabb eleme a hatékony víztelenítő rendszer (megfelelő oldalesésű útpadka, megfelelő keresztszelvényű és hosszesésű víz-elvezető oldalárok, a szükséges szelvényekben a pályaszerkezet alatt létesített, megfelelő keresztmetszetű csőátereszek, a rézsűk védelmére övárkok és talpárkok, stb.) egészen a befogadóig való gondos megtervezése;
• az út nem megfelelő minőségi színvonalon történő megépítése szintén komoly veszélyt rejt magában a burkolatnak – akár a csapadékvíz romboló hatására bekövetkező – gyors tönkre-menetele formájában, hiszen akár az egyes útelemek tervezettől való geometriai eltérései, akár pedig a sokirányú, minőségi követelmények nem megfelelő szinten történő teljesítése a burkolat állapotának váratlan romlásához vezet(het);
• a forgalomnak átadott út üzemeltetési időszaka alatt a kezelő kiemelt felelőssége, hogy a keletkező burkolathibákat (pl. lokális pályasüllyedés, különböző irányú és sűrűségű burkolatrepedések, mély keréknyomvályúk, hámlás, kátyú, felületi kötőanyag-feldúsulás, a burkolatszél letöredezése, a padka „felhízása” vagy keréknyomossá válása, oldalárok feliszapolódása, csőáteresz eltömődése) még korai stádiumukban, megfelelő technológia alkalmazásával, kijavítsa, megakadályozva ezzel az útburkolat gyors tönkremenetelét;
• az út tulajdonosának a felelőssége pedig az arról történő gondoskodás, hogy az útburkolat (illetve az útpályaszerkezet) állapotának alakulásáról – célszerűen megtervezett monitoring tevékenység eredményeként – naprakész információkkal rendelkezzenek; ennek hiányában ugyanis csak elkésett és/vagy gazdaságtalan állapotjavító tevékenységre kerülhet sor.

Az út és a víz kapcsolatának vizsgálatakor, esettanulmányként említhető az a projekt, amely-nek során a megfelelő szinten végzett útépítési munkának a pályaszerkezet teljesítményére gyakorolt hatását hazai szakemberekből álló bizottság vette vizsgálat alá [Ambrus et al., 2009]. A munka előzménye az az általános megfigyelés volt, hogy az 1998 óta forgalomba helyezett autópályák egyes szakaszain már a garanciális időszak lejárta előtt jelentős mértékű burkolat-hibát tapasztaltak. A munkacsoport feladata volt a hibák rendszerezése, okainak felderítése, a hozott javító intézkedések helyességének megítélése és a probléma megoldására (enyhítésé-re) javaslatok

készítése. A vizsgált 10 helyen, a jellegzetes hibatípus keresztrepedés, hosszrepedés és/vagy mozaikos repedezés volt. Emellett előfordult kezdődő nyomvályú, illetve pálya-süllyedés is. Egy esetben vízfeltörés is regisztrálható volt. Kiterjedt helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok eredményei a következő megállapításokat tették lehetővé:

- a mozaikrepedések és a nyitott pálya esetében a kopó- és a kötőréteg közötti tapadás gyengének minősült, a georadarral végzett vizsgálat a rétegek között víz jelenlétét mutatta ki,
- a haladósávon jelentkező – gyakran elágazó – hosszrepedések fő okozóját az elnedve-sedett földmű gyenge teherbírásában találták meg,
- az M7-es autópálya vízfelszivárgásos felületű szakasza áltöltésben fekszik; ennek kiváltója, minden valószínűség szerint, a nem hatékony vízelvezető rendszer, amely a csapadékvíznek és a talajból kapilláris úton feljutó vizeknek a pályaszerkezettől távol tartására nem volt képes,
- több vizsgált esetben a keresztrepedések okaként az aszfaltrétegek magas víztartal-mát jelölték meg,
- másutt olyan kiváltó okokat azonosítottak, amelyek a vízzel nem voltak összefüggésben.

Az említett tapasztalatok hasznosításával, a munkabizottság olyan útmutatót készített, amely a hazai autópálya-építés hatékony minőségbiztosítási rendszeréhez a következő területeken tartalmaz ajánlásokat: geometriai tervezés, víztelenítés, pályaszerkezet-típus kiválasztása, alapanyagok, pályaszerkezet-tervezés, keveréktervezés, építés, minőség-ellenőrzés, rendszeres állapot-megfigyelés, fenntartás, felújítás és üzemeltetés.

Az utak kezelőinek és használóinak a csapadékvízzel kapcsolatos feladatait, illetve esetenkénti kihívásait a burkolat felületi jellemzői szintén jelentős mértékben befolyásolják.

Az útpálya (burkolatfelület) biztonságának elemzésekor elsősorban azok csúszósságát vizsgálják, ez utóbbinak elterjedt jellemzője a csúszásellenállás. (A pálya csúszásellenállására a felület mikro és makro érdessége döntő hatást gyakorol). Ez a burkolatállapot-jellemző paraméter nem csupán az idő és az áthaladt forgalom függvényében változik, de az időjárási körülmények arra gyakorolt befolyása is jelentős. Nyilvánvaló ugyanis, hogy esőzés hatására a nedves útpálya csúszásellenállása a korábbiaknál kedvezőtlenebb (tehát a közúti forgalom számára veszélyesebb) lesz. Ezzel magyarázható, hogy a nemzetközi gyakorlatban elterjedt csúszásellenállás-mérési berendezések (SCRIM, SRT-inga, blokkolt kerekes utánfutó, Mumeter stb.) kivétel nélkül nedvesített – így a csúszás szempontjából kritikus állapotú – burkolatfelületen mérnek. Fontos annak hangsúlyozása, hogy az útpályára kerülő víz különösen abban az esetben teremt balesetveszélyes helyzetet, ha a burkolat felülete kopott és/vagy kötőanyagban feldúsult és/vagy polírozódott

adalékanyag-szemcsékkel rendelkezik és/vagy gumival, olajjal stb. szennyezett [Haas et al., 1994].

A nagy nehézforgalmi terheléssel igénybe vett utak burkolatfelületének jellegzetes romlási formája a keréknyomvályúk kialakulása, amelyet elsősorban a pályaszerkezet aszfaltrétegeinek – főleg magasabb léghőmérsékleten keletkező – maradó alakváltozása vált ki, de kialakulásában a burkolat kopása, a pályaszerkezeti rétegek forgalmi hatásra bekövetkező utótömörödése, illetve az elnedvesedett, kötött talajú földmű konszolidációja is érdemleges szerepet játszhat [Gáspár, 1981]. A kialakult mély keréknyomvályú súlyos közlekedésbiztonsági kockázata a vízen csúszás (aquaplaning, hydroplaning) jelensége, amely a vízzel telített keréknyomvályúban nagy sebességgel haladó jármű „megemelkedését” és – a gumiabroncs és a vízfelület közötti 0 súrlódási tényezőből származó – kormányozhatatlanságát, illetve fékezhetetlenségét jelenti. A balesetveszély kialakulása főleg a következő tényezőktől függ: a lehullott csapadék intenzitása, a burkolatfelület állapota (a keréknyomvályú mélysége, lokális burkolatsüllyedés, hosszirányú felületi egyenetlenség stb.), az útpálya mikro és makro érdessége, az út hossz- és oldalesése, a gépjármű sebessége, a gumiabroncs profilmélysége, a benne levő légnyomás. A vízen csúszás jelenségének kialakulási esélyét jelentős mértékben csökkenti, ha hatékony vízelvezetési rendszer biztosításával elkerülhetővé teszik, hogy a pályára az úton kívülről, oldalról is folyjon csapadékvíz [Mallick et al., 2009].

Az útpálya felületi érdességével összefüggésben levő további állapotjellemző a vízködképződés (víz-függönyképződés); ezt a kellemetlen, sőt balesetveszélyes jelenséget az érdes felületű kopórétegen viszonylag nagy sebességgel haladó tehergépjárművek mögött a személygépkocsik vezetői „szenvedik el”, amikor járművük szélvédője a tehergépkocsi gumiabroncsa által felcsapott víztől időlegesen átláthatatlanná válik. A káros jelenséget – a közúti paraméterek közül – elsősorban a burkolat oldalesése, a pálya makro érdessége és a kopóréteg hézagtartalma befolyásolja. Maláj kutatók különböző útburkolat-típusokon keletkező vízködöt annak alapján vizsgálták, és hasonlították össze, hogy az a gépkocsivezetők látását milyen mértékben korlátozzák [Rungruangvirojn et al., 2009]. Az ún. Világosságcsökkenési Módszer és a Színváltozási Eljárás alkalmazásával azt találták, hogy a vizsgált szempontból a kihagyásos szemeloszlású aszfaltburkolatok (a zúzalékos masztixaszfalt és a drénaszfalt) jelentősen kedvezőbbnek bizonyultak, mint a hagyományos, folytonos szemeloszlású aszfaltbeton. Az ebben a vonatkozásban optimális burkolatfelület meghatározásához modellt fejlesztettek ki.

A korábban említett drénaszfalt (vízáteresztő aszfalt) a légköri csapadék útügyi kezelése szempontjából különlegesnek tekinthető technológia. Intenzív esőben, illetve közvetlenül utána az útpályát borító víztömeg különböző forgalombiztonsági és utazáskényelmi hátrányainak elkerülésére olyan aszfalttechnológiát fejlesztettek ki, amelynek feladata attól a hagyományos célkitűzéstől alapvetően eltér, miszerint minden pályaszerkezeti réteg tervezésekor azok lehetőség szerinti vízzáróságára kell

törekedni; ehelyett 20-30 mm-es vastagságban igen nagy (hengerrel történő tömörítés után is 16-22 tf%-os) szabad hézagtartalmú, főleg érdesítési célú aszfalt kopóréteget terveznek. A különösen nagy makro érdességgel rendelkező burkolat különlegességét az képezi, hogy – egymással kommunikáló hézagrendszerének köszönhetően – még a nagy mennyiségben lezúduló csapadékot is, magán a rétegen belül, oldalra ki tudja vezetni. (Ezért még esőben is szinte teljesen „száraz”, tehát nem csúszásveszélyes az útpálya). Ez a különleges aszfalt-kopóréteg típus funkcióját hosszabb ideig (7-10 évig) akkor tudja megfelelő szinten teljesíteni, ha a következő feltételek biztosíthatók [Farkas et al., 1977]:

- az egymással kommunikáló hézagok rendszerét sem a levegőből szálló por, sem pedig a gép-kocsik kerekeitől származó sár nem tömíti el; ez ellen a réteg nagy nyomású vízzel történő, rendszeres átmosásával (is) lehet védekezni,
- a drénaszfalt réteg melletti két padkát úgy készítették el, hogy azok felülete a réteg al-só szintjéhez csatlakozzék, nem akadályozva a rétegen belül kivezetett vízmennyiség-nek, a padka felületén keresztül az oldalárkokba történő beömlését; elengedhetetlen tehát a padka rendszeres fenntartása, hogy annak „felhízását” és keréknyomosodását megelőzhessék,
- a csapadékvíz drénaszfalt rétegen keresztül történő, folyamatosan szabad átfolyásának biztosítása a téli időszakban különösen fontos annak érdekében, hogy a rétegnek az abba belekerülő és kifolyni képtelen víz térfogatának megfagyáskor tapasztalható, 10%-os növekedéséből származó „szétfagyása” ne következhessék be,
- a vízáteresztő kopóréteggel készült útpályaszerkezet egészének megfelelő hosszúságú élet-tartama kizárólag csak akkor érhető el, ha a közvetlenül alatta levő réteg tartósan vízzáró (semmiképpen nem engedhető ugyanis meg, hogy a vízáteresztő kopórétegben áramló víz a pályaszerkezet alsóbb rétegeit elnedvesítse).

Röviden említést kell még tenni, a világszerte legelterjedtebb aszfaltburkolatok mellett, a be-tonburkolatról is, amely kis hézagtartalmánál fogva, megfelelő minőségben készítve anyagá-ban vízzáró, így a csapadékot az alatta levő ágyazatra, valamint földműre nem engedi át, illetve nem engedné át, ha a betonburkolat „hagyományos” építéstechnológiája hossz- és keresztirá-nyú hézagok kialakítását nem tenné szükségessé. (A mesterséges hézagok a beton kötése során fellépő fizikai és kémiai jelenségek miatt fenyegető burkolati „vadrepedések” elkerülé-sére készülnek). Bár ezeket a hézagokat, vágásuk után közvetlenül, nagy rugalmasságú, hézag-kiöntő anyagokkal tömítik, tapasztalat szerint, gyakori eset, hogy a kiöntőanyag néhány év után, különböző okok miatt, részben vagy egészben a betonburkolat hézagából kipereg, és így utat nyit ahhoz, hogy az esővíz vagy a hólé az út-pályaszerkezet belsejébe beszivároghasson, ott károkat okozva. Emiatt több országban az ún. folytonosan vasalt betonburkolatok építése terjedt el, amely nem keresztirányú hézagok kialakítását igényli [Keleti et al., 2013].

4. A téli útüzemeltetés

A közúti közlekedésről szóló törvény szerint „a közúti közlekedéssel összefüggő állami és ön-kormányzati feladat a közúti közlekedés szervezeti és működési feltételeinek meghatározása; a közúthálózat fejlesztése, fenntartása, üzemeltetése….” [Az 1988. évi, I.]. Az útkezelők számára leginkább kritikus évszakban, a téli útüzemeltetés fő feladata a burkolat felületére lehullott, nagy mennyiségű hó onnan történő eltávolítása, illetve a pálya síkosság mentesítése.

A lehullott hó mennyiségétől függően, a csapadékot a pályáról általában hótolók (a padkára) vagy hómarók (a szomszédos mezőgazdasági területre) távolítják el. Az útkategóriától és a forgalomnagyságtól függően előírják [6/1998] a hórétegnek azt a vastagságát, amelynél az el-takarítást el kell kezdeni, valamint azt a leghosszabb időtartamot, ameddig – a 15-20 cm-nyi réteget eredményező hóesés megszűnte után – az eltakarítást be kell fejezni. A közúti forgal-mat különösen súlyosan a keletkező hóakadály zavarja (vagy teszi lehetetlenné); kialakulásá-nak feltételei: nagy mennyiségű, meghatározott állapotú hó, kellő energiájú szél, valamint a szélirányt keresztező akadály. Ellene leghatékonyabb védelemnek az út mentén telepített hóvédő erdősáv, illetve a veszélyeztetett útszakaszokkal párhuzamosan hóvédművek (hófo-góhálók, hófogórácsok) ideiglenes kihelyezése bizonyul.

A pálya síkossága elleni védekezéskor – az útkategória és a forgalomnagyság függvényében – őr-járatos, rajonos és fehér (kisforgalmú mellék-) utakat különböztetnek meg. Síkosság men-tesítésre vegyszereket (pl. kősót), illetve salak vagy zúzalék anyagú érdesítő anyagokat hasz-nálnak. A nedvesített só szórásának (azaz a megfelelő koncentrációjú oldat formájában törté-nő permetezésnek) előnye, hogy – a hagyományos változathoz képest – anyagtakarékos, még szélben is egyenletes szórás-eloszlást tesz lehetővé, emellett a környezetre is kisebb a károsí-tó hatása. A veszélyhelyzet ész-lelésétől kezdve, az út kezelőjének az út típusától függően előírt időszakon belül, el kell a pálya síkosság mentesítését kezdenie [6/1998].

5. Az éghajlatváltozás közúti kihívásai

Az éghajlatváltozás olyan időjárási elemeknek a sűrűbb előfordulását jelent(het)i, amelyek az utak gyorsabb leromlásának irányába hatnak, illetve az útkezelőket jelentős mértékű fenntar-tási üzemeltetési költségráfordításokra kényszerítik [Gáspár, 2006]. A következőkben ezeket a klímaváltozási elemeket felsorolom, kitérve azoknak az utakra gyakorolt hatására, illetve az arra adható célszerű válaszokra:

- túl sok eső (csúszós útpálya; árvíz vagy belvíz miatt az út lezárása, illetve a földmű elnedvesedése) ellen mikro és makro érdes burkolatfelület; magas, teherbíró töltés-test; burkolt – közel vízzáró – rézsű; hatékony vízelvezetési rendszer,

• túl kevés csapadék (a földmű, illetve rézsű összerepedezése) ellen burkolt vagy speci-ális füvesítésű rézsű,
• heves esőzés (rézsűkimosódás, padkabomlás, víz felhalmozódása az útpályán, vízbe-hatolás a pályaszerkezetbe, árkok és/vagy csőátereszek eltömődése) ellen rézsűvé-delem; burkolt pada; megfelelő hossz- és oldalesésű utak; alakváltozásnak ellenálló aszfaltrétegek; tömör aszfaltok, esetleg drénaszfalt kopóréteg alatt; nagy teljesítményű, karbantartott vízelvezető rendszer,
• zord téli időjárás (jeges-csúszós pálya, sok hó az útpályán) ellen előzetes olvasztósó-szórás; a kopóréteg elektromos melegítése; makro érdes útpálya; nagy teljesítményű hóeltakarító járművek; hóvédő erdősávok telepítése; napelemek az aszfalt kopóré-tegben,
• gyakori fagyás-felengedési ciklusok (az útpályaszerkezet alatti földmű lokális elnedve-sedéséből származóan a burkolat és az alaprétegek összerepedezése, illetve a pályán kátyúképződés) ellen szemcsés talajból készült, tömör földmű; vastag útpályaszerke-zet, nagy húzószilárdságú rétegekből.

A szélsőséges csapadékmennyiség utakat romboló hatására az 1. fénykép példát szemléltet. 2010. május 19-én az M1-es autópálya bal pályájának burkolata Győr előtt, mintegy 10 m2-es felületen beszakadt. A jelenség okát abban találták meg, hogy a napokon keresztül tartó eső az autópálya alatti híd háttöltését kimosta, annak úszólemeze leszakadt, így a pályaszerkezet alá-támasztását vesztette. Következményeként, az ideiglenes javítás idejére, 50 órára az autópá-lya forgalmát teljesen lezárták, majd – a végleges helyreállítás időigényének megfelelően – a burkolat beszakadásának környezetében, 120 napon keresztül minden járműtípusra 60 km/ó-s sebességkorlátozást rendeltek el. Ennek a burkolatromlásnak a káros következményeként, utólagos számítások 1,5 milliárd Ft körüli, nemzetgazdasági szintű veszteséget mutattak ki [Timár, 2011].

1. ábra
Autópálya burkolatának beszakadása özönvízszerű esőzés hatására [forrás: internet]

A másik példa egy frissen átadott autópályára vonatkozik, ahol a leállósáv mintegy 2 m2-nyi része beszakadt, a rézsű anyagának egy részét is magával rántva (2. ábra). Az okokat feltáró vizsgálat – a heves esőzésen kívül – a gyenge építési minőség szerepére is rámutatott.

2. ábra
Beszakadt burkolt padka [forrás: internet]

6. Néhány összefoglaló megállapítás

A légköri csapadék és az utak kapcsolatának vizsgálatából összefoglalóan a következők állapíthatók meg:

- a csapadék minden formája az utak állagára és/vagy teljesítő képességére – rendsze-rint negatív – hatást gyakorol,
- az útkezelők számára megoldandó feladatként általában az útnak a víz káros hatásaitól történő mentesítése jelentkezik, de előfordul az is, hogy a lehullott csapadékot mező-gazdasági célra hasznosított területekre irányítják át,
- burkolatlan utak esetében különösen közvetlen a víz hatása, ellene korlátozott mérté-kű védelmet a megfelelően megválasztott geometriai jellemzők és a kapcsolódó vízel-vezető rend-szer jelenthet,
- a nagyobb forgalmat levezető, burkolattal ellátott utak „vízérzékenységét”, a burkolat-lan utaknál említetteken túlmenően, az egyes pályaszerkezeti rétegek – elsősorban a gépjárművek gumiabroncsával közvetlenül érintkező kopóréteg – mennyiségi és minő-ségi paraméterei befolyásolják,
- a hó formájában lehulló csapadék, a közutak teljesítő képességének

folyamatos bizto-sítása érdekében, különleges kezelői intézkedéseket igényel,
• az éghajlatváltozás következményeként tapasztalt gyakoribb szélsőséges időjárási események közül a légköri csapadékkal kapcsolatosak az utak kezelőit is különleges ki-hívások elé állítják.

7. Irodalom

6/1998. (III. 11.) KHVM rendelet az országos közutak kezelésének szabályozásáról. 39 p.

Ambrus K. – Galuska J. – Gáspár L. – Keleti I. – Pallós I. – Török K. (2009): Aszfaltburkolatú au-tópályák minőségbiztosítási rendszeréhez történő hozzájárulás. Közlekedésépítési Szemle 7. szám, pp. 1-10.

Az 1988. évi I. törvény a közúti közlekedésről. 44 p.

Biotechnikai rézsűstabilizáció és védelem (2011). Budapesti Műszaki Egyetem Geotechnikai Tanszék oktatási célú pdf-diái, 34 p.

Gáspár L., id. (1953): Az útügy meteorológiai vonatkozásairól. Mélyépítéstudományi Szemle 10. szám, pp. 13-31.

Gáspár L. (1981): A közúti forgalom keresztszelvény-torzító hatása. Közlekedéstudományi Szemle 1. szám, pp. 7-16.

Gáspár L. (2003): Útgazdálkodás. Akadémiai Könyvkiadó, 361 p.

Gáspár L. (2006): A klímaváltozás útburkolatokra gyakorolt hatása. „Agro-21” Füzetek Klímavál-tozás – Hatások – Válaszok 47. szám, pp. 31-39.

Gáspár L. – Horvát F. – Lublóy L. (2011): Közlekedési létesítmények élettartama. UNIVERSITAS- Győr Nonprofit Kft, 324 p.

Haas, R. C. G. – Hudson, W. R. – Zaniewski, J. (1994): Modern Pavement Management. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 583 p.

Kosztka M. (2001): Erdészeti utak fenntartási rendszere. Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdő-mérnöki Kar Geomatika és Mérnöki Létesítmények Intézete Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet. Lővér Print Kft., Sopron, 130 p.

Mallick, R. B. – El-Korchi, T. (2009): Pavement Engineering. Principles and practice. Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, 511 p.

Országos Közúthálózat Információs Eredménytáblái (2014): 2013. december 31-i állapot. Ma-gyar Köz-út Nonprofit Zrt, 64 p.

Rungruangvirojn, P. – Kanitpong, K. (2009): Measurement of Visibility Loss due to Splash and Spray: the Comparison between Porous Asphalt, SMA, and Conventional

Asphalt Pavements. Transportation Research Board 88th Annual Meeting, Washington D.C., Paper No. 09-1913, 20 p.

Solt H. (1956): Erdei gyűjtőutak tervezése és építése. Az Erdő 91. évfolyam, 8. füzet, pp. 347-350.

Timár A. (2011): Módszer az úthálózat egyes szakaszai, műtárgyai klímaváltozási kockázatainak érte-kelésére (2. rész). Közlekedéstudományi Szemle LXI. évfolyam, 3. szám, pp. 14-27.

Adatok

Megjelent itt
10. szám
2017. ősz

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).

Témakörök
Földművek • Útépítés

Kulcsszavak

Befogadva
2017. december 3.

Hozzászólás

Hozzászólás

* Név

* E-mail cím

Honlap

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Szakolvasó

Témakörök

© Copyright Útügyi Lapok 2019 • *Minden jog fenntartva.*

Az Útügyi Lapok félévente elektronikus formában megjelenő, online szabadon elérhető kiadvány, erre tekintettel jelenleg nem előfizethető. Alkalmanként azonban papíralapon is megjelenik, amennyiben szeretne a papír alapú megjelenésről értesítést illetve példányt kapni, kérjük érdeklődési szándékát az alábbi címen jelezze: utugyilapok@makadam.hu. *A lapban megjelent cikkek a szerzőik személyes véleményét fejezik ki és nem feltétlenül egyeznek meg a szerkesztők véleményével illetve ismereteivel.*

Útügyi lapok

11

Cikk

Kötőanyaggal stabilizált talajok teherbírásának és tartósságának értékelése helyszíni mérések alapján

A földművek stabilizációjával magasabb teherbírást érhetünk el, mint a típuspályaszerkezetek méretezésénél a földmű tetején elvárt minimális teherbírási követelmény. Az Aszfaltburkolatok alternatív méretezési eljárása alapján amennyiben magasabb teherbírású földművet állítunk elő, úgy a pályaszerkezeti rétegrendek csökkenthetőek vagy a pályaszerkezet élettartalma növelhető. A helyi talajok kötőanyaggal való stabilizálásával létrehozott földművek teherbírását és teherbírásuk tartósságát mértük helyszíni mérésekkel. A mérési eredmények alapján a talajstabilizációjával az időjárási körülményeknek ellenálló és magas teherbírású földmű alakítható ki.

1. Bevezető

A stabilizált talajok teherbíró képességének meghatározása céljából 2016. szeptember és 2017. áprilisa közötti időszakban helyszíni mérések készültek a magyar-szerb határ mentén stabilizált helyi talajokból készült földesút kutatási célra épített próbaszakaszain. A kutatás az „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének alternatív módszere” tervezési útmutató (Pethő, Primusz, Tóth 2016) 3 rétegű modelljének legalsó, földmű réteg paramétereit vizsgálta helyszíni mérésekkel. A tervezési módszer előnyei a típus-pályaszerkezetek méretezésénél használt E2=40MPa tervezési teherbírásnál magasabb teherbírású földművek esetében érvényesülnek, ami döntően csak durvaszemcsés talajjal vagy talajstabilizációval érhetők el.
A próbaszakaszok elkészítésének célja a stabilizált talajok teherbírásának és tartósságának vizsgálata volt. Ennek érdekében két eltérő, de a környezetet jól jellemző talajadottsággal rendelkező terület került kijelölésre. Az egyik jellemző talaj az eolikus eredetű futóhomok, míg a másik geológiai szempontból korábbi, de szintén szél által települt aleuritből képződött lösz formáció volt. A talajok viszonylag jól reprezentálják hazánk felszínközeli talajait, mivel hasonló szemeloszlású és eredetű talajok fedik az ország ~50%-át.

2. Próbaszakaszok bemutatása

A kutatás helyszíni mérései egy napi szinten forgalommal terhelt földesúton készültek. A próbaszakaszok oly módon kerültek kivitelezésre, hogy azok alkalmasak legyenek a kutatás helyszíni méréseinek elvégzésére. A próbaszakaszok egy talajstabilizációval készült földesút kijelölt szakaszai, ahol a földút pályaszerkezetét eltérő vastagságú, kötőanyagú és adagolású stabilizált talajból és zúzottkőből építették meg, illetve egyes szakaszok csak zúzottkő+geoműanyagok felhasználásával kerültek megépítésre. A lösz esetében 11 db, míg a homok altalaj esetén 10 db 30 m hosszúságú próbaszakasz került kivitelezésre, ahol az alábbi rétegrendek kerültek megépítésre:

Szakasz	Lösz	Homok
I	geotextília + 30 cm zúzottkő	geotextília + 30 cm zúzottkő
II	geotextília + georács + 30cm zúzottkő	geotextília + georács + 30cm zúzottkő
III	**45 cm** stab. 40kg/m^3 VC50 +10 cm zúzottkő	**45 cm** stab. 40kg/m^3 cement +10 cm zúzottkő
IV	**45 cm** stab. 75kg/m^3 VC50 +10 cm zúzottkő	**45 cm** stab. 75kg/m^3 cement +10 cm zúzottkő

V	**45 cm** stab. 100kg/m^3 VC50 +10 cm zúzottkő	**45 cm** stab. 100kg/m^3 cement +10 cm zúzottkő
VI	**30 cm** stab. 75kg/m^3 cement +10 cm zúzottkő	**30 cm** stab. 75kg/m^3 cement +10 cm zúzottkő
VII	**30 cm** stab. 75kg/m^3 VC50 +10 cm zúzottkő	**30 cm** stab. 100kg/m^3 cement +10 cm zúzottkő
VIII	**30 cm** stab. 100kg/m^3 VC50 +10 cm zúzottkő	**15 cm** stab. 40kg/m^3 cement +25 cm zúzottkő
IX	**15 cm** stab. 40kg/m^3 VC50 +25 cm zúzottkő	**15 cm** stab. 75kg/m^3 cement +25 cm zúzottkő
X	**15 cm** stab. 75kg/m^3 VC50 + 25 cm zúzottkő	**15 cm** stab. 100kg/m^3 cement +25 cm zúzottkő
XI	**15 cm** stab. 100kg/m^3 VC50 + 25 cm zúzottkő	

1. táblázat
A próbaszakaszok felosztása

A lösz talajok próbaszakaszának megépítése során ViaCalco C50 (táblázatban VC50) kötőanyagot, a homok talaj esetében pedig a stabilizációs munkáknál alkalmazott CEM II. B 32,5R jelzésű, gyorskötő cementet alkalmaztunk.

3. A helyszíni mérések bemutatása

Az elkészült próbaszakaszokon több fajta helyszíni teherbírásmérést végeztünk a stabilizált földmű, illetve a zúzottkő réteg teherbírására. Az E2 teherbírás alapvizsgálatának tekinthető a statikus tárcsás teherbírásvizsgálat, míg közvetett meghatározásra szolgál egy kisebb eszközigényű, gyorsabb és könnyebben elvégezhető módszer is, a könnyű ejtősúlyos teherbírásmérés. Mindezen helyszíni mérések mellett nehéz ejtősúlyos KUAB típusú FWD mérések is készültek.

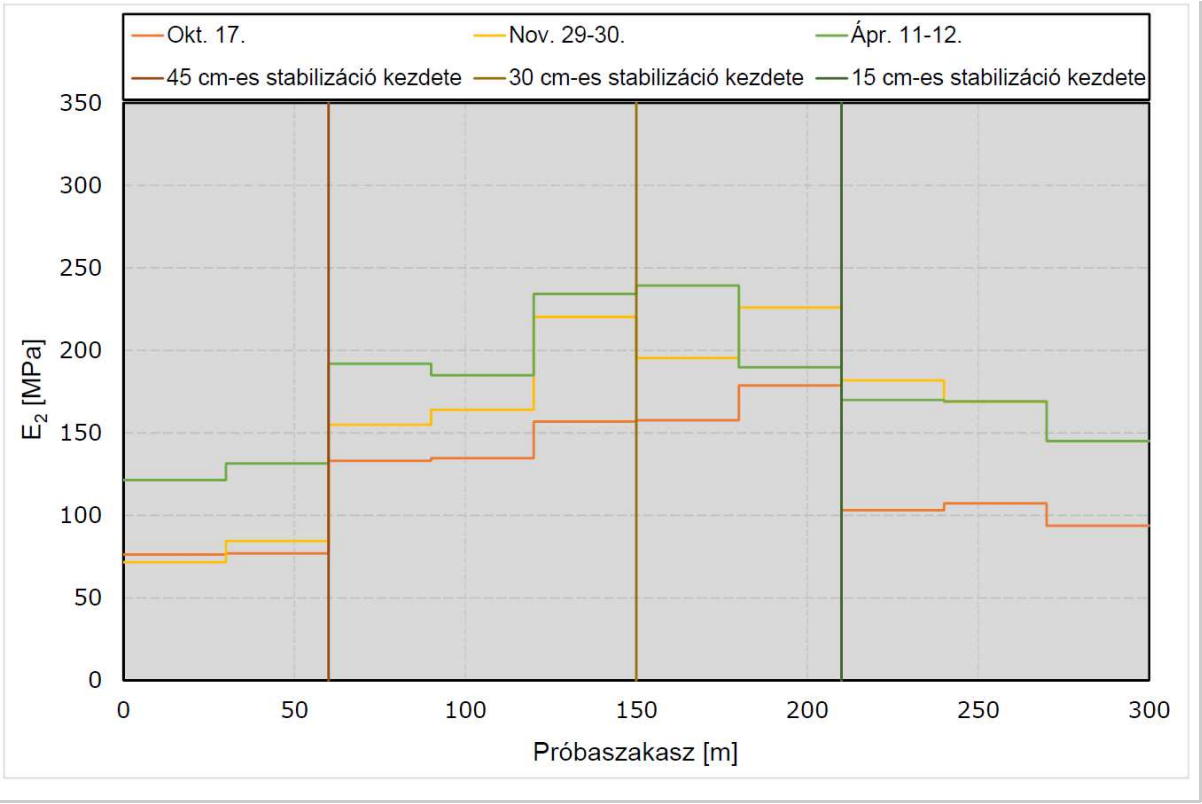
A helyszíni mérések több időpontban is elvégzésre kerültek, követve egyrészt a próbaszakaszok kivitelezési lépéseinél adódó különböző fázisokat, másrészt megmérve az időjárási tényezők teherbírásra gyakorolt kedvezőtlen hatását (Gáspár et al. 2017; Tóth és Szentpéteri 2014, Tóth és Szentpéteri 2016;). Összesen 5 alkalommal végeztünk méréseket, amelyek a következő időpontokra estek:

• szeptember 30-án stabilizáció előtt: 4 statikus, 8 könnyű ejtősúlyos;
• október 7-én: 13 statikus, 50 könnyű ejtősúlyos;

• október 17-én: 42 statikus,186 könnyű ejtősúlyos, 298 FWD;
• november 29-30-án: 80 statikus,144 könnyű ejtősúlyos, 297 FWD;
• április 11-12-én: 121 statikus, 239 ejtősúlyos, 224 FWD.

4. Statikus tárcsás próbaterhelés

Ezzel a módszerrel határozzuk meg a földművek tervezésénél és minősítésénél használt E2 értéket. Tárcsás teherbírásmérések több időpontban készültek, az elsők a kivitelezés során, a későbbiek a zúzottkőterítés előtt és után. Ezt követően az első fagyokat követő időszakban, 2016. november 29-30-án, 2 hónappal a kivitelezést követően, majd a tavaszi olvadások során, 2017. április 11-12-én. Összesen 260db tárcsás teherbírásmérés készült. Az eredmények viszonylag nagy szórást mutattak, ezért a trendek meghatározása érdekében statisztikai módszerekkel számított eredményekből és az átlagértékekből grafikonok készültek.
A mérési eredmények alapján elmondható, hogy a stabilizációval készült próbaszakaszok magasabb teherbírást adtak, mint a geoműanyag+zúzottkőből készült szakaszok. A geoműanyagokkal készült szakaszok eredményei szerint a georács kis mértékben -10MPa-lal- volt képes növelni a teherbírást a geotextíliához képest. A geoműanyagos szakaszoknál látható, hogy az elkészítésüket követő 1. és 2. hónap eredményei között nincsen jelentős különbség, hiszen kémiai folyamatok itt nem játszódnak le. Azonban teherbírás növekedést tapasztalhattunk a 2017. áprilisi méréseknél, amelynek vélhetően a zúzottkő finomszemcsével történő kismértékű elkoszolódása kiékelődése, illetve a forgalom okozta utótömörödés lehetett az oka. Ez a folyamat egy bizonyos szintig kedvező tud lenni, majd hosszabb idő elteltével a túlzott finomszemcsetartalom miatt a teherbírás leromlása várható majd.



1. ábra

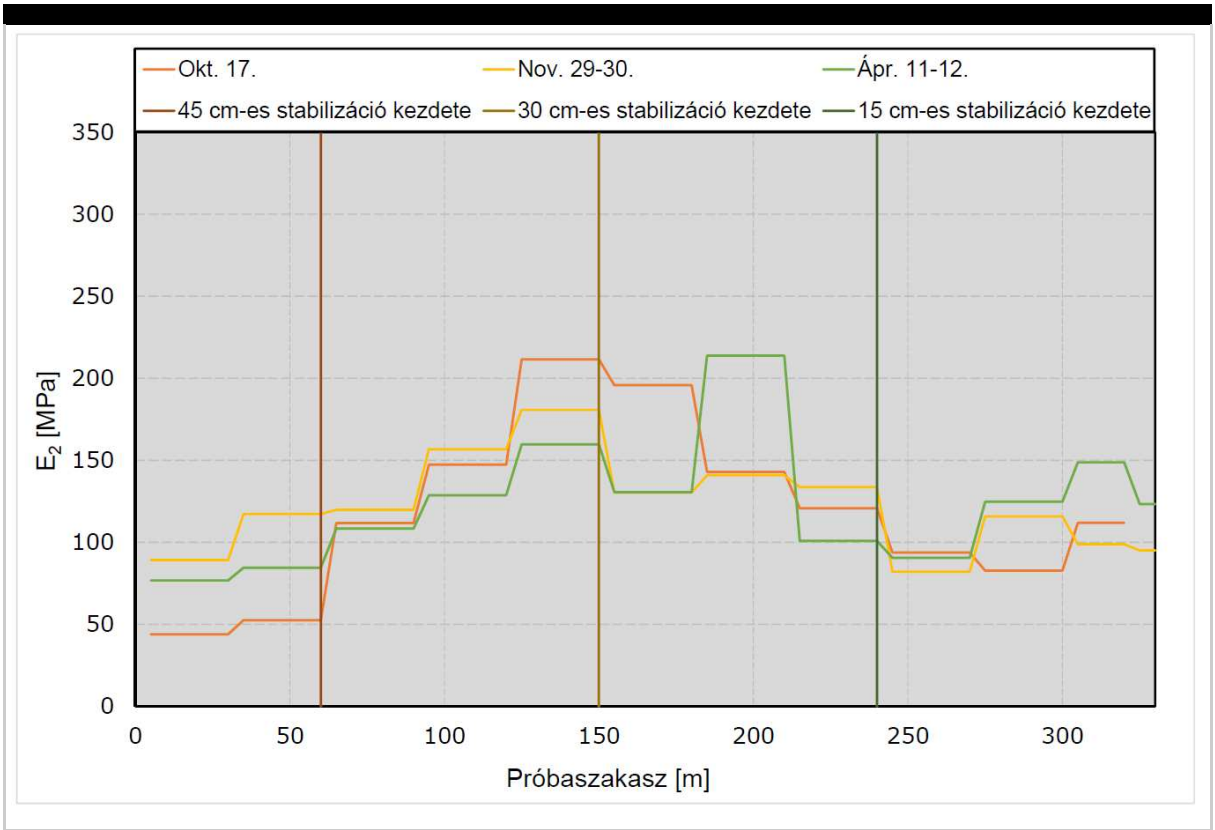
Homok talajon készült próbaszakaszok statikus tárcsás teherbírásmérési eredményei statisztikai kiértékelést követően

A 30cm és 45cm vastagsággal készült talajstabilizációkat közel kétszer akkora teherbírás jellemzi, mint az azonos vastagságú geoműanyagokkal erősített zúzottkő szakaszokét. A két teherbírás zóna közé esnek a geoműanyagos szakaszokhoz hasonlóan viszonylag vastag zúzottkőből készült -15cm vastag stabilizáció és 25cm vastag zúzottkő- szakaszok eredményei.

A stabilizált szakaszok teherbírásméréseinél jól kirajzolódik a hidraulikus kötések, mint kémiai folyamatok időben való bekövetkezése, ugyanis a teherbírás a kezdeti időszakban az idő múlásával növekedett. Fontos kiemelni, hogy teherbírás növekedés volt mérhető annak ellenére, hogy a próbaszakaszokon ebben az időszakban már folyamatos volt a forgalom, az októberi méréstől eltelt egy hónap viszonylag csapadékos őszi időszak volt, valamint néhány napos fagyok is előfordultak már. Az elmúlt évtizedek egyik leghosszabb és leghidegebb tele volt hazánkban a 2016-2017-es évi, ahol a térszín alatt 80-100cm-ben is átfagyások voltak tapasztalhatóak. A kiolvadás viszonylag gyorsan végbement a március végi hirtelen felmelegedéssel, ami alatt a forgalom változatlanul folyamatos volt a próbaszakaszokon. Ennek ellenére a mérések szerint a stabilizált szakaszokon nem volt tapasztalható a teherbírás leromlása. A fenti eredmények azt bizonyítják, hogy a stabilizációval elkészülő földművek vízzel és faggyal szemben tartós teherbírással rendelkeznek, ilyen módon az útburkolatoknak tartós alátámasztást tudnak biztosítani.

A homok talajon készült stabilizációs szakaszok tárcsás teherbírásmérési eredményein a kötőanyag mennyiségének hatása kevésbé volt visszakövethető, ez a lösz szakaszoknál jobban kirajzolódott. A lösz talajon készült próbaszakaszokon végzett tárcsás teherbírásmérések eredményeit mutatja a 2. ábra. A teherbírás mérés során az E2 értékek a lösz talajoknál a homok talajokhoz hasonló eredményeket mutattak. A geoműanyagokkal erősített szakaszok itt is alacsonyabb teherbírással rendelkeztek, mint a stabilizált szakaszok. A geoműanyagok szakaszainál a georács teherbírásnövelő hatása, hasonlóan a homok szakaszokéhoz ~10MPa értékben volt kimutatható.

A stabilizált szakaszoknál mért teherbírás ezen szakaszoknál is c.ca.. kétszeresét mutatta a zúzottkő+georács szakaszokénak. A kötőanyag mennyisége viszonylag markánsan jelentkezett a lösz szakaszoknál, ami magyarázható azzal, hogy az átmeneti talajok stabilizálásánál inkább a 75kg/m3 adagolás a javasolt (Szendefy 2009.) mennyiség, míg a homok talajok esetében már alacsonyabb adagolás is célravezető lehet. A mérések a teherbírás kismértékű csökkenését mutatják bizonyos szakaszoknál a novemberi, majd az áprilisi mérések során, azonban a próbaszakaszokon végzett más típusú teherbírás mérések ezt a csökkenést nem mutatták ki. A nem trendszerű csökkenés és a más mérési eredmények alapján úgy gondoljuk, hogy lösz szakaszon a stabilizált talajrétegek is kellően ellenállóak a víz és fagyhatásoknak.



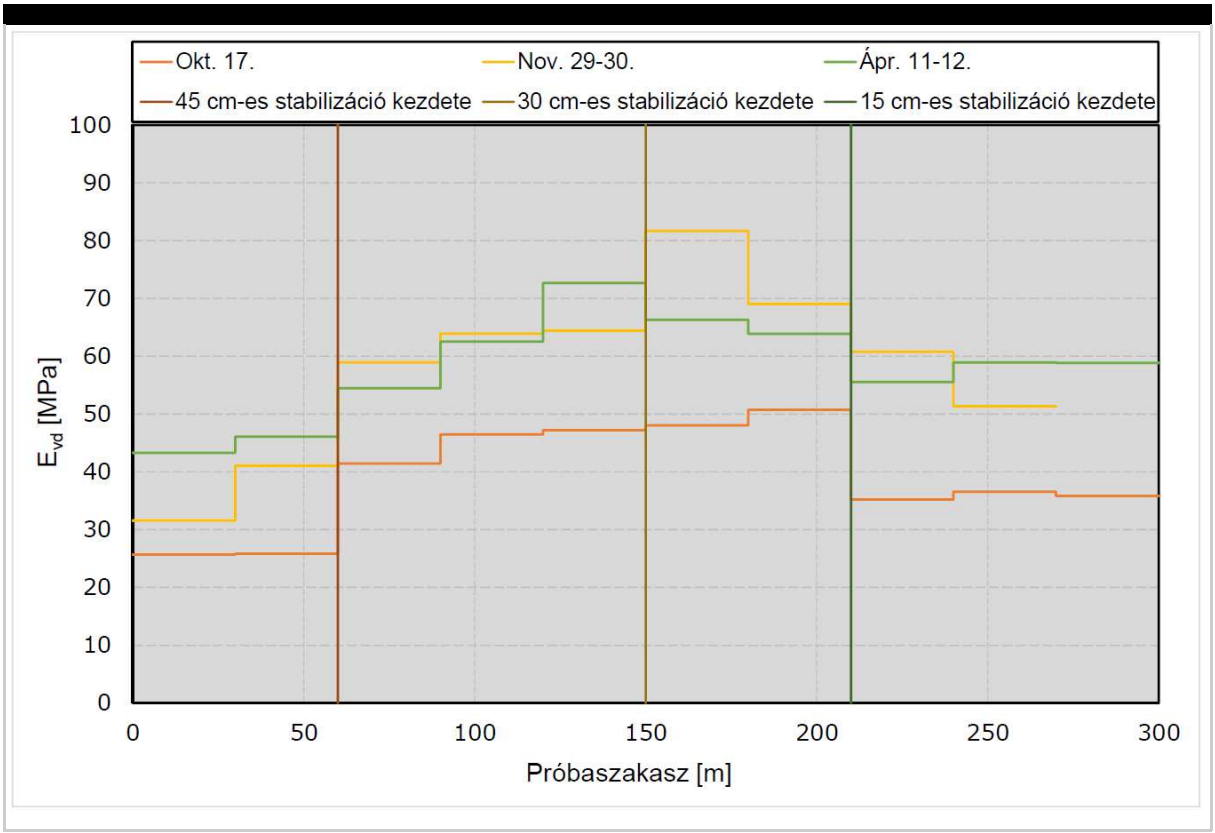
2. ábra

Lösz talajon készült próbaszakaszok statikus tárcsás teherbírásmérési eredményei statisztikai kiértékelést követően

5. Könnyű ejtősúlyos teherbírásmérés

A kutatási próbaszakaszokon összesen 627db könnyű ejtősúlyos mérés került elvégzésre. A nagyszámú mérés, amelynek keretén belül egy-egy időpontban az egyes szakaszokon 5-9db mérés készült, lehetőséget nyújtott arra, hogy az egyes szakaszokhoz hozzárendelhető átlagos dinamikus teherbírási értéket (Evd) statisztikai kiértékelés alapján határozzuk meg. A könnyű ejtősúlyos vizsgálatoknál a statikus tárcsás teherbírás méréshez hasonló trendek voltak tapasztalhatóak. A homok talajnál készült szakaszok esetében a geoműanyag+zúzottkő szakaszok adták az alacsonyabb teherbírást, amely c.ca. a stabilizált szakaszok felére adódott. Bár a szakaszok elkészülte után 1.hónappal végzett méréseknél nem volt érzékelhető a georács hatása, a 2. hónap után és a tavasszal készült méréseknél már megmutatkozott a tárcsás teherbírásméréseknél is tapasztalt magasabb teherbírás.

A talajstabilizációs szakaszok esetében szintén kirajzolódott a 2. hónapra megnövekvő teherbírás, ami már nem mutatott említésre méltó csökkenést vagy növekedést a tavaszi időszakban elvégzett méréseknél. Az ejtősúlyos mérések eredményeinél a 15cm talajstabilizáció+25cm zúzottkő szakaszok a többi stabilizált szakaszhoz hasonló teherbírás értéket mutattak, így ennél a mérésnél nem volt tapasztalható olyan mértékű különbség, mint a statikus tárcsás teherbírásmérések során.

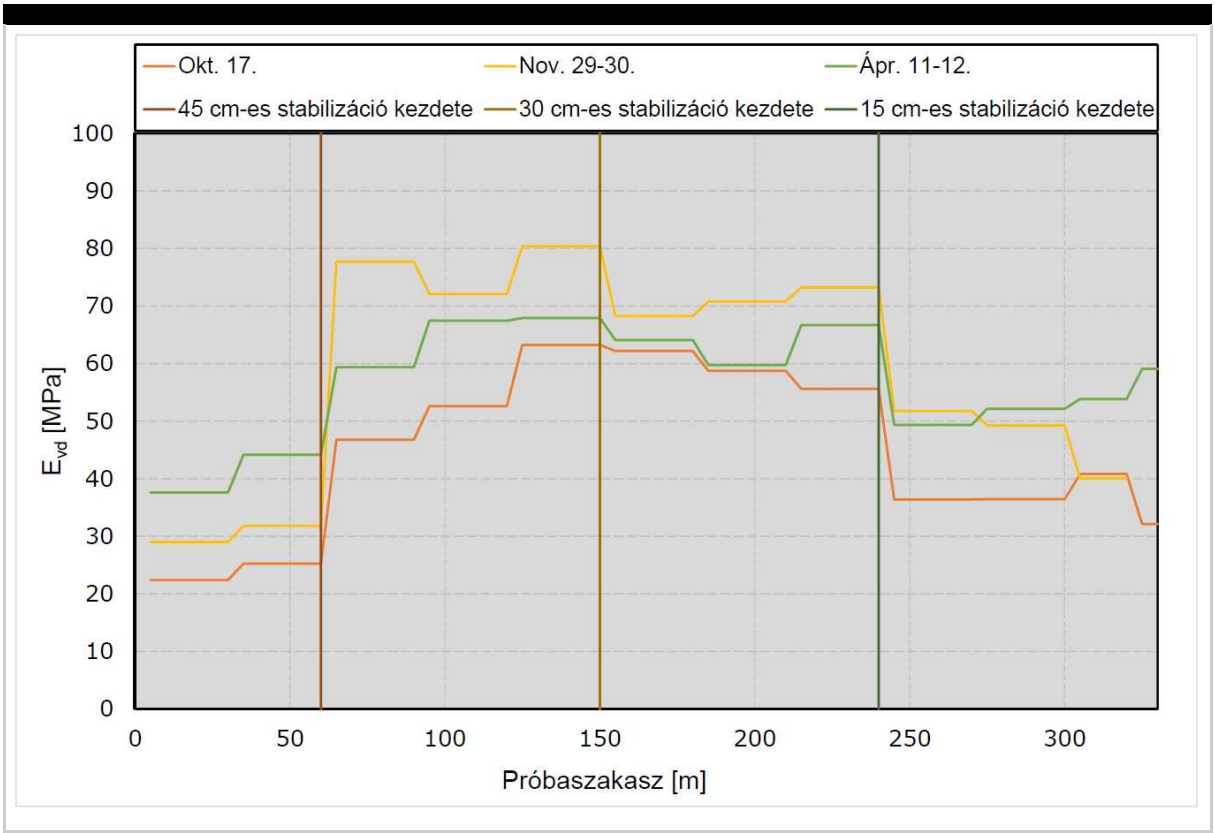


3. ábra

A homok szakaszon készített dinamikus teherbírásmérés eredményei

A lösz talajok szakaszainál készült könnyű ejtősúlyos vizsgálatok eredményeinél már a kezdeti időszakban kivehető volt a georács teherbírásnövelő hatása. Itt mindhárom mérés során kissé magasabb teherbírás volt mérhető a georácsos szakasznál, mint a csak geotextíliával erősített szakasznál. Azonban a geoműanyagokkal erősített szakaszok teherbírása így is jelentősen alulmaradt a stabilizált szakaszokéhoz képest.

A stabilizált szakaszoknál az 1. hónap utáni, majd a tavaszi mérések viszonylag jól visszaadták a kötőanyag adagolás mértékét, míg ez a trend a 2. hónapra készülő méréseknél nem volt viszontlátható. Ahogy már a statikus tárcsás teherbírásmérés során említettük, nem volt teherbírás csökkenés a 2. havi méréseknél az 1. havihoz képest, inkább a homok talajoknál is tapasztalt teherbírás növekedés volt mérhető. Bár a tavaszi mérések kismértékű teherbíráscsökkenést mutatnak a 2. havi mérésekhez viszonyítva, még így is magasabb értékek adódtak a kivitelezést követő 1. hónaphoz képest.



4. ábra

A lösz szakaszon készített dinamikus teherbírásmérés eredményei

A homok, illetve a lösz szakaszon is megfigyelhető, hogy a 30 cm és 45 cm vastagságban készült stabilizációk között nincsenek jelentős különbségek, ami arra utalhat, hogy a könnyű ejtősúlyos vizsgálat mérési tartományán kívül esik ez a vastagság. A 30 cm-es és a 45 cm-es vastagságban stabilizált talajokra egy 10 cm-es zúzottkő réteget is terítettek, így a javítórétegek vastagsága 40 cm és 55 cm

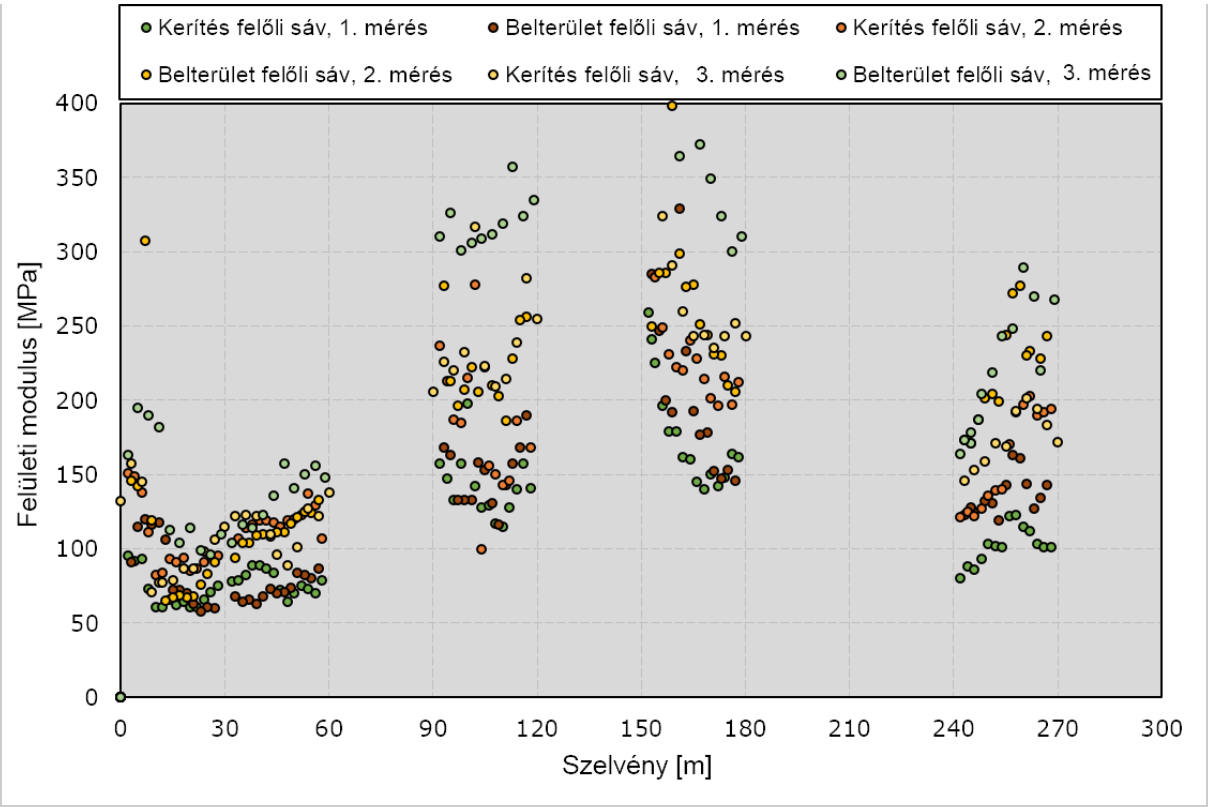
ezeken a szakaszokon. Egyes szakirodalmi adatok alapján a dinamikus teherbírásmérés hatásmélysége kb. a tárcsaátmérő másfélszerese (Tompai 2008.), ami 30 cm-es tárcsa esetén 45 cm, így az 55 cm-es rétegvastagság már a mérési tartományon kívül esik. A 30 cm-es és 15 cm-es vastagságban stabilizált (de egyenlő javítóréteg vastagság) szakaszok közti különbséget a dinamikus mérés is kimutatta. A statikus és a dinamikus mérés alapján is megállapítható, hogy a 30 cm stabilizáció + 10 cm-es zúzottkő jobb teherbírást biztosít, mint a 15 cm stabilizáció + 25 cm zúzottkő.

6. KUAB típusú FWD mérések

FWD mérések a limitált anyagi háttér miatt nem minden szakaszon készültek. A homok altalajú szakaszok esetében a 10 szakaszból 5 szakasznál készültek ilyen mérések, amelyek lefedték a két különböző geoműanyaggal készült szakaszt, a további három mérés a 75kg/m3 középső adagolás mennyiséggel készült különböző vastagságú stabilizált szakaszoknál készültek. A lösz altalajú szakaszok esetében 6 szakasznál készült mérés, szintén a két geoműanyagos szakasznál, valamint a három 75kg/m3 adagolású szakasznál, valamint a kötőanyag-mennyiség összehasonlíthatósága kedvéért egy 100kg/m3 adagolással készült szakasznál is. Összesen 819db mérés készült a próbaszakaszokon.

Az FWD mérések a statikus tárcsás és a könnyűejtősúlyos teherbírásmérésekkel azonos időpontokban készültek, így a trendek is hasonlítanak azon méréseknél meghatározottakra. A geoműanyagokkal erősített szakaszok teherbírása az FWD méréseknél is átlag felére adódott a stabilizált talajból készült szakaszokénál. Továbbá ezen mérésnél is felfedezhető a georács teherbírásnövelő hatása. Bár a mérési eredmények ábrázolásából nem láthatók olyan jól a javulási tendenciák, mint az előző két teherbírásmérésnél, a geoműanyagos szakaszon ezen méréssel is kimutatható volt a kis mértékű javulás, ami a zúzottkő finomszemcsével történt elszennyeződése, kiékelődése vagy a forgalom okozta tömörödéséből adódhat. Javulás volt tapasztalható a stabilizált szakaszoknál is: az 1. hónapos méréseknél magasabb értékeket adtak a 2. hónap után mért értékek, majd további kis mértékű javulás volt tapasztalható a tavaszi mérések során.

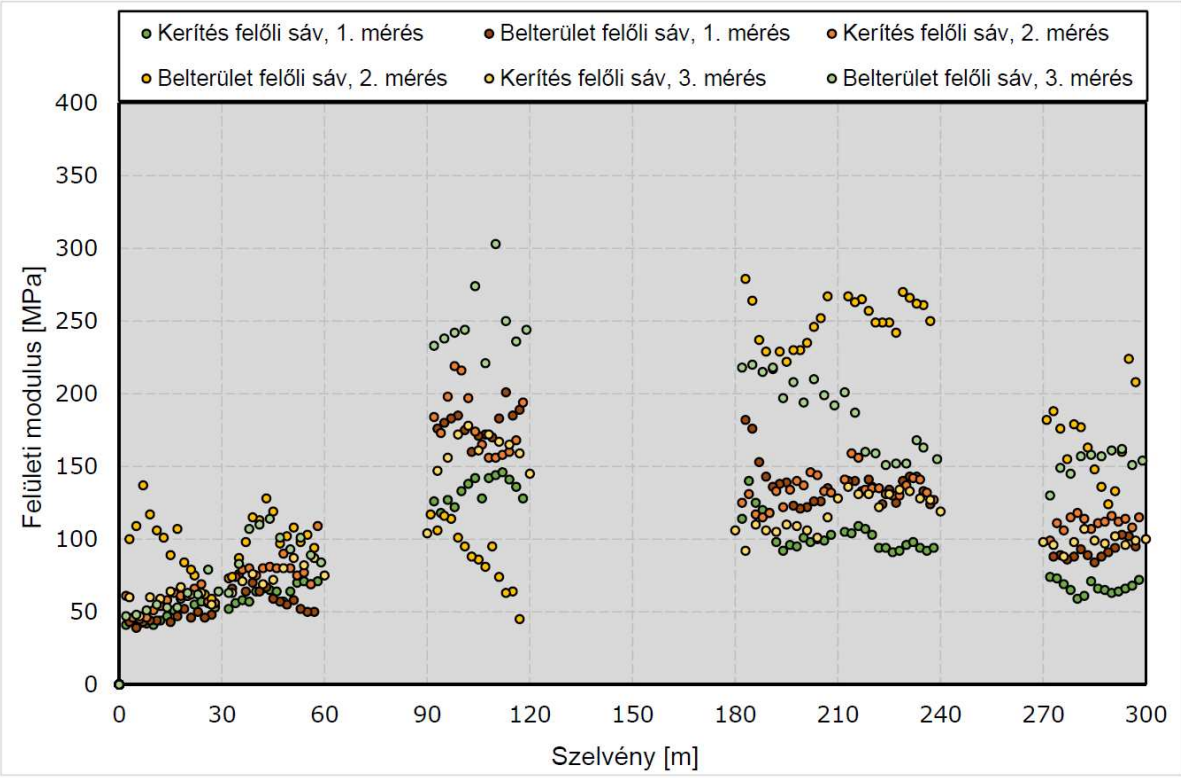
A mérőeszköz a méretei miatt olyan módon tudott csak mérni, hogy a próbaszakaszok kerítés felőli nyomsávjában, valamint visszafelé a szembejövő nyomsávban végzett méréseket. Érdekes trendnek tűnik, hogy a különböző nyomsávokat kissé eltérő eredmények jellemezték a mérések során, azonban erre jelenleg még nem tudtunk fizikai magyarázatot adni.



5. ábra

A homok szakaszon készített FWD teherbírásmérés eredményei

A lösz szakaszon végzett mérési eredmények is jó egyezést mutatnak a korábban bemutatott teherbírásmérések eredményeivel, bár a geoműanyagos szakaszokon nem mutatnak olyan mértékű javulást. A mérési eredmények egy tartományba esnek, hasonlóan a statikus tárcsás vagy az ejtősúlyos vizsgálattal, ettől kivétel a 2. hónapnál készült mérés magyarországi nyomsávjában készült eredmények (piros szín), amelyek viszonylag nagy szórást és a trendektől való eltérést mutatnak.



6. ábra
A lösz szakaszon készített FWD teherbírásmérés eredményei

A homok és a lösz talajok szakaszainál a szerb oldali nyomsáv eredményeinél a statikus tárcsás teherbírásmérés és az FWD mérési módszer pontjai viszonylag jó egybeesést mutattak, azonban a magyarországi nyomsávok esetében az FWD mérések önmagukban is nagyobb szórást mutattak és a két mérés eredményei is jelentősebb eltéréseket mutattak. Jelenleg nincs fizikai vagy kémiai magyarázat a két nyomsáv eredményei közötti különbségre. Mindezen eltérésektől függetlenül az FWD-vel mért felületi modulus értéke és a statikus tárcsás teherbírásmérés E2 teherbírás értéke azonos értéktartományban lévő eredményeket szolgáltatott. A mérések szerint a geoműanyagokkal erősített zúzottkő teherbírása E2=~100MPa értékre vehető, míg a stabilizált talajokat az E2=150-250MPa közötti teherbírás jellemzi.

7. Összefoglalás

A három mérési módszer eredményei alapján elmondható, hogy a geoműanyagokkal erősített zúzottkő pályaszerkezetek esetében közel fele akkora teherbírás volt mérhető, mint a stabilizációval készült szakaszoknál. A geoműanyaggal erősített zúzottkővel készült szakaszok teherbírása E2=70-120MPa volt a homok altalajon, míg E2=50-100MPa volt mérhető a lösz szakaszon. A stabilizációval készült szakaszok esetében a kötőanyag mennyiségétől függően homok talaj esetén E2=150-300MPa értékek, míg lösz esetén E2=150-200MPa teherbírás volt mérhető.

Az FWD és a statikus tárcsás teherbírásmérések eredményei jó egyezést mutattak, ami két tényező miatt is nagy fontossággal bírhat. A dinamikus terhelésből adódó rugalmassági modulus, amit a pályaszerkezet méretezése során szükséges használni, fizikai jellegében megegyezik az FWD mérés felületi modulusával, ami szintén egy dinamikus teher hatására létrejövő alakváltozásból számított. Ilyen módon a korábbi statikus elemeket használó módszerek és a dinamikus módszerekre épülő elméletek mérnöki gyakorlatban bevett értékei, értéktartományai jól átvehetőek vagy összedolgozhatóak. A hasonlóságból eredő másik előny lehet, hogy a nagy idő és eszközigényű (ellensúly) statikus tárcsás teherbírásmérés részben vagy teljesen kiváltható lenne az FWD méréssel, ami földművek esetében is egy sokkal gyorsabb és hatékonyabb eszközt jelentene a minősítésekhez.

8. Irodalomjegyzék

Dankó B. (2016): Stabilizált talajrétegek teherbírásának vizsgálata és annak pályaszerkezeti rétegekre gyakorolt hatása, MsC diplomamunka Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar

Gáspár L., Karoliny M., Tóth Cs., (2017) Predicting subgrade soil strength using FWD and meteorological time series data; CRC Press – Taylor and Francis Group, 2017. 9 p (ISBN:978-1-138-29595-7)

Pethő L., Primusz P., Tóth Cs., (2016): Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének alternatív módszere tervezési útmutató

Primusz P., Tóth Cs., (2016): Alternatív méretezési eljárásokra vonatkozó tanulmány és az alternatív módszerek bevezetését segítő irányelv

Szendefy J. (2009): A hazai talajok szerkezetének és teherbírásának változása meszes talajstabilizáció hatására, Phd dolgozat Budapesti Műszaki És Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar

Szendefy J. (2017): Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének alternatív módszere című tervezői utasítás geotechnikai paramétereinek pontosítására

Tompai Z. (2008): Földművek és kötőanyag nélküli alaprétegek teherbírásának és tömörségének ellenőrzése könnyű ejtősúlyos módszerekkel, Phd dolgozat Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar

Tóth Cs., Szentpéteri I., (2014) Klimatikus hatások figyelembevétele a behajlási adatsorok kiértékelése során, Útügyi Lapok: A Közlekedésépítési Szakterület Mérnöki és Tudományos Folyóirata 2014:(4)

Tóth, Cs., Szentpéteri I., (2016) Effect of Precipitation on Load Bearing Capacity of Subgrade, JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE RESEARCH

3:(5) pp. 1447-1455.

József Péterfalvi, Péter Primusz, Gergely Markó, Balázs Kisfaludi, Miklós Kosztka: Evaluation of the Effect of Lime-Stabilized Subgrade on the Performance of an Experimental Road Pavement, CROATIAN JOURNAL OF FOREST ENGINEERING 36: (2) pp. 269-282. 2015

Péterfalvi József, Primusz Péter, Markó Gergely, Kisfaludi Balázs, Kosztka Miklós (2014): Mésszel stabilizált földmű hatásainak vizsgálata egy kísérleti útszakaszon, ERDÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 4.: (1.) pp. 119-134.

József Péterfalvi, Miklós Kosztka, Gergely Markó, Péter Primusz (2008): Experimental Pavements Built on Cohesive Soil, HUNGARIAN AGRICULTURAL ENGINEERING 21: pp. 53-54.

Adatok

Megjelent itt
10. szám
2017. ősz

Szerző

Dankó Bence
EFERTE Mérnöki Tanácsadó és Szolgálató Kft.

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

Szendefy János
Okl. építőmérnök, PhD, egyetemi adjunktus BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Témakörök
Földművek

Kulcsszavak

Befogadva
2017. december 3.

Hozzászólás

Hozzászólás

* Név

* E-mail cím

Honlap

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Szakolvasó

Témakörök

© Copyright Útügyi Lapok 2019 • *Minden jog fenntartva.*

Az Útügyi Lapok félévente elektronikus formában megjelenő, online szabadon elérhető kiadvány, erre tekintettel jelenleg nem előfizethető. Alkalmanként azonban papíralapon

is megjelenik, amennyiben szeretne a papír alapú megjelenésről értesítést illetve példányt kapni, kérjük érdeklődési szándékát az alábbi címen jelezze: utugyilapok@makadam.hu. *A lapban megjelent cikkek a szerzőik személyes véleményét fejezik ki és nem feltétlenül egyeznek meg a szerkesztők véleményével illetve ismereteivel.*

Útügyi lapok 11

Cikk

Reziliens modulus mérése és talajstabilizációknál mért értéke

Hazánkban a földművek teherbírását jelenleg is statikus teherbírási mérőszámokkal jellemzik. Azonban célszerű lenne áttérni a forgalmi terhelést jobban modellező dinamikus terhelésből számítható teherbírás modulusra a reziliens modulusra. A cikk bemutatja a reziliens modulus mérésének menetét, valamint az első hazai mérési eredményeket, amelyek stabilizált talajokkal készültek. Mindezek mellett összehasonlítja a közvetlen méréssel kapott eredményeket a CBR-ből számítottakkal.

1. Bevezetés

Hazánkban jelenleg a típuspályaszerkezetek használatával történik az útpályaszerkezet méretezése. A módszer hátránya, hogy alkalmazásával egy magasabb teherbírású földmű előnye nem érvényesül, ami lehetővé tenné a pályaszerkezetek vastagságának hatékony csökkentését. Ennek lehetővé tétele érdekében egy alternatív pályaszerkezet méretezési eljárást dolgoztak ki [Pethő-Primusz-Tóth 2016], amely már számolni tud a korábban elvárt földműteherbírástól magasabb értékekkel is. Az alternatív pályaszerkezet méretezéséhez alkalmazott összefüggések a földmű dinamikus, forgalmi terheléshez hasonló terhelésből számítható rugalmassági modulusát, az úgynevezett reziliens modulus (M_R) értékét használják.

A reziliens modulus (M_R) az útpályaszerkezetek alsó rétegeként definiált földmű réteg dinamikus terhelésnél figyelembe vehető rugalmassági modulusa. A földmű M_R értéke, mint bemenő paraméter szolgál az útpályaszerkezetek méretezésénél, értéke nagy hatással van a pályaszerkezet alap és burkolati rétegeinek vastagságára és élettartamára.
A reziliens modulus (M_R) közvetlenül meghatározható dinamikus triaxiális berendezés segítségével, azonban ilyen vizsgálat hazánkban korábban még nem készült. A dinamikus triaxiális vizsgálatok mellett az M_R meghatározásra a szakirodalom a CBR teherbírás vizsgálatot javasolja, amely laboratóriumban egyszerűbb eszközökkel is végrehajtható, és aminek eredményéből különböző összefüggésekkel származtathatók az értékek. Ezen összefüggések segítségével laboratóriumi vagy helyszíni CBR teherbírás mérés alapján is számíthatóvá válik a reziliens modulus értéke, vagyis kiváltható a speciális berendezést igénylő és költséges dinamikus triaxiális vizsgálat. Jelentős hátrányuk, hogy egy-egy összefüggést adott területen végzett talajok eredményei alapján állították fel, így érvényességük értéktartományokhoz, talajtípusokhoz ajánlottak, így a belőlük számolt értékekben jelentős szórás és bizonytalanság adódik.
Kutatásunk során a reziliens modulus mérési lehetőségét vizsgáltuk, abból a célból, hogy ennek az új paraméternek a közvetlen módszerrel történő meghatározására hazai mérések is készüljenek. Vizsgálataink során jellemző hazai talajok kötőanyagos stabilizálásával készített mintákat alkalmaztunk, mivel az útépítésben a teherbírás javítása érdekében beépített durva szemcsés anyagú rétegek sikeresen kiválthatók a helyi talajok kötőanyagos stabilizálásával is.

2. Szakirodalmi adatok az M_R értékére

Külföldi kutatások már vizsgálták a különböző talajok M_R értékeit, illetve ezek változását eltérő kötőanyagokkal készült stabilizációk hatására. Az általunk fellelt adatok alapján természetes állapotú talajok esetében az M_R értéke jellemzően 10-100 MPa között változik, az optimális víztartalomnál szárazabb minták általában magasabb, a kissé nedvesebb minták alacsonyabb reziliens modulussal rendelkeznek. A természetes állapotú talajok között a Közép-Amerikában és Afrikában sok helyen előforduló laterites talaj kiugró, 70-600 MPa nagyságú reziliens modulus értékkel jellemezhető, ami csaknem egy nagyságrenddel nagyobb a többi talajtípushoz képest. Az általunk fellelt szakirodalmi adatok az 1. táblázatban láthatók.

Publikáció	**Talaj típusa**	**Reziliens modulus [MPa]**
Drumm et al.	sovány agyag (CL)	34-103
	iszapos homok (SM)	72-83
	sovány iszap (ML)	14-124
	kövér iszap (MH)	45-117
Mohammad et al.	kötött (A-4, A-6, A-7-5, A-7-6)	8-87
Akoto	laterit	350-500
Achampong et al.	sovány agyag (CL)	14-66
	kövér agyag (CH)	10-61
Kung et al.	laterit (CL, A-7-6)	110-250
	porított iszapkő (CL, A-6)	40-440
Qiu et al.	kötött	10-129

Li és Qubain	sovány agyag (CL)	38-111
	clayey sand (SC)	50-125
	clayey gravel (GC)	53-104
	homokos sovány agyag	58-137
	homokos sovány agyag kaviccsal	55-90
	agyagos homok kaviccsal	41-132
Bandara et al.	homok, iszapos homok	60-97
Trindade et al.	latosol	70-500
	szaprolit	60-200

1. táblázat
Szakirodalmi adatok a talajok M_R értékére

Publikáció	**Talaj típusa**	**Stabilizáció**	**Reziliens modulus [MPa]**
Akoto	laterit	10% mész	3000-12000
Achampong et al.	sovány agyag (CL)	2% mész	40-86
		4% mész	47-103
		6% mész	50-115
		4% cement	42-121
		8% cement	48-139
	kövér agyag (CH)	2% mész	34-79
		4% mész	47-96
		6% mész	50-111
		4% cement	35-80
		8% cement	50-132
Trindade et al.	latosol	11% cement	2500-6000
	szaprolit	5% cement	1000-3000

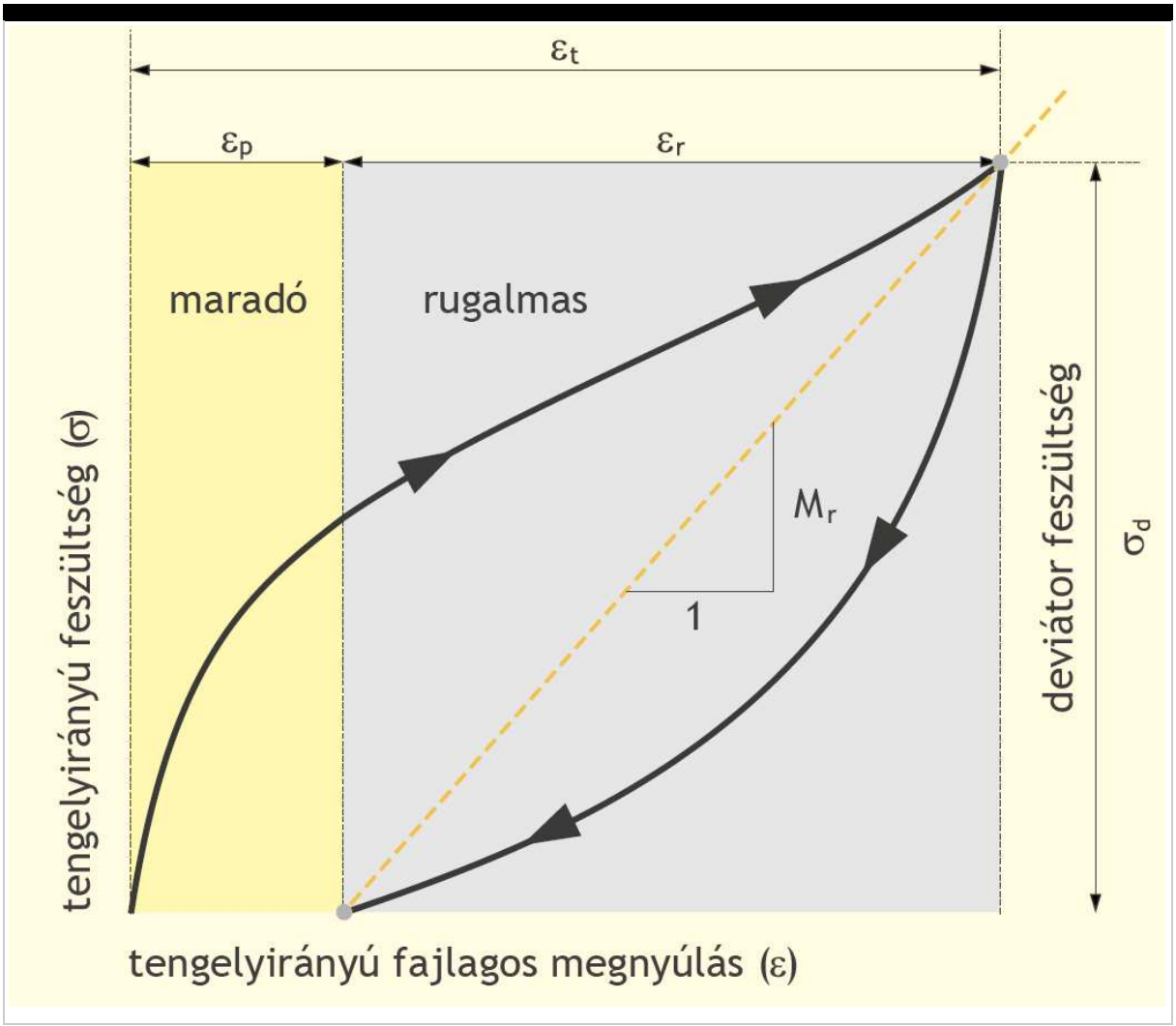
2. táblázat
Szakirodalmi adatok a stabilizált talajok M_R értékére

A 2. táblázat a stabilizált talajok szakirodalomban fellelhető reziliens modulus értékeit tartalmazza a talaj típusának és a stabilizációhoz alkalmazott kötőanyag és adagolás megnevezésével. Látható, hogy a szakirodalomban talált stabilizált talajokat M_R= 40-140MPa értékkel lehetne jellemezni. Az eredmények azt mutatják, hogy a gyakorlatban használt kötőanyag mennyiség (3-6%) az M_R értékét nem növeli jelentősen, azonban a nedvességgel szemben kevésbé lesz érzékeny a talaj, azaz viszonylag magas M_R értékkel lehet számolni a stabilizált rétegek tartóssága miatt a földmű élettartama alatt. A stabilizált laterit talajokra talált szakirodalmi értékek egy nagyságrenddel magasabbat mutattak, így hasonló különbség adódott, mint a stabilizálatlan talajok esetében. Azonban a stabilizált laterit talajok M_R értékeinek értékelése során azt is figyelembe kell venni,

hogy a stabilizáláshoz az általánosnál magasabb kötőanyag mennyiséget használtak, ami természetesen nagyobb teherbírást is szolgáltat.

3. A reziliens modulus mérésének bemutatása

Általános definícióját tekintve a reziliens modulus a deviátor feszültség és a rugalmas alakváltozás aránya. Alapvetően a merevséget jellemzi, nem pedig az anyag szilárdságát. Értéke függ az oldalirányú nyomás nagyságától is, ezért többféle terhelés és oldalnyomás kombinációja mellett is meghatározható. A reziliens modulus többnyire olyan terhelési körülmények között jellemzi a talajt, amely nem eredményezi a pályaszerkezet tönkremenetelét.

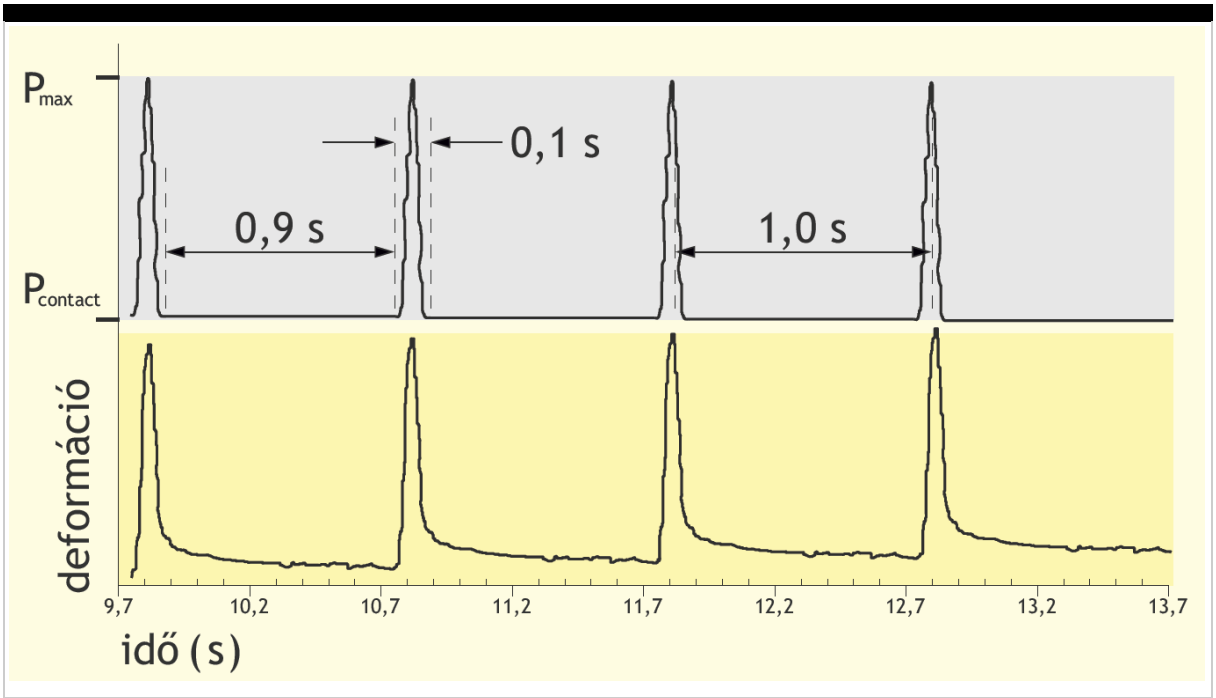


1. ábra
A reziliens modulus értelmezése

A jelen cikkben tárgyalt kutatás elsődleges célja a kötőanyagokkal stabilizált talajok M_R értékének közvetlen módszerrel, azaz dinamikus triaxiális vizsgálattal történő meghatározása volt. A dinamikus kísérletekkel párhuzamosan CBR-vizsgálatok is készültek azonos módon előállított próbatesteken annak érdekében, hogy a szakirodalomban található CBR-vizsgálatokra vonatkozó összefüggéseket is össze lehessen hasonlítani a dinamikus vizsgálatok eredményeiből kapott M_R értékekkel. Ezen vizsgálatokon kívül a kutatás további célkitűzése volt az M_R értékének elnedvesedés hatására bekövetkező változásának vizsgálata stabilizált talajok esetében. Ehhez a

vizsgálathoz az elkészített próbatestek egy részét 28 napos kötésidőt követően, míg a másik részét további 4 nap víz alatt tárolás után vetettük alá dinamikus terhelésnek.

A laboratóriumi vizsgálati programot az AASHTO T-307 amerikai előírás alapján végeztük el. Ennek keretében különböző deviátor feszültségek alkalmazása mellett összesen 150 db dinamikus triaxiális vizsgálat készült, amelyek során előre megadott nagyságú tengelyirányú ciklikus terhelés került a mintákra. Egy terhelési ciklus minden esetben 1 másodperc hosszúságú volt, ez alatt a 0,1 másodpercig tartó terhelési fázist 0,9 másodperces nyugalmi periódus követte (lásd 2. ábra). Az egyes minták elsőként 1000 cikluson keresztül 27,6 kPa cellanyomás és 27,6 kPa deviátor feszültség mellett, ún. kondicionáló terhelést kaptak, aminek célja, hogy megszüntesse a tömörödés és a terhelés közti időszak hatását, illetve a kezdeti terhelést az újraterhelés ellenében. Ezen kívül minimalizálja a minta végei, illetve a terhelőfej és az alapzat között esetlegesen fennálló nem megfelelő érintkezés hatását. A kondicionáló terhelés után a 27,6 kPa cellanyomást fenntartva 5 különböző, fokozatosan emelkedő deviátor feszültség alkalmazása mellett, 100-100 cikluson keresztül történt a minták terhelése. A vizsgálat záró fázisaként pedig az utolsó terhelési lépcső 68,9 kPa nagyságú deviátor feszültségének alkalmazásával a minták terhelése további 10 000 cikluson keresztül folytatódott a maradó alakváltozások vizsgálata érdekében.

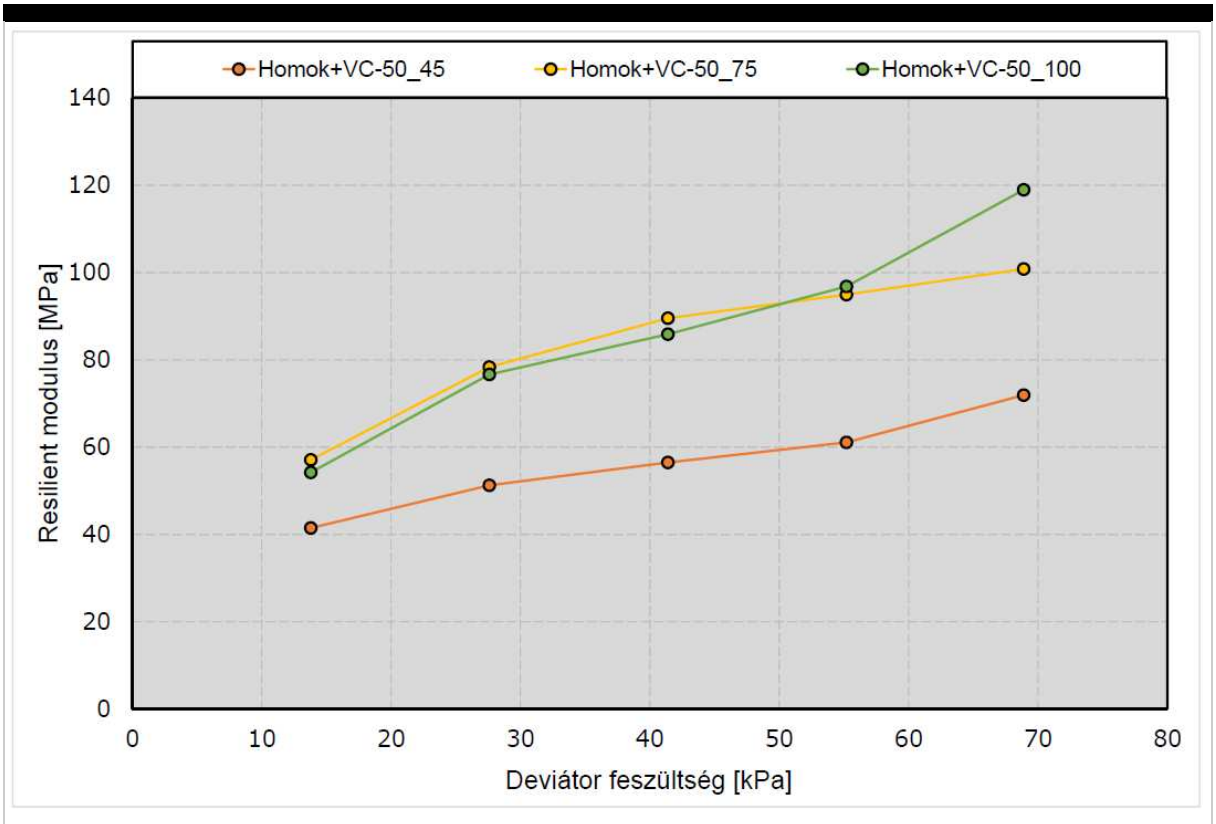


2. ábra
A ciklikus triaxiális vizsgálat során alkalmazott teher időbeli lefutása

4. A mérési eredmények bemutatása és értékelése

A vizsgálatokat kötőanyag hozzáadásával stabilizált homok- és löszmintákon hajtottuk végre. A homok talaj stabilizációja cement és ViaCalco 50, a lösz talajok pedig cement, ViaCalco 30 és ViaCalco 50 kötőanyagok felhasználásával történt. A kötőanyagok hozzáadása három különböző mennyiség adagolással valósult meg, amelyek 40, 75 és 100 kg/m3 voltak. Ahogy a fentiekben már szerepel, a vizsgálatsorozatok normál állapotú, illetve 4 napig víz alatt tárolt próbatesteken is végrehajtásra kerültek. A reziliens modulus értékei a 100-as ciklusszámú terhelési lépcsők eredményeiből, valamint a 10 000 ciklusszám mellett végzett terhelés első és utolsó 10 ciklusának mérési adatsorából kerültek meghatározásra.

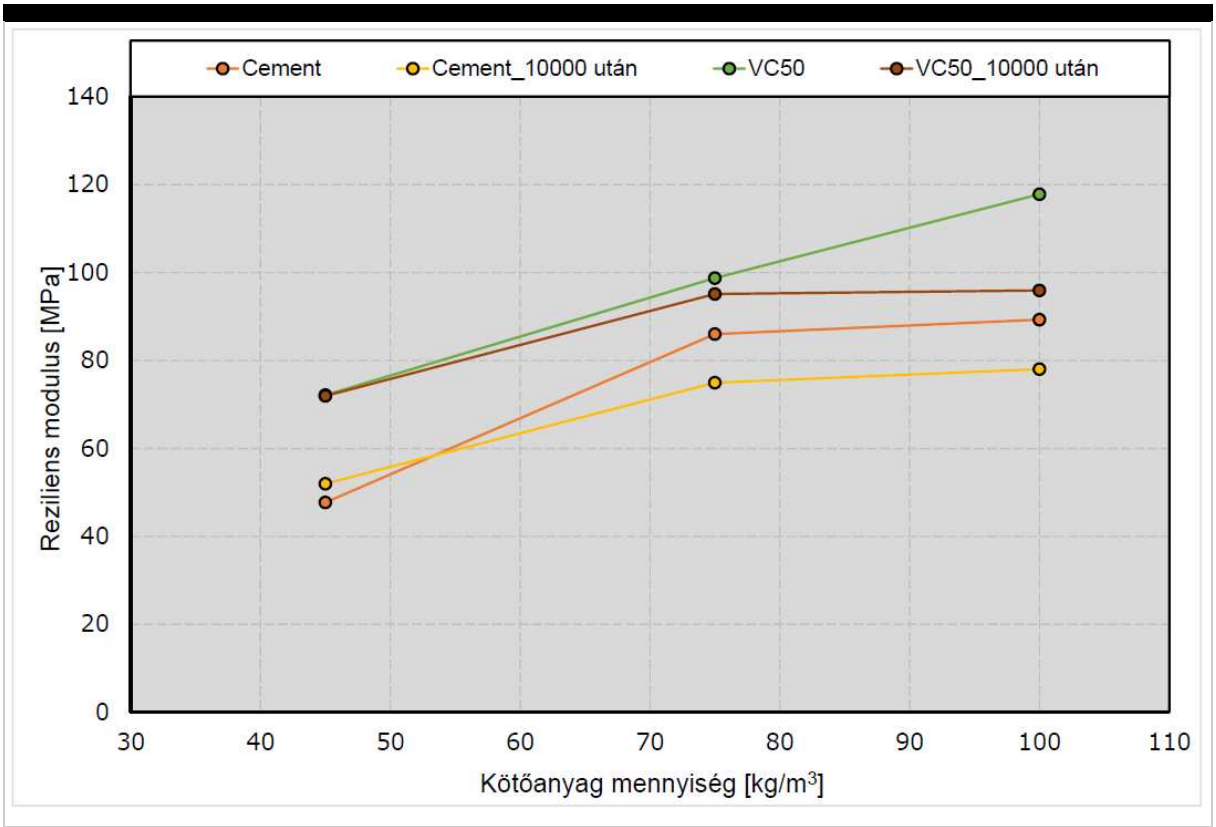
A 100 db ciklusszám mellett végzett terhelések esetében általános tapasztalat volt, hogy a reziliens modulus növekszik a deviátor feszültség emelkedésével, amint azt a 3. ábra is mutatja. Ezt a megfigyelést a normál, nem stabilizált talajokra fellelt szakirodalmi adatok nem támasztják alá, sőt az ellenkezőjéről számolnak be. Az ellentmondásra némi magyarázattal szolgál, hogy az általunk alkalmazott deviátor feszültségek a törőfeszültség kb. 10%-áig terjedtek, míg a szakirodalmi hivatkozásokban több helyen a deviátor feszültséget törésközeli feszültségig emelték.
A vizsgálatok eredményei alapján megállapítható volt továbbá, hogy az M_R értéke a kötőanyag-adagolás növelésével emelkedik. Az emelkedés mértéke nem egyenes arányos a kötőanyag-adagolással, ahogyan az a korábbi szakirodalmakban (Szendefy 2009) is szerepel, ami szerint az optimális kötőanyag-mennyiség eléréséig jelentős növekedés következhet be, azonban azt követően már nincs számottevő hatása az adagolás növelésének.



3. ábra
ViaCalco C50-tel stabilizált homok minták reziliens modulusa a deviátor feszültség és a kötőanyag mennyiség függvényében

A nem stabilizált talajokból készült minták a víz alá helyezve felpuhulnak és szétesnek, így az áztatás utáni teherbírásuk nem mérhető. A stabilizált talajminták vízzel szembeni tartósságának vizsgálata céljából a mintákat 4 napon keresztül víz alatt tároltuk, majd utána végeztük el a dinamikus triaxiális vizsgálatokat. Az eredmények nem adtak koherens összefüggést. A homok talaj cementtel stabilizált mintáinál, illetve a VC50 50 kg/m3 adagolású mintájánál a száraz mintánál is magasabb értékek adódtak, ami szerint a víz alatt tárolás nem rontotta, hanem javította a minták ellenálló képességét, míg a VC50 75 kg/m3 és 100 kg/m3 adagolásánál ~20%-os leromlás volt tapasztalható. A lösztalajok keverékeinél 20–40%-os leromlás volt tapasztalható, azonban a leromlás mértéke nem mutatott korrelációt a kötőanyag típusával vagy a kötőanyag adagolásával.

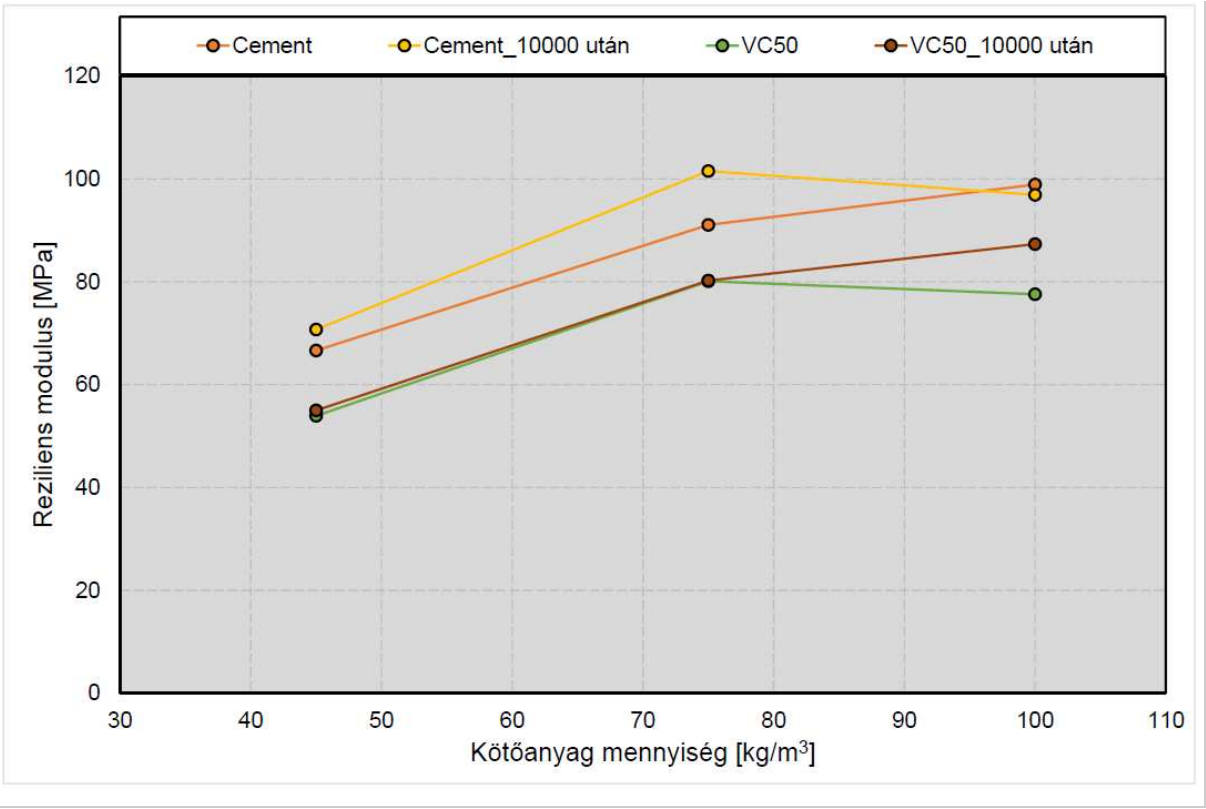
A homok talaj alapú stabilizációk esetében, azoknál a mintáknál, amelyeket nem tároltunk víz alatt, megfigyelhető volt, hogy a 10 000 ciklusszámú terhelés hatására az M_R értékében kismértékű csökkenés következik be. Az eredmények alapján a csökkenés nagyságát a kötőanyag-adagolás befolyásolja, ugyanis magasabb kötőanyag mennyiséget alkalmazva nagyobb csökkenés volt tapasztalható, amint azt a 4. ábra mutatja. Ez valószínűsíthetően azért következik be, mert a kötőanyag adagolással a merevség is nő, aminek jó része a kevésbé rugalmas hidraulikus kötésekből áll, és ezek terhelés hatására bekövetkező tönkremenetele okozhatja a merevség csökkenését is.



4. ábra

Stabilizált homok talaj reziliens modulus értékének változása a kötőanyag-adagolás mennyiségének és a terhelési ciklusszámnak függvényében

A stabilizált homok talajoknál tapasztalt trend nem jelent meg a stabilizált lösz talajok reziliens modulus értékeiben, ugyanis itt nem volt megfigyelhető leromlás, a 10 000 ciklus után inkább kismértékű felkeményedés volt tapasztalható. Ezt mutatja be az 5. ábra.

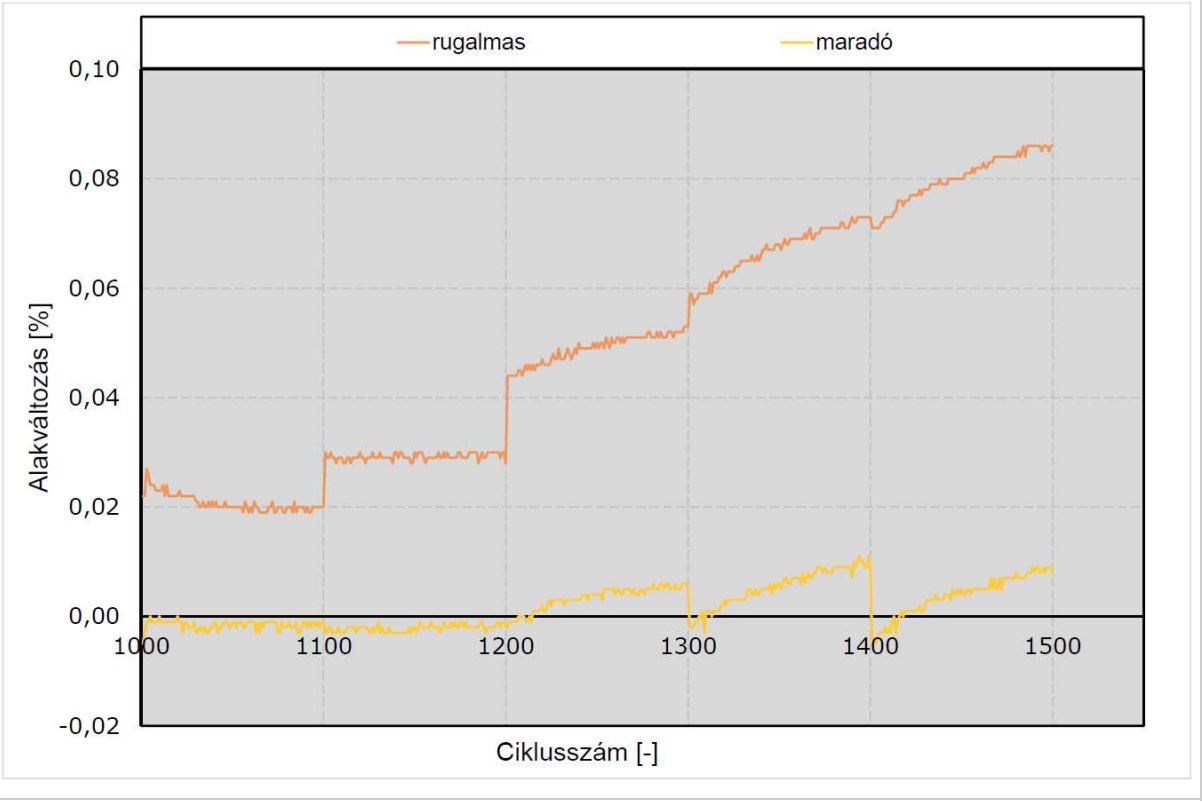


5. ábra

Stabilizált lösz talaj reziliens modulus értékének változása a kötőanyag-adagolás mennyiségének és a terhelési ciklusszámnak függvényében

A 4 napig víz alatt tárolt minták hasonló eredményeket mutattak, mint a száraz próbatestek. A stabilizált homok talajok esetében csökkenés nem volt kimutatható, ugyanakkor javulás sem következett be, míg a lösz talajokból készült stabilizációk eredményei kismértékű emelkedést mutattak.
Valamennyi vizsgálati eredményt tekintetbe véve megállapítható volt, hogy a homok minták összenyomódási modulusai adódtak a legnagyobbra, ezen belül a cementtel stabilizált minták adták a legnagyobb, 100 MPa feletti értékeket, míg a ViaCalcoval kezelt homok valamivel alacsonyabb, M_R=~100 MPa körüli modulust mutatott. A lösz minták esetében a reziliens modulus M_R=30-80MPa közötti értékekre adódott.

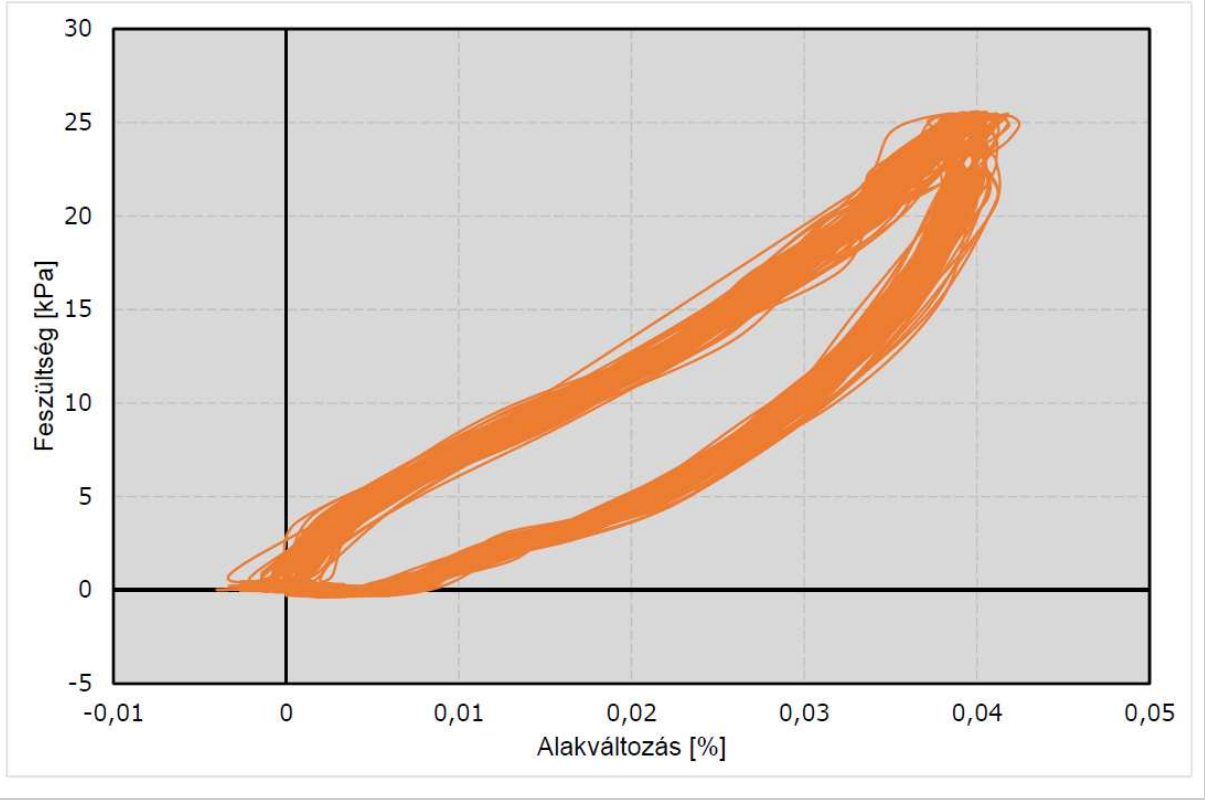
A reziliens modulus vizsgálata során a feszültség-alakváltozás összefüggéseit is elemeztük. Az eredményeket tekintve az első 100 ciklus során az alakváltozások növekednek, majd az első terhelési lépcső esetében az alacsonyabb devitátor feszültség alkalmazása miatt az alakváltozások csökkennek, azaz expanzió alakul ki. A második terhelési lépcső esetében a deviátor feszültség megegyezik a kondicionáló terhelés során alkalmazott értékkel, így gyakorlatilag nem alakul ki maradó alakváltozás. A további 100-as ciklusszámú terheléseken keresztül a deviátor feszültség emelkedésével az alakváltozások is növekednek. Az egyes terhelési lépcsők között az expanzió hatásának köszönhetően gyakorlatilag eltűnik a maradó alakváltozás, amit a 6. ábra szemléltet.



6. ábra

Áztatott, 100 kg/m3 adagolású cementtel stabilizált homok alakváltozása a 100 ciklus időtartamú terhelési lépcsők során a ciklusszám függvényében

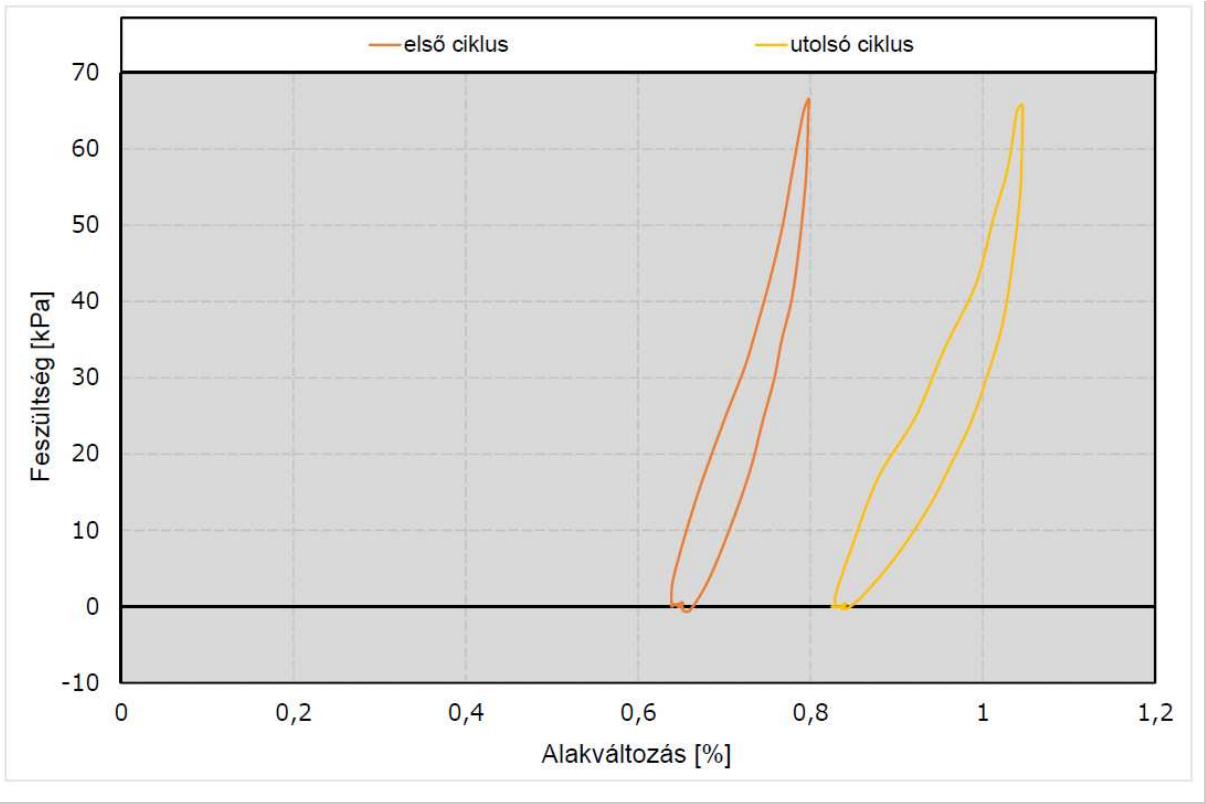
A 100-as terhelési lépcsők jellemző hiszterézis hurokjait mutatja a 7. ábra. A hiszterézis hurok az egy terhelési ciklus feszültség-alakváltozás összefüggéseként rajzolódik ki. Látható, hogy egy terhelési lépcsőn belül az alakváltozás minimálisan változik a ciklusszám emelkedésével. Szintén megjelenik az ábrán, hogy a 27,6 kPa deviátor feszültséggel végzett terhelési lépcső esetében gyakorlatilag nincs maradó alakváltozás, mivel a hurkok mindig az origóba térnek vissza. Minimális mértékű negatív feszültség és alakváltozás is létrejön, a terhelő berendezés elhanyagolható pontatlanságából fakadóan. Látható továbbá, hogy a reziliens modulus is szinte változatlan a terhelési lépcső során, mivel a hurkok meredeksége gyakorlatilag valamennyi ciklus esetében azonos.



7. ábra

A 27,6 kPa deviátor feszültség mellett végrehajtott 100-as ciklusszámú terhelés hiszterézis hurokjai

A végső, 10 000 ciklusszámú terhelés során az alakváltozások további növekedése figyelhető meg, azonban a növekedés ütemében eltérések tapasztalhatók az egyes minták eredményeinek összehasonlításakor. A teljes terhelések végén kapott alakváltozás alapján megállapítható, hogy globálisan az a tendencia érvényesül, miszerint a magasabb kötőanyag-adagolás esetén kisebb rugalmas és maradó alakváltozások jönnek létre, tehát nagyobb és „tartósabb” reziliens modulus érték adódik. A 10 000 ciklus során bekövetkező maradó alakváltozás jól szemléltethető a terhelés első és utolsó hiszterézis hurokjának ábrázolásával (8. ábra). A hurkok távolsága mutatja a 10 000 ciklus során kialakuló teljes maradó alakváltozást. Látható, hogy ennek mértéke akár az egy cikluson belül bekövetkező alakváltozás nagyságát is meghaladhatja.



8. ábra

A 10.000-es ciklusszámú terhelés első és utolsó ciklusához tartozó hiszterézis hurok

5. A dinamikus triaxiális mérések és a CBR-ből származtatott értékek összehasonlítása

A reziliens modulus meghatározása alapvetően a CBR-érték alapján történik. Ennek megfelelően a szakirodalomban több különböző összefüggés is megtalálható, amelyek segítségével a CBR teherbírás átszámítható M_R értékre. Ezen összefüggések többek közt azt a célt szolgálják, hogy a laboratóriumi vagy helyszíni CBR teherbírás mérés alkalmazásával számítható legyen a reziliens modulus, illetve a még kevéssé elterjedt dinamikus triaxiális berendezést igénylő közvetlen mérés helyett az M_R értéke egy egyszerűbb, kevésbé költséges laboratóriumi vizsgálattal is előállítható legyen. A laboratóriumi vizsgálatok során végrehajtott CBR-mérések eredményeit 7 különböző szakirodalmi ajánlás felhasználásával számítottuk át M_R értékekké, és vetettük össze a laboratóriumban mért M_R értékekkel. Az alábbiakban ismertetjük a szakirodalom kutatás során fellelt különböző szerzők által javasolt CBR és $M_R$összefüggéseket. Amennyiben az egyes összefüggések esetén valamilyen értéktartományt is megadtak a szerzők, úgy az egyes összefüggéseknél azokat is feltüntettük.

1. Heukleom&Klomp (1962):

$$M_R(psi) = 1,42 \cdot CBR \quad (1)$$

(értéktartomány CBR<10)

$$M_R(psi) = 1,5 \cdot CBR \quad (2)$$

(értéktartomány CBR=10-20)

2.Green&Hall (1975):

$$M_R(psi) = 5,409 \cdot CBR^{0,711} \quad (3)$$

(értéktartomány CBR 2-200)
3. Powell et al. (1984):

$$M_R(psi) = 2,554 \cdot CBR^{0,64} \quad (4)$$

(értéktartomány CBR 2-12)

4.Lofti et al (1988):

$$\log M_R(ksi) = 1,006 + 0,043(CBR) - 1,9557 \left(\frac{\log(\sigma_d)}{CBR} - 0,1705 \log(\sigma_d) \right) \quad (5)$$

5. Ohio DOT (2008):

$$M_R(psi) = 1,2 \cdot CBR \quad (6)$$

6. South African Council (2002):

$$M_R(psi) = 3,0 \cdot CBR^{0,65} \quad (7)$$

7. Georgia Department of Transportation:

$$M_R(psi) = 3,0 \cdot CBR^{0,65} \quad (8)$$

A különböző szerzők által publikált összefüggések alapján a laboratóriumban mért CBR értékből meghatározott M_R értékek az alábbi táblázatban láthatók. Az elemzés során kiszámításra kerültek az egyes elméletekből kapott legkisebb, legnagyobb és átlag értékek is, amelyeket szintén a 3. táblázat tartalmazza.

Talaj	Kötőanyag típusa és mennyisége	CBR	1. Heukleom &Klomp	2. Green&Hall	3.Powell et al.	4. Ohio DOT	5. South African Council	6. Georgia Department of Transportation	Min	Max	Átlag
Homok	Cement 40kg/m^3	128,15	1325,4	1175,5	393,3	1060,3	484,9	218,6	218,6	1325,4	776,3
Homok	Cement 75kg/m^3	133,50	1380,7	1210,2	403,7	1104,6	498,0	222,9	222,9	1380,7	803,3
Homok	Cement 100kg/m^3	133,70	1382,3	1211,2	404,0	1105,8	498,4	223,0	223,0	1382,3	804,1
Homok	VC50 40kg/m^3	74,30	797,5	797,5	277,3	614,3	340,1	168,4	168,4	797,5	494,3
Homok	VC50 75kg/m^3	96,80	1001,2	963,0	328,6	800,9	404,1	191,1	191,1	1001,2	614,8

Homok	VC50 100kg/m^3	106,00	1096,3	1027,2	348,3	877,0	428,7	199,6	199,6	1096,3	662,8
Lösz	Cement 40kg/m^3	23,50	243,0	351,9	132,8	194,4	161,0	97,2	97,2	351,9	196,7
Lösz	Cement 75kg/m^3	63,10	652,6	710,3	249,9	522,1	306,0	155,8	155,8	710,3	432,8
Lösz	Cement 100kg/m^3	79,30	820,2	835,7	289,3	656,1	355,0	173,8	173,8	835,7	521,7
Lösz	VC30 40kg/m^3	32,80	339,2	446,1	164,4	271,4	200,0	113,9	113,9	446,1	255,8
Lösz	VC30 75kg/m^3	37,55	388,4	491,1	179,3	310,7	218,3	121,5	121,5	491,1	284,9
Lösz	VC30 100kg/m^3	40,85	422,5	521,4	189,2	338,0	230,6	126,5	126,5	521,4	304,7
Lösz	VC50 40kg/m^3	30,75	318,0	426,1	157,8	254,4	191,8	110,5	110,5	426,1	243,1
Lösz	VC50 75kg/m^3	52,65	544,5	624,5	222,6	435,6	272,0	142,9	142,9	624,5	373,7
Lösz	VC50 100kg/m^3	58,00	599,9	669,0	236,8	479,9	289,7	149,6	149,6	669,0	404,1

3. táblázat

Stabilizált talajminták CBR értékeiből számított M_R értékei

Az eredményeket vizsgálva látható, hogy a CBR teherbírásból számított reziliens modulusok jóval magasabbak, mint a közvetlen mérésből kapott értékek. Méréseinkhez az átszámítási módok közül a legkisebb értékeket adó Georgia Department of Transportation ajánlása adta a legközelebbi értékeket. Ezek a homok talajok esetében a cementtel stabilizált mintáknál 200-220 MPa közötti értékeket, míg a dinamikus triaxiális vizsgálat eredményei 40-180 MPa között változtak a deviátor feszültségtől függően. A VC50 adalékszer hozzáadásával készített minták CBR értékeiből ezzel a módszerrel számítva 170-200 MPa nagyságú reziliens modulus adódik, míg a közvetlen mérés eredményei 40-120 MPa közötti értékek között mozogtak. Lösz talajok esetében cement kötőanyag használata mellett a CBR eredményekből számított reziliens modulus értékek 90-175 MPa között változtak, míg a közvetlen mérés eredményeként 45-105 MPa közötti értékeket kaptunk. A VC30 kötőanyaggal készített mintákon végzett CBR vizsgálatok 115-130 MPa közötti eredményeket mutattak, míg a dinamikus triaxiális vizsgálatok 30-85 MPa nagyságú reziliens modulus értékeket adtak. A tendencia a VC50 kötőanyag esetében is hasonló volt: a CBR vizsgálatok eredményeiből számított reziliens modulusok 110-150 MPa-os értékeivel szemben a közvetlen mérés 30-90 MPa közötti eredményeket adott.

Összességében véve a stabilizált földművek esetében az alkalmazott átszámítási módok közül tehát a legkisebb értékeket adó Georgia Department of Transportation ajánlása is 1,5-szeresen meghaladják a laboratóriumban dinamikus triaxiális berendezéssel mért M_R értékeket. A 7 különböző összefügéssel számítható értékek összehasonlítása alapján azonban látható, hogy az egyes eljárásokkal számított reziliens modulusok átlagértéke 3-4-szeres értéket mutat.

A közvetett eljárással meghatározott reziliens modulusok értéke jó egyezést mutat helyszíni vizsgálatok eredményével (Szendefy 2017), azonban a dinamikus triaxiális vizsgálatokból kapott értékekhez képest jelentős eltéréseket mutatnak. Ezzel szemben a dinamikus triaxiális vizsgálatokból kapott reziliens modulusok hasonló értékeket vettek fel, mint az általunk fellelt szakirodalmakban meghatározott értékek. A közvetlen és közvetett módszerek között ezért bizonyos ellentmondás jelentkezik, amelynek egyik lehetséges magyarázata, hogy a reziliens modulus érzékenyebben reagál a teherbírás változására, mint a CBR-érték. Az ellentmondás feloldása érdekében további vizsgálatok lennének szükségesek, amelyek segítségével meghatározható lenne, hogy az M_R értéke hogyan reagál a különböző paraméterek, mint például a víztartalom változására. Ezen felül megfontolandó továbbá, hogy a stabilizált talajokra a fenti számítási eljárások alkalmazása nem javasolt, helyettük más összefüggések kidolgozása válhat szükségessé.

6. Összefoglalás

A típuspályaszerkezetek használatán alapuló méretezési eljárás a földművet és annak teherbírását az E2=40 MPa értékkel veszi figyelembe. A hazai talajok többsége azonban nem tudja biztosítani ezt a teherbírást, ezért durvaszemcsés anyagból készült teherbírásjavító réteg beépítése szükséges. A durvaszemcsés réteg helyettesíthető a talajok kötőanyagos talajstabilizálásával, ami lehetőséget adna magasabb földmű teherbírások elérésére is. Azonban ezt a magasabb földmű teherbírási értéket a típuspályaszerkezet méretezés nem tudja figyelembe venni. Ezzel szemben az alternatív méretezési eljárás lehetőséget biztosít arra, hogy a pályaszerkezet optimalizálása elvégezhető legyen a földmű, az alapréteg és a burkolati rétegek teherbírása és más fizikai tulajdonságai alapján.

A kutatás során az alternatív pályaszerkezet méretezéséhez használt összefüggések bemenő paraméterét, a földmű dinamikus, forgalmi terheléshez hasonló terhelésből számítható rugalmassági modulusát, az úgynevezett reziliens modulus (M_R) értékét vizsgáltuk kötőanyaggal stabilizált talajok esetében. Az M_R a dinamikus teher és az annak hatására létrejövő rugalmas alakváltozás hányadosából számítható, mérése dinamikus triaxiális berendezéssel történik, illetve a szakirodalomban fellelhetők más talajfizikai mérésekből (pl. CBR) való átszámítási módok is. Hazánkban korábban még nem végeztek M_R meghatározásház szükséges dinamikus triaxiális vizsgálatokat, a technikai feltételek is csak az elmúlt években lettek adottak ehhez. A vizsgálatok során homok és lösz talajokból készült talajstabilizációs minták dinamikus triaxiális vizsgálatait végeztük el, amelyekből meghatározott M_R értékek a szakirodalomban fellelhető értékekkel jó azonosságot mutattak. A mérési eredmények alapján a homok talajoknál a kötőanyag típusa és mennyisége, valamint a deviátor feszültség függvényében M_R=40-120MPa, míg lösz talajoknál M_R=30-80MPa értékeket kaptunk. A stabilizált talajminták esetében a reziliens modulus értékek 4 nap víz alatti tárolás hatására nem mutattak számottevő értékcsökkenést, ami bizonyítja a stabilizált talajok vízzel szembeni ellenállóképességét.

A reziliens modulus mérések során kiegészítő vizsgálatokat végeztünk, ahol további nagy számú (10.000db) teherciklussal terheltük a mintákat és vizsgáltuk a létrejövő alakváltozásokat. A mérések szerint a rugalmas alakváltozás nagysága érdemben nem változott a 10.000 ciklus után, így az M_R értéke is kvázi változatlannak tekinthető, azonban említésre méltó maradó alakváltozások következtek be, amelyek pályaszerkezetre gyakorolt hatását a továbbiakban még vizsgálni szükséges.
A stabilizált talajok teherbírásnak meghatározása céljából CBR vizsgálatok is készültek. A CBR

vizsgálatok eredményeiből a szakirodalomban megtalálható összefüggések alapján M_R érték is számítható. A számított értékek a dinamikus triaxiális berendezéssel mért M_R értékeknél minden esetben magasabb értékeket adtak, a különböző összefüggések alapján számítható értékek között akár fél nagyságrendi eltérés is adódott. A dinamikus triaxiális vizsgálatok eredményeiből közvetlenül kapott reziliens modulus értékek jó egyezést mutatnak a szakirodalomban fellelhető értékekkel. Egyelőre bizonytalan, hogy mi eredményezi ezt az ellentmondást az eredményekben, ennek feloldására az összefüggések további elemzése és hazai összehasonlító vizsgálatok készítése lenne szükséges.

7. Irodalomjegyzék

Achampong, F., Usmen, M., Kagawa, T. (1997): Evaluation of reziliens modulus for lime- and cement-stabilized synthetic cohesive soils, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 1589

Akoto, B. K. A. (1986): The effect of repeated loading on the ultimate unconfined compressive strength of a lime-stabilized laterite, Engineering Geology, 23: 125-135

Bandara, N., Rowe, G. M. (2003): Design subgrade resilient modulus for Florida subgrade soils, in: Durham

Berg, R. L., Bigl S. R., Stark, J., Durell, G. (1996): Resilient Modulus Testing of Materials from Mn/ROAD Phase1, Technical Report Minnesota Department of Transportation

Buchanan, S. (2007): Resilient Modulus: What, Why and How?, Report, Vulcan Materials Company

Drumm, E. C., Boateng-Poku, Y., Johnson Pierce, T. (1990): Estimation of subgrade resilient modulus from standard tests, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 116, No. 5

Durham, G. N., Marr, W. A., De Groff, W. L. (2003): Resilient Modulus Testing for Pavement Components ASTM STP 1437

Kung, J. H. S., Lin, H. D., Yand, S-J., Huang, W-H. (2006): Reziliens modulus and Plastic Strain of Unsaturated Cohesive Subgrade Soils

Li, J., Qubain, B. S. (2003): Resilient modulus variations with water content

Mohammad, L. N., Herath, A., Abu-Farsa
kh, M. Y., Gaspard, K., Gudishala, R. (2007): Prediction of resilient modulus of cohesive subgrade soils from dynamic cone penetrometer test parameters, Journal of Materials in Civil Engineering, 2007 november

Primusz P., Tóth Cs., Pethő L. (2016): Alternatív méretezési eljárásokra vonatkozó tanulmány és az alternatív módszerek bevezetését segítő irányelv

Qiu, X., Yang, Q., Wang, B., Luo, X. (2014): Prediction model of dynamic resilient modulus of cohesive subgrade soil based on triaxial test system, Key Engineering Materials Vols. 579-580, pp 873-876

SAS, W., Gluchowski, A., Szymanski, A., (2012): Determination of the Resilient modulus M_R for the lime stabilizaed clay obtanied form the repeted loading CBR test, Annals of Warsaw University of Life Sciences Land Reclamatoin No44

Szendefy J. (2009): A hazai talajok szerkezetének és teherbírásának változása meszes talajstabilizáció hatására, Phd dolgozat Budapesti Műszaki És Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar

Szendefy J. (2014): Viacalcoval kezelt talajok laboratóriumi vizsgálata, Geotechnika Konferencia, Ráckeve

Szendefy (2017): Kutatási jelentés aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének alternatív módszere című tervezői utasítás geotechnikai paramétereinek pontosítására

Trindade, T. P., Carvalho, C. A. B., Silva, C. H. C., de Lima, D. C., Barbosa, P. S. A. (2003): Resilient modulus of soils and soil-cement mixtures, in: Durham

Vogrig, M. & all. (2003): A Laboratory Technique for Estimation the Resilient Modulus of Unsaturated Soil Specimens from CBR and Unconfined Compression Test, 56th Canadian Geotechnical Conference

Adatok

Megjelent itt
10. szám
2017. ősz

Szerző

Back Márta
Építőmérnök MSc hallgató, BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Szendefy János
Okl. építőmérnök, PhD, egyetemi adjunktus BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Témakörök
Egyéb kategória

Kulcsszavak

Befogadva
2017. december 3.

Hozzászólás

Hozzászólás

* Név

* E-mail cím

Honlap

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Szakolvasó

Témakörök

© Copyright Útügyi Lapok 2019 • *Minden jog fenntartva.*

Az Útügyi Lapok félévente elektronikus formában megjelenő, online szabadon elérhető kiadvány, erre tekintettel jelenleg nem előfizethető. Alkalmanként azonban papíralapon is megjelenik, amennyiben szeretne a papír alapú megjelenésről értesítést illetve példányt kapni, kérjük érdeklődési szándékát az alábbi címen jelezze: utugyilapok@makadam.hu. *A lapban megjelent cikkek a szerzőik személyes véleményét fejezik ki és nem feltétlenül egyeznek meg a szerkesztők véleményével illetve ismereteivel.*

Útügyi lapok 11

Cikk

Klimatikus viszonyok hatása a reziliens modulusra II.: Reziliens modulus meghatározása

Az úttervezésben gyakran használt reziliens modulus értékét a földmű víztartalma és hőmérséklet eloszlása (fagyás-olvadás ciklus) jelentősen befolyásolja. Jelen publikációban Zapata és társai által 2007-ben publikált módszerét mutatjuk be, amely a reziliens modulus meghatározását tartalmazza a klimatikus hatások figyelembe vételével.

1. Bevezetés

A publikáció első részében bemutattuk a reziliens modulust befolyásoló tényezőket, illetve Zapata és társai (2007) ajánlását a tényezők mérésére, számítására. A második részben bemutatjuk a reziliens modulus számításának Zapata és társai (2007) által kidolgozott lépéseit a korábban ismertetett klimatikus hatások figyelembe vételével.

2. Kötőanyag nélküli burkolati rétegek reziliens modulusa

A korábbiakban említettük, hogy a kötőanyag nélküli burkolati réteg reziliens modulusának (MR) talajadatokból történő becslésére számos befolyásoló tényezőt figyelembe kell venni; ilyen a kialakult feszültségállapot, a víztartalom és száraz térfogatsűrűség összefüggése, a fagyás és olvadás ciklusok hatása.
A víztartalom és a hőmérséklet időbeli változásának hatása az összetett környezeti korrekciós tényező alkalmazásával (F_{env}) vehető figyelembe. Az eljárás minden klimatikus tényezővel foglalkozik és a víztartalmat, a szívást és a hőmérsékletet az idő függvényében adja meg a réteg tetszőleges pontjában, melyekből az F_{envR}) a következőképpen fejezhető ki:

$$M_R = F_{env} \cdot M_{Ropt} \qquad (1)$$

(1)
Az Fenv gyakorlatilag egy korrekciós tényező, mely az optimális állapothoz tartozó reziliens modulust (MRopt) az aktuális talajállapotra jellemző modulussá (MR) transzformálja. Ez az összefüggés azt feltételezi, hogy az optimális reziliens modulus és a klimatikus tényező egymástól független változónak tekintheti. A korábbi tapasztalatok alapján ez nem feltétlenül igaz minden esetre, a számítás során jelentős pontatlanságot nem okoz, és így a korrekciós tényező, mint a klimatikus hatások függvénye számítható anélkül is, hogy pontosan tudnánk MRopt értékét.

A közelítő számításokat, melyek figyelembe veszik a víztartalom változását és a fagyás-olvadás ciklusok hatását a kötőanyag nélküli rétegek reziliens modulusára, a következő pontokban tárgyaljuk.

2.1. Klimatikus viszonyok határa a reziliens modulusra

Witczak és társai (2000) alapos irodalomkutatás során jelentős mennyiségű modellt gyűjtöttek össze, melyek kapcsolatot teremtenek a reziliens modulus változása és a víztartalom között. A publikált módszereket (Li and Selig, 1994; Drumm et al., 1997; Rada and Witczak, 1981; Santha, 1980) alkalmazva kiválasztható a modell, mellyel analitikus becslést adhatunk a reziliens modulus és a víztartalom kapcsolatára. Ez a modell a következő:

$$\log \frac{M_R}{M_{opt}} = a + \frac{b-a}{1 + e^{\ln(-\frac{b}{a}) + k_m \cdot (S - S_{opt})}} \qquad (2)$$

(2)

ahol:

M_R/M_{Ropt} - a reziliens modulusok aránya

a - $\log(M_R/M_{Ropt})$ minimuma

b - $\log(M_R/M_{Ropt})$ maximuma

k_m - regressziós paraméter

$S - S_{opt}$ - a telítettségi fok eltérése.

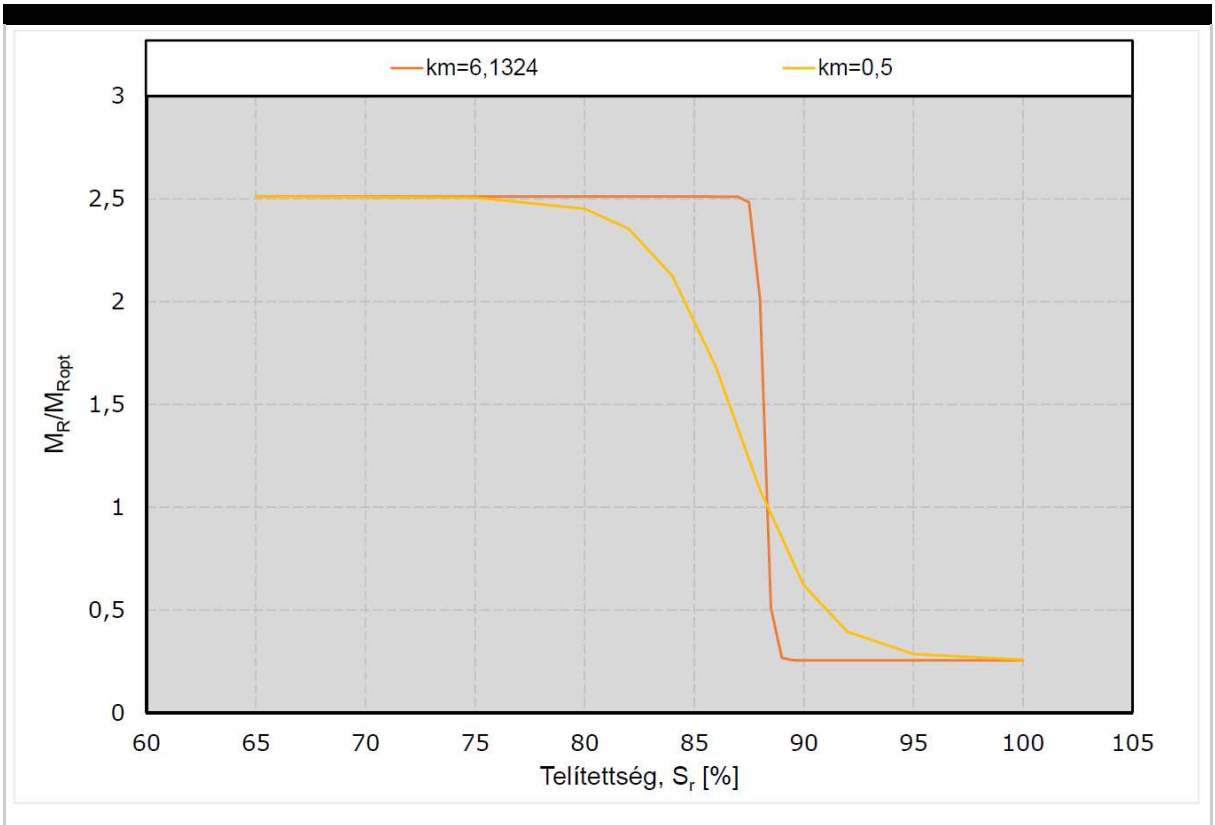
Szakirodalmi adatok alapján a modulusok maximális aránya 2,5 a finomszemcsés talajok és 2,0 a durvaszemcsés talajok esetén. Az a, b és k_m értékek finom- és durvaszemcsés talajok esetére az 1. táblázatban láthatók. (A talaj akkor minősül finomszemcsésnek, ha a 0,074 mm-nél kisebb szemcsék aránya nagyobb, mint 50 %).

Paraméter	Durvaszemcsés talaj	Finomszemcsés talaj	Megjegyzések
a	-0,3123	-0,5934	Regressziós paraméter
b	0,3	0,4	2,0-2,5 modulus aránynak megfelelően
k_m	6,8157	6,1324	Regressziós paraméter

1. táblázat

Az a, b és k_m paraméterek értéke durva- és finomszemcsés talajok esetén

A telítettség hatását figyelembe vevő 2. képlet tág határokat biztosít e hatás figyelembe vételére. A 1. táblázatban meghatározott paraméterekkel kapcsolatban azonban meg kell jegyezni, hogy a javasolt km paraméter az MR értékét valószínűtlenül telítettség-érzékennyé teszi: néhány tized százalék változás a telítettségben kb. egy nagyságrend változást okoz a reziliens modulusban. A korábbi tapasztalatok, valamint a telítetlen talajokra jellemző alapösszefüggések ismeretében az nagyon valószínűtlennek tűnik, különös tekintettel arra, hogy az optimális telítettség meghatározásában is van néhány százalék bizonytalanság. Az 1. ábrán bemutatjuk, hogy egy kötött talajnál a telítettség miként befolyásolja a számított M_R/M_{Ropt} arányt különböző km paraméterek esetén. A km=0,5 értékkel meghatározott (piros) görbe érzésünk szerint valósághűbb lehet.



1. ábra
A k_m paraméter hatása ($S_{r,opt} = 88,3\%$)

A fagyás-olvadás ciklus tanulmányozására jelentős számú szakirodalmi adat áll rendelkezésre (Witczak et al., 2000). A feldolgozott kutatás célkitűzése, hogy konkrét értékeket adjanak a megfagyott talaj reziliens modulusára (M_{Rfrz}), illetve az M_{Rmin} és M_{Runfrz} arányára, ahol az M_{Rmin} az olvadás utáni érték, továbbá M_{Runfrz} a természetes, eredeti állapotú talaj MR értéke. A két érték arányát redukciós tényezőnek (RF) nevezik. A gyakorlatban használt összefüggések egy része az RF értéket az M_{Runfrz}-ből, egy másik része pedig a M_{Ropt}-ból származtatja, ebből kifolyólag a konzervatív becslést használva a kettő közül a kisebb érték használandó:

$$RF = \frac{M_{Rmin}}{min(M_{Runfrz}, M_{Ropt})} \tag{3}$$

(3)
A szakirodalomban található átlag értékek a következők: $M_{Runfrz=20658MPa}$ durvaszemcsés talajoknál, $M_{Rfrz=13079MPa}$ a finomszemcsés iszap és iszapos homok talajoknál és $M_{Rfrz=6895MPa}$ agyagok esetén. Felolvadt talajra a MR leépülésének foka jól korrelál a talaj fagyveszélyességével, illetve fagyállóságával kedvező feltételek mellett. A fagyveszélyesség becsülhető a P_{200} érték és a PI segítségével. A 2. és 3. táblázatokban az ajánlott RF értékek láthatók durva- és finomszemcsés talaj esetén a P_{200} és PI függvényében.
A talaj fagyás utáni felépülése időben növekvő modulust ad, melyet a felépülési aránnyal (RR) tudunk jellemezni. Az értéke 0 és 1 között változik:

• $RR = 0$, azonnal olvadás után, mikor a többlet víz a szívást nullára csökkenti, $M_{Rrecov} = M_{Rmin}$

• $RR = 1$, amikor a szívás megegyezik az adott talajvízszintnek megfelelő értékkel, $M_{Rrecov} = M_{Runfrz}$

$$RR = \frac{\Delta t}{T_R} \tag{4}$$

(4)

ahol:

RR - felépülési tényező

Δt - az olvadás kezdés pontja óta eltelt idő (óra)

T_R - felépülési idő (óra) (azaz idő, melyre a talajnak szüksége van, hogy olvadás után az eredeti állapotba kerüljön vissza)

A felépülési idő talajtípus függvénye, $TR = 90nap$ homokok és kavicsok esetén $(WPI < 0,1)$, $120nap$ iszapok és agyagok esetén $(0,1 < WPI < 10)$ és 150 nap agyagok esetén $(WPI > 10)$.

Durvaszemcsék eloszlása	P_{200} (%)	PI<12%	PI=12 – 35%	PI>35%
Többnyire kavics	<6	0,85	–	–
(P_4<50%)	6 – 12	0,65	0,70	0,75
	12<	0,60	0,65	0,70
Többnyire homok	<6	0,75	–	–
(P_4>50%)	6 – 12	0,60	0,65	0,70
	12<	0,50	0,55	0,60

2. táblázat

RF ajánlott értékei finomszemcsés talajok esetén $(P200 > 50\%)$

P_{200} (%)	PI<12%	PI=12 – 35%	PI>35%
50-85	0,45	0,55	0,60
>85	0,40	0,50	0,55

3. táblázat

RF ajánlott értékei finomszemcsés talajok esetén $(P200 > 50\%)$

2.2. Klimatikus korrekciós tényező számítása

Ahhoz, hogy a két vagy több rétegű rendszer kombinált modulusa meghatározható legyen, mely a mélységgel és idővel is változik, szükséges a klimatikus korrekciós tényező számítása. Ahogy korábban láthattuk a reziliens modulus tetszőleges időben és tetszőleges pontban meghatározható a F_{env} és M_{Ropt} felhasználásával.
A klimatikus korrekciós tényező általában a különböző feltételek mellett előforduló tényezők figyelembe vételével adható meg:
• Fagyás: fagyott talaj – F_F
• Felépülés: olvadt talaj – $F - R$
• Nem fagyott, természetes, teljesen felépült talaj – F_U
Ezek figyelembe vételével határozható meg az egyes pontokra jellemző reziliens modulus, majd a teljes rétegrendre vonatkoztatott reziliens modulus és F_{env}.

2.3. Korrekciós tényező csomóponti szinten

A burkolat szerkezetét egy sor olyan pont jellemzi, amelyekben a nedvesség, szívás és hőmérséklet tetszőleges időpillanatban számítható. Az F_F értéke mindegyik pontban, amelyekben a fagypont alatti hőmérséklet lép fel számítható a következő módszerrel:
• M_{Ropt} egy közvetlen bemeneti paraméter vagy becsülhető más mérnöki tulajdonságokból, így például CBR, R-értékből, a szerkezeti réteg együtthatóból (a_i), behatolási indexből, vagy az szemeloszlási paraméterekből. (Az MRopt becslése nem képezi részét a tanulmánynak.)
• A fagyott réteg reziliens modulusa, M_{Rfrz}: ha $WPI = 0$, akkor $M_{Rfz} = 17238MPa$; ha $WPI > 0$, akkor $M_{Rfrz} = 6895MPa$.
A fagyási korrekciós tényező számítható (Witczak et al., 2000):

$$F_F = \frac{M_{Rfrz}}{M_{Ropt_est}} \tag{5}$$

(5)
A korrekciós tényező minden pontban számítható olvadó talajra az olvadást követően amíg RR

• RR számítása a 4. egyenlet alapján
• S_{opt} számítása (az I. cikk 19. egyenlete alapján)
• S_{equil} számítása a víztartási görbéből (Fredlund és Xing, 1994)

$$S_{equil} = \left(1 - \frac{\ln(1+\frac{h}{h_r})}{\ln(1+\frac{10^6}{h_r})}\right) \cdot \left(\frac{1}{\left[\ln\left[e + \left(\frac{h}{a_f}\right)^{b_f}\right]\right]^{c_f}}\right) \quad (6)$$

(6)

ahol:

h - $\gamma_{GWT} \cdot \gamma_{water}$

v_{GWT} - talajvíz mélysége

a_f, b_f, c_f, h_r - korábban definiált paraméterek

R_{equil} számítása (Witczak et al., 2000):

$$\log R_{equil} = \log \frac{M_{Requil}}{M_{opt}} = a + \frac{b-a}{1 + e^{\ln(-\frac{b}{a}) + k_m \cdot (S - S_{opt})}} \quad (7)$$

(7)

ahol:

a, b, k_m - az 1. táblázatban definiált konstansok

RF - számítása táblázatok alapján (2. és 3. táblázat)

F_R - számítása

Ha $(S_{equil} - S_{opt})0 : FR = R_{equil}(RF + RR - RR \cdot RF)$
Az F_U felépült, kiolvadt talaj korrekciós tényezője a következő egyenlettel számítható (Witczak et al., 2000):

$$\log F_U = \log \frac{M_R}{M_{opt}} = a + \frac{b-a}{1 + e^{\ln(-\frac{b}{a}) + k_m \cdot (S - S_{opt})}} \quad (8)$$

(8)

ahol:

a, b, k_m - konstansok az 1. táblázatból

S - a becsült telítettségi fok az adott pontban.

3. A szerkezeti réteg összetett korrekciós tényezői

Egy adott rétegrendet megfagyott, kiolvadt és természetes állapotú rétegek együttese is alkothatja. Ennél fogva szükséges egy kombinált korrekciós tényező, mely minden alréteg hatását figyelembe veszi. Az összetett korrekciós tényező számítása akkor is hasznos, ha a rétegek azonos állapotban vannak (megfagyott vagy kiolvadt); ez azért is szükséges, mert a korrekciós tényező a réteg pontjáról pontjára változik, így a teljes réteget egy ekvivalens tényezővel kell jellemezni.

Az ekvivalens modulus meghatározása a „sorba kapcsolt lineáris rugók” analógiája szerint végezhető el. A hasonlatot alkalmazva a pont-idő mátrix oszlopainak elemei a sorba elhelyezett rugók rugalmassági modulusai (egy rugó pontonként). Ha az alkalmazott feszültség σ, akkor az elmozdulás a rugóban az adott pontban és időnövekményben számítható.

Ahhoz, hogy megkapjuk az átlagos elmozdulásokat a teljes vizsgálati időtartam alatt a következő egyenlet szükséges:

$$\delta_{average} = \sigma \frac{1}{t_{total}} \sum_{t=1}^{t_{total}} \left[\sum_{node=1}^{n} \left(\frac{h_{node}}{M_{Rnode,t}} \right) \right] \tag{9}$$

(9)

ahol:

t - az idő (a mátrix oszlopának megfelelően)

h_{node} - a vizsgált ponthoz rendelt rugó hossza

M_{Rnode} - a csomópont reziliens modulusa

t_{total} - az időnövekmények maximális száma (EICM egy órát használ).

Ezután a kombinált modulus meghatározható: meg kell találni azt a M_{Rcomp} értéket, mely ugyanazt a $\delta_{average}$ elmozdulást adja az alkalmazott σ feszültségre. A $\delta_{average}$ egyenlővé téve az összetett modellből kapott értékkel, és egyszerűsítve szigmával a következő egyenletet kapjuk:

$$\frac{h_{total}}{M_{Rcomp}} = \frac{1}{t_{total}} \sum_{t=1}^{t_{total}} \left[\sum_{node=1}^{n} \left(\frac{h_{node}}{M_{Rnode,t}} \right) \right] \tag{10}$$

(10)

ahol:

h_{total} - a vizsgált réteg teljes magassága.

Mivel a reziliens modulus tetszőleges pontban és időpillanatban kifejezhető a korrekciós tényező és az optimális reziliens modulus szorzataként, ezért a kombinált

korrekciós tényező az alrétegre meghatározható a következő összefüggéssel:

$$\frac{h_{total}}{F_{env} \cdot M_{Ropt}} = \frac{1}{t_{total}} \sum_{t=1}^{t_{total}} \left[\sum_{node=1}^{n} \left(\frac{h_{node}}{F_{node,t} \cdot M_{Ropt}} \right) \right] \tag{11}$$

(11)

$$F_{env} = \frac{h_{total} \cdot t_{total}}{\sum_{t=1}^{t_{total}} \left[\sum_{node=1}^{n} \left(\frac{h_{node}}{F_{node,t}} \right) \right]} \tag{12}$$

(12)

ahol:

F_{env} - a vizsgált alrétegek összetett korrekciós tényezője

$F_{node,t}$ - korrekciós tényező tetszőleges pontban, tetszőleges időpillanatban (mely lehet FF, FR, FU a talaj állapotától függően.)

Azaz számított ekvivalens modulusok egy tetszőleges időtartamra átlagolhatóak és ezek az átlagok vehetők figyelembe a tervezés során. A módszer a teljes tervezési élettartamra alkalmazható (pl. 20 évre és hónapokra vagy két hetekre osztva) .

4. Összegzés

Ismert tény, hogy az útpályaszerkezet deformációit az altalaj kompresszibilitása jelentősen befolyásolja, ez pedig összefüggésben van a talaj víztartalmával. A légköri és klimatikus hatások miatt a talaj felső ~2-2,5 m vastagságú rétegében a víztartalom folyamatosan változik, azaz az altalaj alakváltozási jellemzői nem tekinthetők állandónak, így az úttervezésben használt reziliens modulus értéke sem. A Zapata és társai (2007) által javasolt számítási módszer célkitűzése, hogy a reziliens modulus számítására olyan eljárást adjon, amely ezeket a klimatikus hatásokat is figyelembe veszi. Ennek eredményeként valamilyen klimatikus körülmények feltételezésével meghatározható, hogy az útpálya élettartama során várhatóan hogyan változik a reziliens modulus értéke. Az eljárás az alábbi pontokban foglalható össze:

1. Klimatikus hatások következtében kialakuló hőmérsékleti és víztartalmi viszonyok meghatározása. Ez a számítás összetettsége miatt számítógépes szoftverek segítségével végezhető el; ilyen például a Zapata és társai (2007) által is bemutatott EICM program, de több épületfizikai vagy geotechnikai program is képes ezek a kapcsolt hő- és nedvességtranszport folyamatok számítására. Egy ilyen számítás számos meteorológiai bemenő adatot igényel, ezeket – az egyéb bemenő adatokkal együtt – a 8. táblázatban foglaljuk össze. A számítás eredménye egy mélység függvényében meghatározott, időben változó víztartalom (szívás) és hőmérséklet

profil. Utóbbi elsősorban azért szükséges, hogy az átfagyott talaj vastagsága meghatározható legyen.

2. Az 1. számítási lépés eredményei alapján határozható meg az egyes rétegekre jellemző reziliens modulus, majd ezek alapján számítható az egész rétegrend kombinált reziliens modulusa. Az eljárás során egy réteg tetszőleges számú alrétegre bontható a pontosság növelése érdekében. A számítási lépés első fázisa annak megállapítása, hogy a talaj milyen állapotban van, mivel eltérő számítási módszer alkalmazandó természetes állapotú talajokra, fagyott talajokra, illetve olvadás utáni állapotban lévő talajokra az alábbiak szerint:

a.Természetes állapotú talajok esetén a talaj telítettségének függvényében szükséges csökkenteni (optimálisnál nagyobb telítettség esetén) vagy növelni (optimálisnál kisebb telítettség esetén) a kiindulási (optimális telítettséghez tartozó) reziliens modulus értéket.
b. Fagyott állapotú talaj esetén a szakirodalmi adatok alapján ilyen talajok esetén kb. két nagyságrenddel nagyobb (konstans) reziliens modulus vehető figyelembe.
c. Olvadás utáni állapotban lévő talaj esetén időben változó reziliens modulus vehető figyelembe. Az értéke közvetlenül az olvadást követően a legkisebb, majd az olvadást követően eltelt idő függvényében a telítettség figyelembe vételével számítható. Az olvadást követően talajtípustól függően, 90-150 napig „érezhető” még az olvadás hatása, ezt követően a talaj természetes állapotúnak tekinthető.

3. Az egyes (al)rétegek reziliens modulusának ismeretében bármely kiválasztott időpillanathoz számítható egy kombinált reziliens modulus.

4. A bemutatott módszer óránként javasolja a reziliens modulus meghatározását, majd a vizsgálandó időszakra (pl. két hét, egy hónap) egy átlagértéket határoz meg.

Vizsgálati szintek		**1.**	**2.**	**3.**
Talajadatok	Talajazonosítás	X	X	X
	Tömöríthetőség	X	X	
	Telített áteresztőképesség	X		
	Víztartási görbe	X		
	Száraz termikus vezetőképesség	X		
	Száraz hőkapacitás	X		
Meteorológiai adatok	Levegő hőmérséklete	X	X	X
	Felszín hőmérséklete	X	X	X
	Légnyomás	X	X	X
	Szélsebesség	X	X	X

	Napsütés (%-ban)	X	X	X
	Átlagos felhőtakarás	X	X	X
	Felhőzet magassága	X		

4. táblázat
Szükséges bemenő paraméterek

A javasolt számítási módszer egy sok lépésből álló eljárás a reziliens modulus meghatározására, amely akár minimális rendelkezésre álló talajadat esetén is elvégezhető. Az eljárás lehetőséget ad pontos bemenő talajparaméterek megadására (1. szint) – ekkor a gyakorlatban ritkábban használt paramétereket is laboratóriumban kell meghatározni (pl. víztartási görbe, száraz termikus vezetőképesség stb.), de nem zárja ki annak lehetőségét sem, hogy a leggyakoribb paraméterek alapján lehessen a számítást elvégezni. Ez utóbbi esettel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a szükséges bemenő anyagjellemzők ez esetben többszöri korreláció eredményeként alakulnak ki, ez a megbízhatóságot nagyban csökkenti.

Mindkét esetben szükséges a meteorológiai adatok részletes ismerete óránkénti rendszerességgel. Ez meglehetősen nagy és speciális adatigény, a későbbiekben célszerű lehet érzékenységi vizsgálatok elvégzése annak megállapítása érdekében, hogy mely adatok ismerete szükséges feltétlenül és melyeket lehet esetleg becslés alapján megadni. A helyszínen, a vizsgált rétegrendben kialakuló hőmérséklet- és víztartalomviszonyok meghatározása nem csak a bemenő adatigény miatt komplikált, hanem azért is, mert a számítás gyakorlatilag csak szoftver segítségével lehet végezni. Erre a cikkben javasolton túlmenően más (pl. geotechnikai) program is alkalmas lehet. Ennek további előnye, hogy a transzport folyamatok mellet az állapotfüggő mechanikai jellemzők figyelembe vételére is alkalmas, így akár a további számítási lépéseket is kiválthatja. Ezen túlmenően egy iylne kapcsolt hőmozgás–vízmozgás és mechanikai modell a kombinált reziliens modulust is pontosabban adja meg, mint a javasolt „sorba kapcsolt rugók” analógia alapján végzett számítás.

Az említett nehézségek ellenére is kijelenthető, hogy az eljárás jól használható a klimatikus viszonyok reziliens modulusra gyakorolt hatásának figyelembe vételére. Hatékonyan és gyakorlatiasan kezeli az alapvető klimatikus és mechanikai folyamatokat, ráadásul a kidolgozott eljárás tekinthető egyfajta „keretrendszernek” is, melynek elemei cserélhetőek, módosíthatóak, azaz az eljárás jól igazítható a helyi tapasztalatokhoz.

5. Felhasznált irodalom

Drumm E. C., Reeves J. S., Madgett, M. R., Trolinger, W. D. (1997): Subgrade Resilient Modulus Correction for Saturation Effects, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 123, No. 7, p. 663-670.

Fredlund D. G., Rahardjo H., Fredlund M. D. (2012): Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice. New Jersey: John Wiley & Sons. 944 p. ISBN: 978-1-118-13359-0

Li D., Selig E. T. (1994): Resilient Modulus for Fine Grained Subgrade Soils, ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 120, No. 6, p. 939-957.

Rada G., Witczak M. W. (1981): Comprehensive Evaluation of Laboratory Resilient Moduli Results for Granular Material, Transportation Research Record 810, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 23-33.

Santha, B.L. (1980): Resilient Modulus of Subgrade Soils: Comparison of Two Constitutive Equations, Transportation Research Record 1462, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1980, p. 79-90.

Szendefy J., Back M. (2017) A talajok reziliens modulusának meghatározása, mérési eredmények bemutatása, Geotechnika2017 Konferencia-Velence pp.69-76

Szendefy J., Back M., Dankó B. (2017) A kötőanyaggal stabilizált talajok reziliens modulus értékének mérése és jelentősége a pályaszerkezetek méretezése során, INNOTÉKA Mélyépítés III.évf. 2017/2., pp.4-8

Witczak M. W., Andrei D., Houston W. N. (2000): Resilient Modulus as Function of Soil Moisture-Summary of Predictive Models, Development of the 2002 Guide for the Development of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-37 A, Inter Team Technical Report (Seasonal I), Tempe, AZ.

Witczak M.W., Houston W.N., Andrei D. (2000): Selection of Resilient Moduli for Frozen/Thawed Unbound Materials, Development of the 2002 Guide for the Development of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-37 A, Inter Team Technical Report (Seasonal 3), Tempe, AZ.

Zapata C. E., Andrei D., Witczak M. W., Houston W. N. (2007) Incorporation of Environmental Effects in Pavement Design. Road Materials and Pavement Design Vol.8:4 pp. 667-693.

Adatok

Megjelent itt

10. szám

2017. ősz

Szerző

Pap Miklós
Okl. építőmérnök, PhD hallgató BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Mahler András
Okl. építőmérnök, PhD, egyetemi docens. BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Tóth Csaba
Docens, BME Út és Vasútépítési Tanszék.

Témakörök
Földművek • Útépítés

Kulcsszavak
felépülési tényező • klimatikus korrekciós tényező • redukciós tényező • reziliens modulus • telítettség

Befogadva
2017. december 3.

Hozzászólás

Hozzászólás

* Név

* E-mail cím

Honlap

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Szakolvasó

Témakörök

© Copyright Útügyi Lapok 2019 • *Minden jog fenntartva.*

Az Útügyi Lapok félévente elektronikus formában megjelenő, online szabadon elérhető kiadvány, erre tekintettel jelenleg nem előfizethető. Alkalmanként azonban papíralapon is megjelenik, amennyiben szeretne a papír alapú megjelenésről értesítést illetve példányt kapni, kérjük érdeklődési szándékát az alábbi címen jelezze: utugyilapok@makadam.hu. *A lapban megjelent cikkek a szerzőik személyes véleményét fejezik ki és nem feltétlenül egyeznek meg a szerkesztők véleményével illetve ismereteivel.*

Útügyi lapok 11

Cikk

Klimatikus viszonyok hatása a reziliens modulusra I.: Környezeti hatások és talajjellemzők meghatározása

Az úttervezésben gyakran használt reziliens modulus értékét a földmű víztartalma és hőmérséklet eloszlása (fagyás-olvadás ciklus) jelentősen befolyásolja, melynek számítására több módszert is kidolgoztak. Jelen publikációban Zapata és társai által 2007-ben publikált módszerét mutatjuk be és értékeljük röviden. A geotechnikai gyakorlatban egyre jobban elterjedt a telítetlen közegekkel foglalkozó talajmechanika elméleteinek alkalmazása, mely segítségével a talajok víztartalomtól függő merevségének, alakváltozási tulajdonságainak változása leírhatóvá vált. A Zapata és társai által javasolt összefüggések lehetővé teszik, hogy a különböző befolyásoló tényezők – sokszor költséges és időigényes – közvetlen mérése helyett egyszerűbb vizsgálatok (pl. talajazonosítás) eredményei alapján becsülni lehessen az optimális

víztartalom, az optimális telítettség értékeket, a víztartási görbe paramétereit, a telített áteresztőképesség értékét és hővezető-képességet. Jelen cikk Zapata és társai által publikált folyamatok leírása mellett a folyamatok elméleti hátterének rövid bemutatásával, valamint a javasolt tapasztalati összefüggések rövid értékelésével foglalkozik.

1. Bevezetés

Régóta közismert, hogy az úttervezésben sok országban használatos reziliens modulus értéke összefüggésben van a földmű állapotával (víztartalmával). Több módszert is kidolgoztak a gyakorlat számára annak figyelembe vételére, hogy a klimatikus hatások miként befolyásolják a reziliens modulus értékét. A jelen publikációban Zapata és társai (2007) által javasolt módszer geotechnikai szemszögből kerül vizsgálat és értékelés alá. A módszer eredeti leírása az alábbi cikkben található: Zapata C. E., Andrei D., Witczak M. W., Houston W. N. (2007) Incorporation of Environmental Effects in Pavement Design. Road Materials and Pavement Design Vol.8:4 pp. 667-693.

A következőkben bemutatjuk a jelenség mögött álló folyamatok talajmechanikai hátterét, a talajjelmezők és klimatikus hatások meghatározási módszerét, a hivatkozott anyagban javasolt számítási lépéseket, illetve a módszer előnyeit és hátrányait, valamint röviden kitérünk annak várható megbízhatóságára, használhatóságára is.

2. Telítetlen közegekkel foglalkozó talajmechanika elméleti áttekintése

2.1. Feszültségváltozók telítetlen talajok esetén

A hétköznapi gyakorlatban is közismert tény, hogy a talaj víztartalma befolyásolja annak alakváltozási tulajdonságait (merevségét) és szilárdságát. Bizonyos talajok esetén a víztartalom hatása jelentősebb, más talajok esetén pedig a kevésbé meghatározó. Előbbire jó példaként szolgálnak a kötött talajok utóbbi pedig inkább a szemcsés talajokra jellemző.
A hagyományos talajmechanikai megközelítésben a talajban ébredő feszültségeket – Terzaghi képletével – hatékony és a semleges feszültséggel írjuk le:

$$\sigma = \sigma^{'} + u \qquad (1)$$

(1)

ahol:

σ - a teljes feszültség

σ' - a hatékony (szemcsevázon átadódó) feszültség

u - a semleges feszültség (pórusvíznyomás)

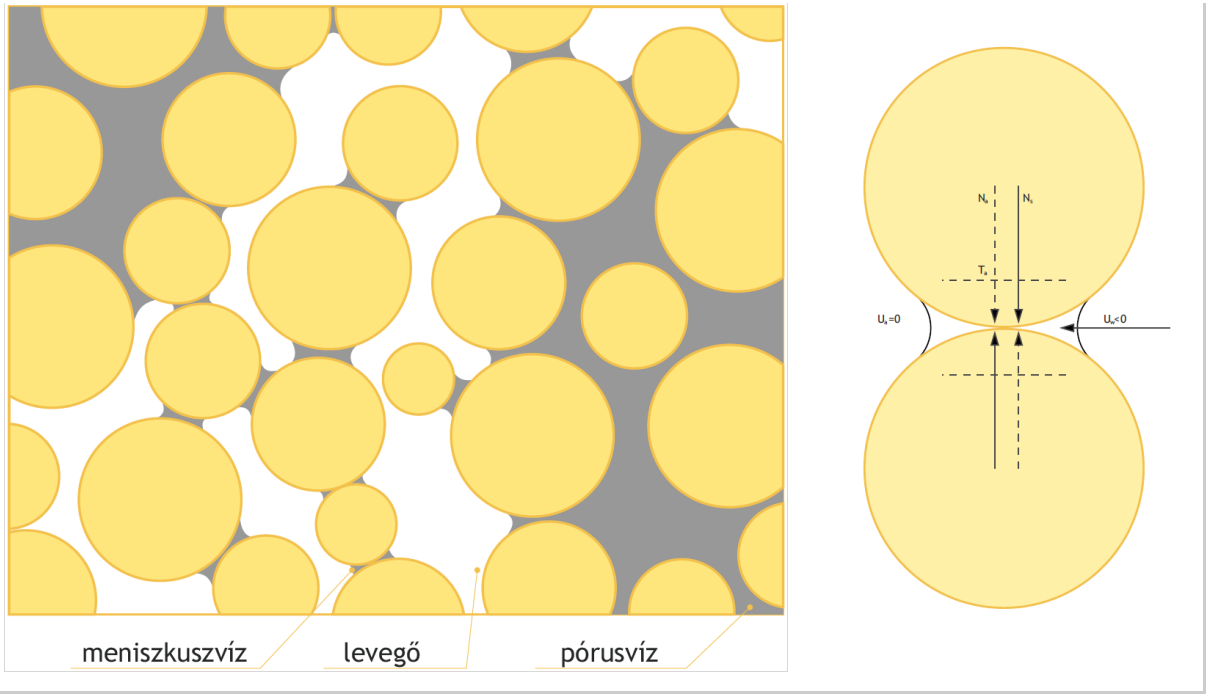
Ez a megközelítés jól használható telített talajok esetén, telítetlen talajoknál azonban a helyzet ennél összetettebb: a talajszemcsék hézagait víz és levegő tölti ki, így a pórusvíznyomás mellett a póruslevegő nyomását is figyelembe kell venni. Az egyszerűség kedvéért tekintsük azt az állapotot, amikor a levegő fázis folytonos és összeköttetésben van a légkörrel, azaz nyugalmi állapotban a póruslevegő-nyomás megegyezik az atmoszférikus nyomással. Ebben az esetben a talajszemcsék szegleteiben lévő víz a meniszkusz-hatás révén egyfajta kötést (kohéziót) biztosít a talajszemcsék közt. Minél kisebb a víz mennyissége a talajszemcsék érintkezési pontjánál, annál jelentősebb ez hatás. A másik véglet, mikor az érintkezési pont körül a hézagot víz tölti ki (nincs víz-levegő határfelület); ez esetben az összetartó erő megszűnik. Ezeket az állapotokat szemlélteti az 1. ábra.

A meniszkusz hatást az okozza, hogy a talajok érintkezési pontjaiban lévő pórusvíznyomás kisebb, mint a póruslevegő nyomása. A fizikai jelenség hasonló a hajszálcsövességnél tapasztalt jelenséggel, mikor is (nedvesítő folyadék esetén) a hajszálcsőben a folyadék felemelkedik. A kapilláris emelkedést létrehozó húzóerő a cső falában reakcióerőt ébreszt, melynek függőleges komponense nyomófeszültséget generál.

Tekintettel arra, hogy talajmechanikában a légköri nyomást tekintjük referenciafeszültségnek $(u_a = 0)$, az ennél kisebb pórusvíznyomást negatív értékekkel írjuk le, és „negatív nyomás” helyett szívásnak nevezzük. A szívás a póruslevegőnyomás és a pórusvíznyomás különbségeként lehet számítani:

$$s = u_a - u_w \tag{2}$$

(2)
A szívást – a hatékony feszültséghez hasonlóan – egyfajta adott mélységre jellemző átlagértékként vesszük figyelembe.
Az említett meniszkusz hatás okozza pl. homokoknál kialakuló „látszólagos kohéziót”; az $S_r = 0,2 - 0,3$ telítettségi foknál (mikor a hézagok 20-30%-át tölti ki a pórusvíz) a szegletekben lévő víz összetartó hatása miatt a száraz vagy telített állapotban ideálisan szemcsés (kohézió nélküli) talajban is kohézió mutatható ki. Ez az oka, annak is, hogy ilyen víztartalom mellett lehetséges homokvár építése, de az a homok kiszáradásával elveszti stabilitását. Hasonló módon a víztartalom a talajok alakváltozási tulajdonságait is befolyásolja.



1. ábra
A meniszkusz hatás

A gyakorlatban, telített talajok esetén tehát több feszültségváltozó használata szükséges. A nemzetközi szakirodalomban számos ajánlás létezik, de nem alakult ki egy általánosan elfogadott számítási eljárás. Jelen anyagban egy egyszerű, de szemléletes módszert mutatunk be a szívás hatásának figyelembe vételére. *Bishop (1959)* javasolta, hogy a telítetlen talajok esetén a hatékony feszültséget a szívás hatásával korrigáltan vegyék figyelembe (így nem szükséges két független feszültségváltozó használata). Az általa javasolt képlet:

$$\sigma' = (\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w) \qquad (3)$$

(3)

ahol:

σ' - a Bishop hatékony (szemcsevázon átadódó) feszültség

σ - a teljes feszültség

χ - a telítettségtől függő tényező (jelen példában egyszerűsítésként legyen $\chi = S_r$

u_a - a póruslevegő-nyomás

u_w - a pórusvíznyomás

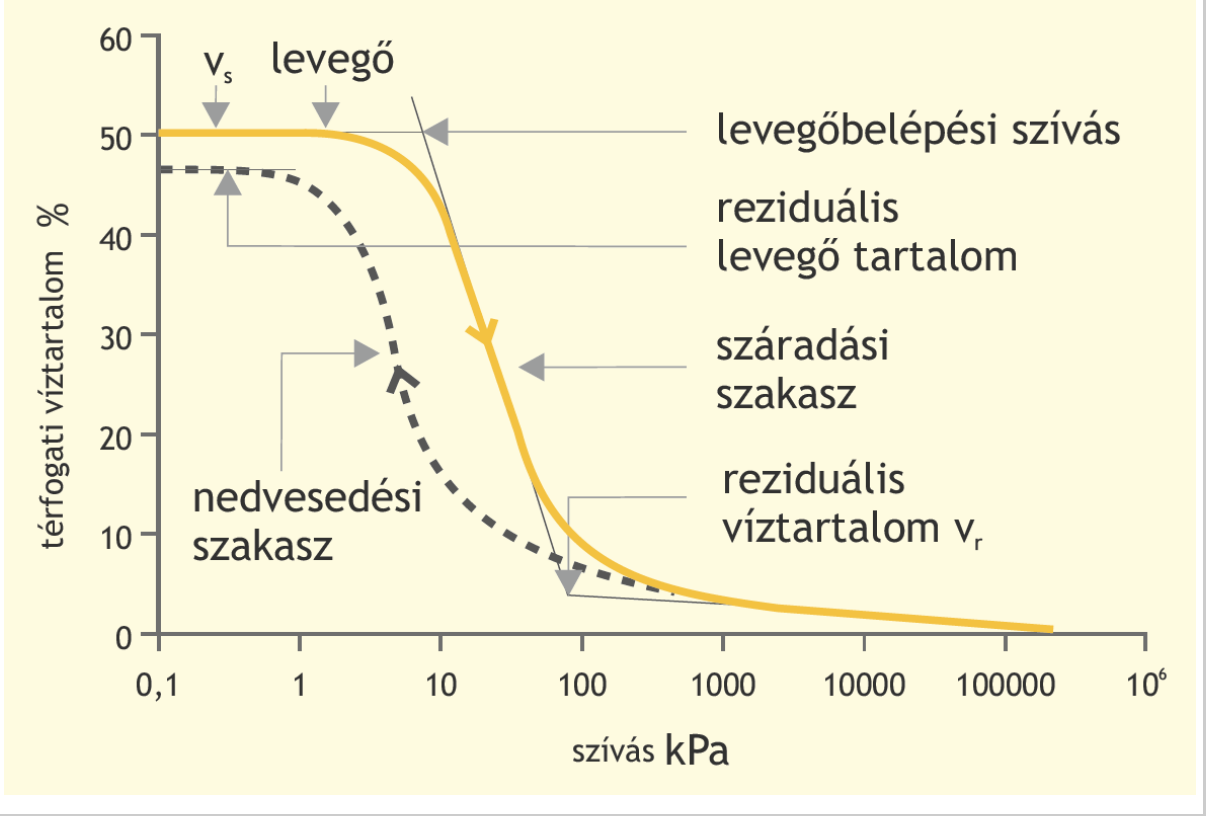
A Bishop féle hatékony feszültség tehát két komponensből áll. Egyrészt az önsúly hatására a szemcsevázon átadódó feszültségből, másrészt a szívás okozta hatékony feszültség többletből. Ha a fenti egyenletbe behelyettesítjük a teljesen száraz $(S_r = 0)$ vagy telített $(S_r = 1)$ állapothoz tartozó jellemzőket akkor a Terzaghi féle

hatékony feszültséget kapjuk vissza, viszont a kettő között az egyenlet nagyobb hatékony feszültséget eredményez. Azaz a telítetlenség okozta szívás tekinthető egyfajta hatékony feszültség növekedésnek is.

A normálfeszültség telítetlen talajok esetén meghatározható a Bishop hatékony feszültséggel is. Ez esetben terepszint közeli talajok esetén is lehet nagy a feszültség a szívást figyelembe vevő komponens miatt; a nagyobb hatékony feszültség pedig nagyobb összenyomódási modulust – azaz egységnyi terhelés hatására kisebb alakváltozást – eredményez.
Útépítési feladatok esetén, különösen útpályaszerkezetek méretezésénél a takarásból adódó hatékony feszültség a kis mélyég miatt csekély, a szívásból adódó komponens viszont jelentős lehet. Ennek következményeként – különösképpen számottevő agyagtartalommal rendelkező talajok esetén – a víztartalom (szívás) változása jelentős mértékben képes megváltoztatni az összenyomódási modulus értékét.

2.2. Víztartási görbe

A víztartási görbe a legfontosabb telítetlen talaj függvény, mely a talaj víztartalmát ábrázolja a szívás függvényében szemilogaritmikus koordinátarendszerben. Az alakja és lefutása a talajok szemeloszlása mellett jelentősen függ attól, hogy a talaj száradási vagy nedvesedési állapotban található (2. ábra). A víztartási görbéket széles körben alkalmazzák a telítetlen talajok tulajdonságainak meghatározására, így sarkalatos elemévé váltak a telítetlen talajmechanika geotechnikai gyakorlatba történő bevezetésének.



2. ábra

A száradási és nedvesedési víztartási görbe (Fredlund és tsai., 2012)

A víztartási görbét két jellegzetes pontja három jól elkülöníthető szakaszra bontja (2. ábra). Az első tartomány, amikor a szívás értéke kisebb, mint a levegő belépési szívás, ilyenkor a talaj gyakorlatilag telített állapotú, így ez a szakasz közel vízszintes. A második tartományon, az átmeneti zónában a szívás értéke fokozatosan nő a levegő belépési szívás értéke fölött, a víztartalom pedig nagymértékben csökken, miközben a mintában nő levegőtartalom. Az utolsó szakaszon a görbe ellapul, azaz a reziduális szívás érték felett a reziduális zónában a víztartalom csak kismértékben csökken. Ezek a tartományok és szakaszoló pontok mind száradási, mind nedvesedési állapotban megtalálhatóak és elkülöníthetők.

A víztartási görbe laboratóriumi mérése során a görbe néhány pontját tudjuk csak felrajzolni, mivel csak adott szívás értékhez tudunk víztartalom értéket meghatározni. Ezért a felhasználhatóság érdekében szükséges a mért pontokra matematikailag leírható függvényt illeszteni. Számtalan empirikus összefüggés áll rendelkezésre, hogy az adott szívás értékhez a megfelelő paraméterek segítségével meghatározzuk a víztartalmat, ezek közül Van Genuchten (1980) és Fredlund és Xing (1994) modelljét alkalmazzák a leggyakrabban.

3. Reziliens modulust befolyásoló tényezők Zapata és társai (2007) alapján

A környezeti hatások jelentős szerepet játszanak a rugalmas és a merev burkolatok teljesítőképességében. A pályaszerkezet teherbírását külső és belső tényezők is befolyásolják. A külső tényezők közé sorolható a csapadék, a hőmérsékletváltozás, a talajvízszint mélysége, a fagyás és olvadás ciklusok hatása, melyek jelentős hatással bírnak a pályaszerkezet teherbírására. A pályaszerkezet reakcióit ezekre a külső hatásokra a belső tényezők befolyásolják, melyek közül a rétegek nedvesség- és fagyérzékenyége, szivárgási tényezője a meghatározó. A klimatikus hatásokat figyelembe vevő tervezési módszerek a pályaszerkezet nedvesség és hőmérséklet profiljának változása alapján számítják a reziliens modulus értékét

3.1. Tömörített, kötőanyag nélküli talaj tulajdonságai

3.1.1. Tömeg- és térfogati jellemzők meghatározása

A számítás kiinduló paraméterei a maximális száraz térfogatsűrűség (ρ_{dmax}), a fajsúly (G_s) és a vizsgált anyag optimális víztartalom értéke (wopt). Ezen adatok felhasználásával az összes többi tömeg- és térfogati jellemző számítható. Az első szinten körültekintő laboratóriumi vizsgálattal szükséges a fent említett paraméterek ($\rho_{dmax}, w_{opt}, G_s$) meghatározása összhangban a kötőanyag nélküli rétegekre vonatkozó szabványos előírásokkal: *AASHTO T180* az alap rétegekre, *AASHTO T99* és *AASHTO T100* a többi rétegre. Ha laboratóriumi mérés nélkül szeretnénk meghatározni a bemenő adatokat, akkor a második szinten a szükséges paramétereket más módszerrel kell adoptálni. Ezen a szinten meg kell adni a 60 % áthullott tömeghez tartozó szemcseátmérőt (D_{60}), a 0,074 mm lyukbőségű szitán áthullott mennyiséget (P_{200}) és a plasztikus index értékét (PI, magyar szakirodalomban Ip). Ezzel kapcsolatban megjegyezzük, hogy az amerikai gyakorlatban a 0,074 mm a finom és durvaszemcsés talajok közti határvonal, azaz ez gyakorlatilag a finomszemcse tartalomnak is tekinthető (magyar szakirodalomban 0,063mm használatos).
Ezekből a paraméterekből, az EICM (Enhanced Integrated Climatic Model) alapján számítani lehet a $\rho_{dmax}, w_{opt}, G_s$ kiinduló értékeket a következő összefüggésből (Witczak és társai, 2000):

$$WPI = \frac{P_{200} \cdot PI}{100} \tag{4}$$

(4)
A WPI tehát egy talajtípusra jellemző mérőszám: szemcsés talajok esetén, ahol a plaszticitási index nem határozható meg (PI=0) az értéke nulla, kötött talajok esetén pedig nagyobb, mint zérus. A finomszemcsék részarányának illetve a plaszticitási index növekedésével – azaz ahogy a talaj egyre kötöttebbé válik – a WPI értéke növekszik.
A második szinten a Gs számítására a következő képlet áll rendelkezésre:

$$G_s = 0,041(WPI)^{0,29} + 2,65 \tag{5}$$

(5)

ahol:

G_s - a szilárd rész testsűrűségének és a víz sűrűségének hányadosa (ρ_s/ρ_w, dimenzió nélküli érték)

A Gs értéke tehát – mivel a víz sűrűsége $\rho_w = 1g/cm^3$ – megegyezik a magyar gyakorlatban is használatos testsűrűség értékével. Tekintettel arra, hogy ennek értéke csak kevéssé változik, a gyakorlatban ezt ritkán határozzuk meg méréssel. Szemcsés talajok (kavicsok, homokok) esetén általában ennek értékét $2,65$-re vesszük fel; ezzel jó egyezést mutat a javasolt képlet, hiszen e talajtípusnál a WPI értéke 0, így a Gs-re a képlet szintén $2,65$-ös értéket ad. Kötött talajok esetén a képlet a WPI-vel („kötöttséggel") növekvő értéket, kövér agyagok esetén is $G_s < 2,78$ értéket ad, ami valamivel kisebb, mint a hazai gyakorlatban megszokott 2,80-as érték. Összességében megállapítható, hogy a korreláció szemcsés és átmeneti talajokra is jó értéket ad, erősen kötött talajok esetén pedig minimálisan kisebbet ad az itthoni gyakorlatban használt értéknél. Az optimális víztartalom w_{opt}) értéke a WPI érték függvényében és a réteg funkciója alapján a következő összefügésekkel határozhatók meg: Ha $WPI > 0$ (kötött talajok):

$$w_{opt} = 1,3(WPI)^{0,73} + 11 \tag{6}$$

(6)
A számítást elvégezve a jellemző kötött talajokra azt tapasztaltuk, hogy gyengén kötött talajok esetén (homokos iszap, iszap, sovány agyag) a képlet elég jól közelíti a „megszokott" értékeket, viszont erősen kötött talajoknál (közepes agyag, kövér agyag) számottevőek az eltérések.
Ha $WPI = 0$:

$$w_{opt(T99)=8,6425(D_{60})^{-0,1038}} \tag{7}$$

(7)
Ha a réteg nem az alapréteg:

$$w_{opt} = w_{opt(T99)} \tag{8}$$

(8)
Ha a réteg az alapréteg:

$$\Delta w_{opt} = 0,0156[w_{opt(T99)}]^2 - 0,14565 \cdot w_{opt(T99)} + 0,9 \tag{9}$$

(9)

$$w_{opt} = w_{opt(T99)} - \Delta w_{opt} \tag{10}$$

(10)
Nem alapréteg esetén a képlet az optimális víztartalmat a $w_{opt} = 6 - 11\%$ tartományban adja meg, mégpedig úgy, hogy nagy D_{60} esetén ad kisebb értéket és kis D_{60} esetén nagyobbat. Ez a tartomány, illetve a tendencia megfelelőnek mondható, ugyanakkor szem előtt kell tartani, hogy a talaj graduáltsága is befolyásolhatja a w_{opt} értékét. Összességében a képlet egy jó előzetes iránymutatásnak tekinthető.
A maximális száraz térfogatsűrűség (ρ_{dmax}) becsléséhez első lépésben a tömörítés szempontjából optimális telítettségi fok (S_{opt}) meghatározását kell elvégezni az alábbi képlettel:

$$A_{opt} = 6,752 \cdot (WPI)^{0,147} + 78 \tag{11}$$

(11)
A hazai tapasztalat azt mutatja, hogy az optimális telítettség *65-85 %* körüli; szemcsés talajoknál általában alacsonyabb, kötött talajoknál pedig magasabb. A javasolt képlet szemcsés talajokra *(WPI=0)* minden esetben $S_{opt} = 78\%$ értéket ad, ez túlzónak tűnik, ez az érték inkább 70-75 % körül szokott lenni. Kötött talajok esetén a képlet $S_{opt} = 85 - 95\%$ eredményez; a gyengén kötött talajok a tartomány alján, az erősen kötött talajok a tartomány felső részén helyezkednek el. Ezek az értékek is túlzónak tűnnek, a hazai szakirodalomban – hasonló tendenciák mellett – ennél mintegy 10 %-kal alacsonyabb értékek jellemzőek.
Az eddig meghatározott értékekből a maximális száraz térfogatsúly a talajmechanikában megfogalmazott összefüggések segítségével az alábbi képlet szerint meghatározható:

$$\rho_{d,max,comp} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + \frac{w_{opt} G_s}{S_{opt}}} \tag{12}$$

(12)

ahol:

ρ_w - a víz térfogatsúlya

Ha a réteg tömörített:

$$\rho_{d,max} = \rho_{d,max,comp} \tag{13}$$

(13)
Ha a réteg termett talaj, akkor:

$$\rho_d = 0,90 \cdot \rho_{d,max,comp} \tag{14}$$

(14)

Az előző korrelációkkal számított $\rho_{d,max}$ értékek, különböző talajtípusonként az alábbiak szerint alakulnak:

– közepes és kövér agyagok: $\rho_{d,max}$ = 15-18 kN/m^3 (1,5-1,8 g/cm^3)

– sovány agyagok: $\rho_{d,max}$ = 17-18,5 kN/m^3 (1,7-1,85 g/cm^3)

– iszapok: $\rho_{d,max}$ = 18,5-19 kN/m^3 (1,85-1,9 g/cm^3)

– finomhomokok: $\rho_{d,max}$ = 19,5-20 kN/m^3 (1,95-2,0 g/cm^3)

– homokok: $\rho_{d,max}$ = 20-21 kN/m^3 (2,0-2,1 g/cm^3)

– homokos kavicsok: $\rho_{d,max}$ = 21-22 kN/m^3 (2,1-2,2 g/cm^3)

Ezek az értékek elfogadhatóan megegyeznek a szakirodalmi ajánlásokkal.

3.1.2. Telített vízáteresztő-képesség meghatározás

A telített vízáteresztő-képesség szükséges, hogy meghatározzuk az időben változó nedvességprofilt a tömörített, kötőanyag nélküli szerkezetben, és hogy számítsuk a drénezés jelleggörbéjét. Egyes szinten az áteresztőképesség közvetlen mérése ajánlott. A második és harmadik szinten a következő korrelációk javasoltak:

Ha $0 \leq WPI < 1$:

$$k_{sat} = 10^{[-1{,}11275(\log D_{60}+2)^2+7{,}2816(\log D_{60}+2)-11{,}29791]}[cm/s] \qquad (15)$$

(15)

Az előző egyenlet $D_{60} < 0,75mm$ esetén érvényes. Ha $D_{60} > 0,75mm$, akkor $D_{60} = 0,75mm$ érték alkalmazandó.

Ha $WPI \geq 1$:

$$k_{sat}710^{[0{,}0004(P_{200}Pi)^2-0{,}0929(P_{200}PI)-6{,}56]}[cm/s] \qquad (16)$$

(16)

Az áteresztőképességi együttható közismerten a legváltozékonyabb talajparaméter, ami ~10 nagyságrendnyi tartományban mozog. Egy rétegre jellemző érték meghatározása még laboratóriumi vizsgálatokkal is kb. egy nagyságrendnyi bizonytalansággal lehetséges. Számos tapasztalati összefüggés áll rendelkezésre a 'k' értékének talajazonosítási eredményekből történő becslésére, illetve a különböző eljárások megbízhatóságának értékelésére.

Szemcsés talajok esetén általában a finomrésztartalom befolyásolja leginkább az áteresztőképességet, ezért a legtöbb (szinte az összes) módszer a d_{10} értékét használja bemenő paraméterként. Az itt javasolt képlet ezzel ellentétben a D_{60} értékére (egyfajta „legjellemzőbb" szemcseméretre) támaszkodva adja meg a becsült k értéket – így pl. egy agyagos homok és finomszemcse-mentes homok között nem tesz különbséget, holott azok áteresztőképessége 3-4 nagyságrenddel is eltérhet. Szembetűnő továbbá, hogy ~0,3-0,4 mm-nél nagyobb D_{60} értékeknél a képlet túlzottan magas értéket ad.

Kötött talajoknál $k \approx 3 \cdot 10^{-9} – 10^{-12} m/s$ tartományban szórnak az értékek. A kövér agyagokhoz tartozó érték a gyakorlatban használt értékekkel jól egybevág, a gyengén kötött rétegek esetén kijövő érték viszont nagyobb az ilyen talajokra általában jellemzőnél.
Összességében megállapítható, hogy a javasolt összefüggések a fő tendenciát (kisebb szemcséjű talajok áteresztőképessége kisebb) jól visszaadják azonban a konkrét számértékek inkább csak nagyon durva becslésnek tekinthetőek.

3.1.3. Száraz termikus vezetőképesség és száraz hőkapacitás meghatározása

száraz termikus vezetőképesség meghatározására első szinten a *ASTM E1952* szerinti közvetlen mérés ajánlott. Hármas szinten minden talajtípusra elérhető az érték, melyek a 1. táblázatban láthatók.
A száraz hőkapacitás meghatározására első szinten a *ASTM E2766* szerinti közvetlen mérés ajánlott. Hármas szinten a felhasználó választja ki a tervezési értéket, melyek korábbi mérési eredményeken alapulnak. A tipikus értéktartomány *0,71-0,84 kJ/(kg·K).*

Talajtípus	Tartomány (W/m·K)	Ajánlott (W/m·K)
A-1-a	0,38-0,76	0,52
A-1-b	0,38-0,76	0,47
A-2-4	0,38-0,42	0,40
A-2-5	0,38-0,42	0,40
A-2-6	0,35-0,40	0,38
A-2-7	0,28-0,40	0,35
A-3	0,43-0,69	0,52
A-4	0,29-0,40	0,38
A-5	0,29-0,40	0,33
A-6	0,28-0,38	0,31
A-7-5	0,16-0,29	0,23
A-7-6	0,16-0,29	0,21

1. táblázat
A kötőanyag nélküli réteg száraz hőkapacitása/caption>

3.1.4. A víztartási görbe paraméterei

A víztartási görbe a talaj mikro- és makropórusainak víztározó-képességét jellemzi a szívás függvényében (Fredlund és társai, 1995). Ezt a kapcsolatot általában a víztartalom, a térfogati víztartalom vagy a telítettség és szívás függvényében ábrázoljuk. Számos tanulmány készült a víztartási görbe különböző módszerrel történő közelítéseinek összehasonlításáról (Leong és Rahardjo, 1996; Zapata, 1999), melyek rávilágítanak, hogy a korábban említett Fredlund és Xing (1994) által bemutatott modell jó közelítés mutat a meglévő adatbázissal.
Egyes szinten a víztartási görbe közvetlen mérése, azaz a szívás és térfogati víztartalom adatpárok közvetlen meghatározása szükséges. A görbe mért pontokra történő nem lineáris illesztésével meghatározhatók a modellhez szükséges paraméterek a_f, b_f, c_f és hr) az alábbi Fredlund és Xing (1994) modell felhasználásával:

$$v_w = \left(1 - \frac{\ln(1 + \frac{h}{h_r})}{\ln(1 + \frac{10^6}{h_r})}\right) \cdot \left(\frac{1}{\left[\ln\left[e + \left(\frac{h}{a_f}\right)^{b_f}\right]\right]^{c_f}}\right) \tag{17}$$

(17)

ahol:

v_{sat} - telített térfogati víztartalom, mely a következő egyenletekből számítható:

$$v_{opt} = \frac{w_{opt}\gamma_{dmax}}{\gamma_{water}} \tag{18}$$

(18)

$$S_{opt} = \frac{v_{opt}}{1 - \frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_{water}G_s}} \tag{19}$$

(19)

$$v_{sat} = \frac{v_{opt}}{S_{opt}} \tag{20}$$

(20)
Kettes szinten az EICM a víztartási görbe paramétereket a korábban ismertetett WPI és D_{60} értékekből származtatja (Zapata, 1999; Zapata és társai, 1999).
Ha $WPI > 0$:

$$a_f = 0,00364 \cdot (WPI)^{3,35} + 4 \cdot WPI + 11[kPa] \tag{21}$$

(21)

$$\frac{b_f}{c_f} = -2,313 \cdot (WPI)^{0,14} + 5 \tag{22}$$

(22)

$$c_f = 0,0514 \cdot (WPI)^{0,465} + 0,5 \tag{23}$$

(23)

$$\frac{h_r}{a_f} = 32,44 \cdot e^{0,0186(WPI)} \tag{24}$$

(24)
Ha $WPI = 0$:

$$a_f/0,8627\ cdot(D_{60})^{-0,751}[kPa] \tag{25}$$

(25)

$$\bar{b_f} = 7,5 \tag{26}$$

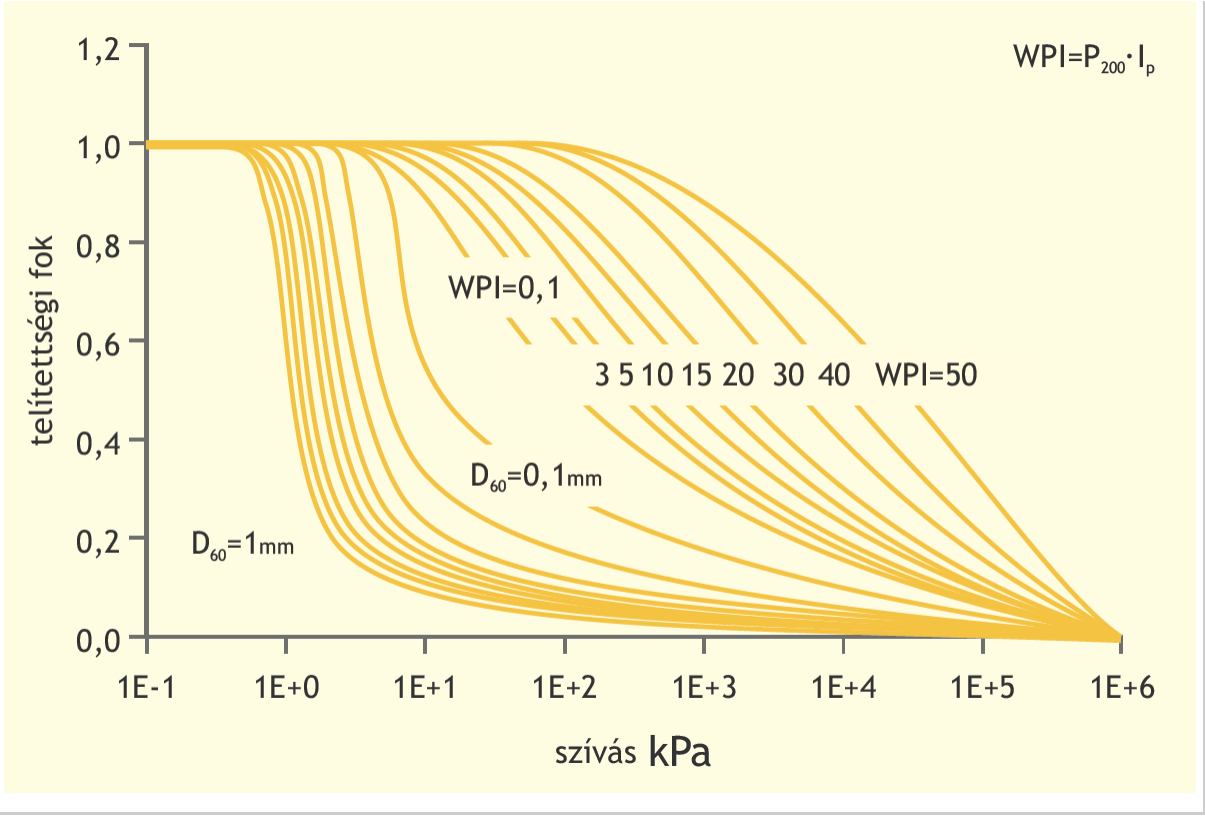
(26)

$$c_f = 0,1772 \ln(D_{60}) + 0,7734 \tag{27}$$

(27)

$$\frac{h_r}{a_f} = \frac{1}{D_{60} + 9,7 \cdot 9,7 \cdot e^{-4}} \tag{28}$$

(28)
Hármas szinten a WPI és D_{60} felhasználásával számíthatók a víztartási görbe paraméterei. A 3. ábra a különböző a WPI értékhez és D_{60} átmérőhöz tartozó víztartási görbéket mutatja. Ezek jól visszaadják a szemcsés és kötött talajokra jellemző víztartási görbe karakterisztikáját, bár itt is megjegyzendő, hogy szemcsés talajok esetén kizárólag a D_{60}figyelembe vétele valószínűleg nem elégséges a víztartási görbe pontosabb becsléséhez.



3. ábra

A WPI és D_{60} értékek alapján becsült víztartási görbék

A termett talaj tulajdonságainak jellemzéséhez általában nem szükséges az első szinten előírt közvetlen mérés. Ebből adódóan a termett talajhoz elegendő a PI (magyar szakirodalomban I_p), P_{200}, P_4 (4,76 mm átmérőjű szitán áthullott mennyiség) és D_{60} meghatározása.

3.2. Hőmérsékleti hatások

Míg a nedvességtartalom elsősorban a talajrétegek viselkedése szempontjából fontos, addig a hőmérséklet minden érintett réteg (aszfalt, beton, talaj) esetén szignifikáns. Az aszfalt esetén például a hőmérséklet az a tényező, amely a merevséget meghatározza, talajok esetén pedig a fagyás-olvadás hatása bír kiemelkedő jelentőséggel. A leírt számításhoz a hő transzport számítását egy véges differenciák módszerén alapuló szoftver segítségével végzik. A burkolati rétegek esetén a hővezetési tényező és a hőkapacitás ezekben a számításokban konstans, azonban talajok esetén a víztartalom és a fagyás függvényében változik. Input paraméterként minden esetben a száraz anyagra jellemző hőkapacitás és hővezetési tényező megadása szükséges. A modell segítségével becsülhető a fagybehatolás illetve az olvadás is.

Mint minden szimulációnál az anyagjellemzők mellett alapvető fontosságú a vizsgált rétegrend alsó és felső határánál figyelembe veendő peremfeltételek helyes megadása. Jelen esetben ez elsősorban a környezeti hatások (hőmérséklet,

napsütés, szél stb.) következtében a be- és kilépő hőenergiát jelenti. Az energia egyensúly számításához az alábbi bemenő paraméterek szükségesek:

– bejövő rövidhullámú sugárzás *(Q_i)*;

– visszavert rövidhullámú sugárzás *(Q_r)*;

– bejövő hosszúhullámú sugárzás *(Q_a)*;

– kilépő hosszúhullámú sugárzás *(Q_e)*;

– hőáramlás *(Q_c)*;

– transpiráció, kondenzáció, párolgás és szublimáció hatásai *(Q_h)*;

– talaj által elnyelt hő *(Q_3)*.

Az említett hatások közül a transpiráció, kondenzáció, párolgás és szublimáció hatásait a bemutatott program elhanyagolja. A többi hatás meteorológiai, illetve tapasztalati adatok alapján megadható vagy becsülhető.

A hőmérsékleti hatások számításával kapcsolatban megjegyezzük, hogy számos piacon elérhető épületfizikai és geotechnikai szoftver is képes hasonló számítások elvégzésére. Ezek előnye lehet, hogy akár két- vagy háromdimenziós problémák kezelésére is alkalmasak, így összetettebb esetekben is jól használhatók. A geotechnikai szoftverekkel ezen túlmenően a mechanikai viselkedést is figyelembe lehet venni ezekben a számításokban. Példaként bemutatjuk egy egyszerűsített probléma geotechnikai véges elemes számítását. Ebben egy 30 cm vastagságú 2 % lejtésű aszfaltréteg található homogén (homok) altalajon,

5 m-es talajvízmélységgel. A bal oldali peremfeltételeket úgy állítottuk be, hogy az szimmetria tengelynek tekinthető. A külső hőmérséklet változását pedig a következők szerint adtuk meg:

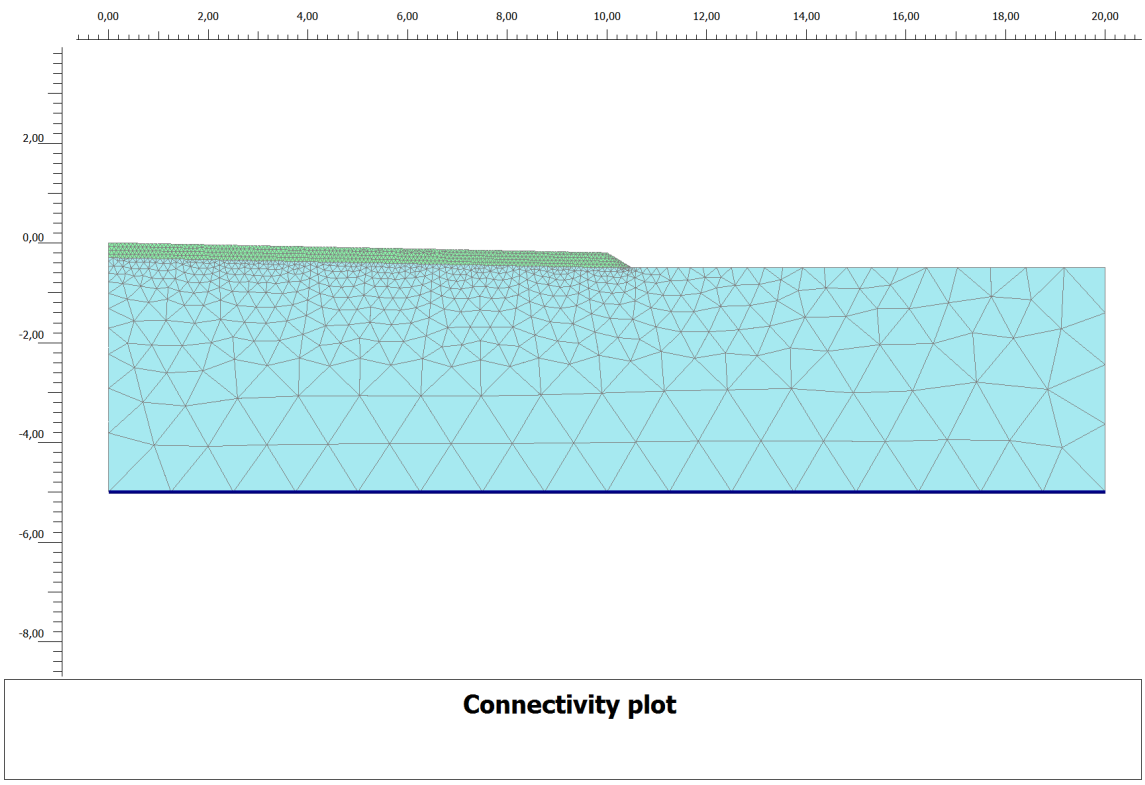
– a kiindulási levegő hőmérséklet: $T_{levegő} \approx 10$ °C

– a levegő ezután 10 nap alatt egyenletes hűl le -10 °C-ra

– a levegő hőmérséklete 10 napig nem változik ($T_{levegő} \approx -10$ °C)

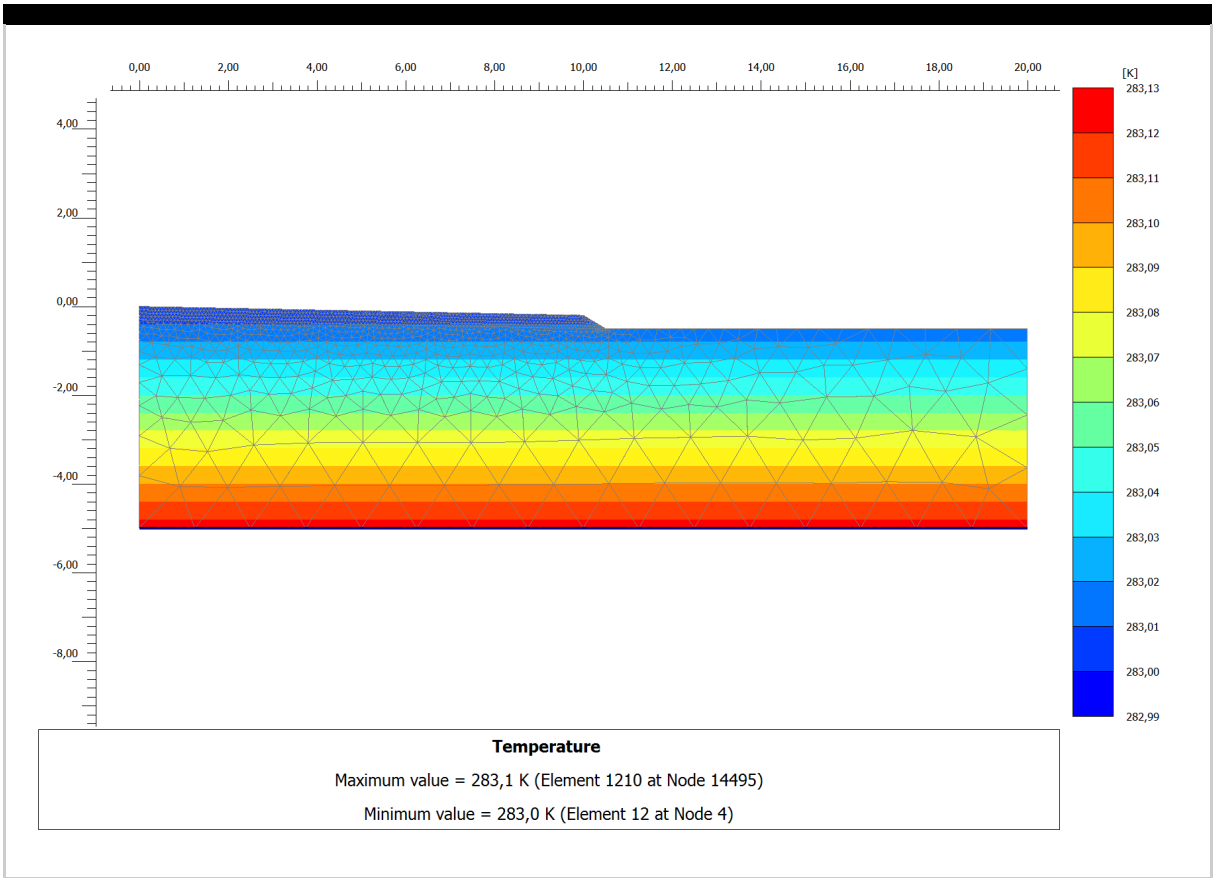
– a levegő ezután 10 nap alatt egyenletes melegedik fel 10 °C-ra

A számítás véges elemes modelljét és eredményeit a 4-10. ábrákon mutatjuk be.



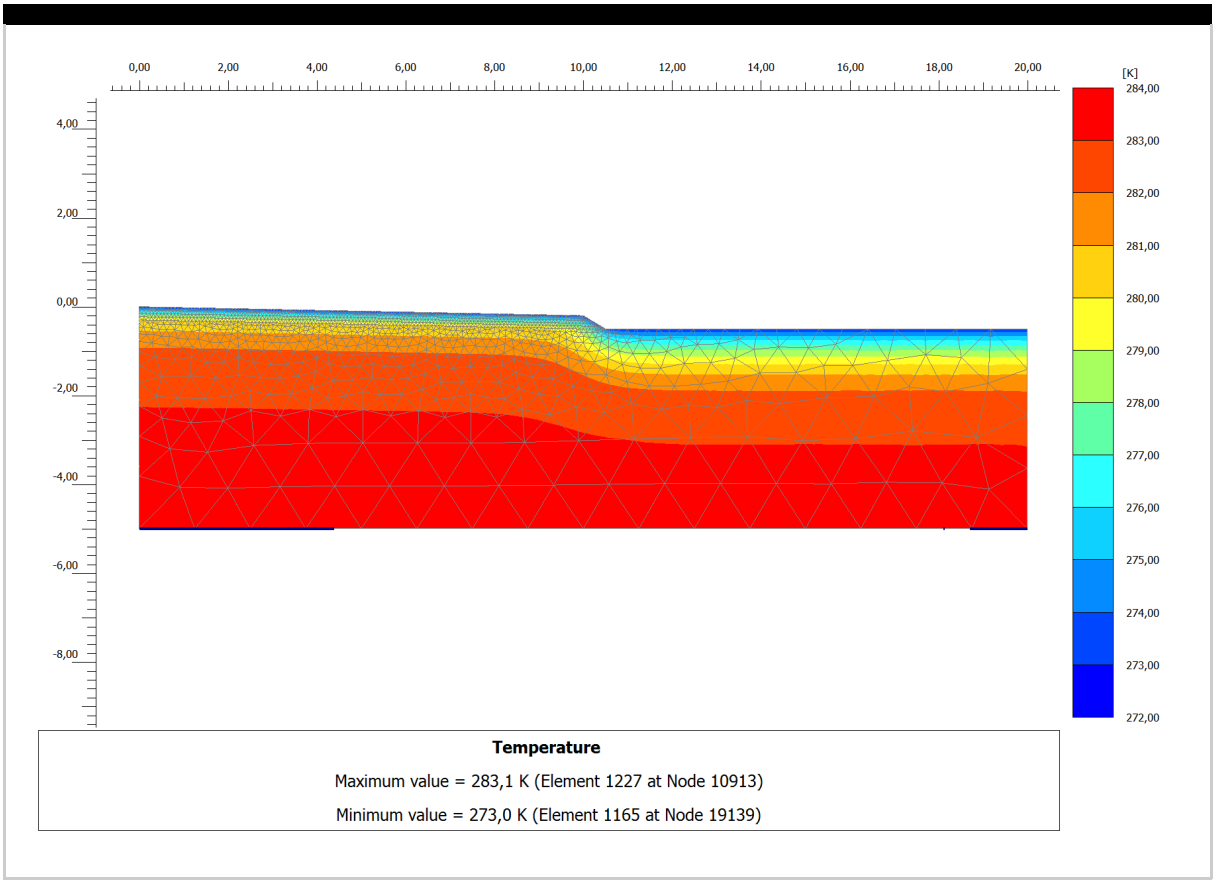
4. ábra

Végeselemes modell



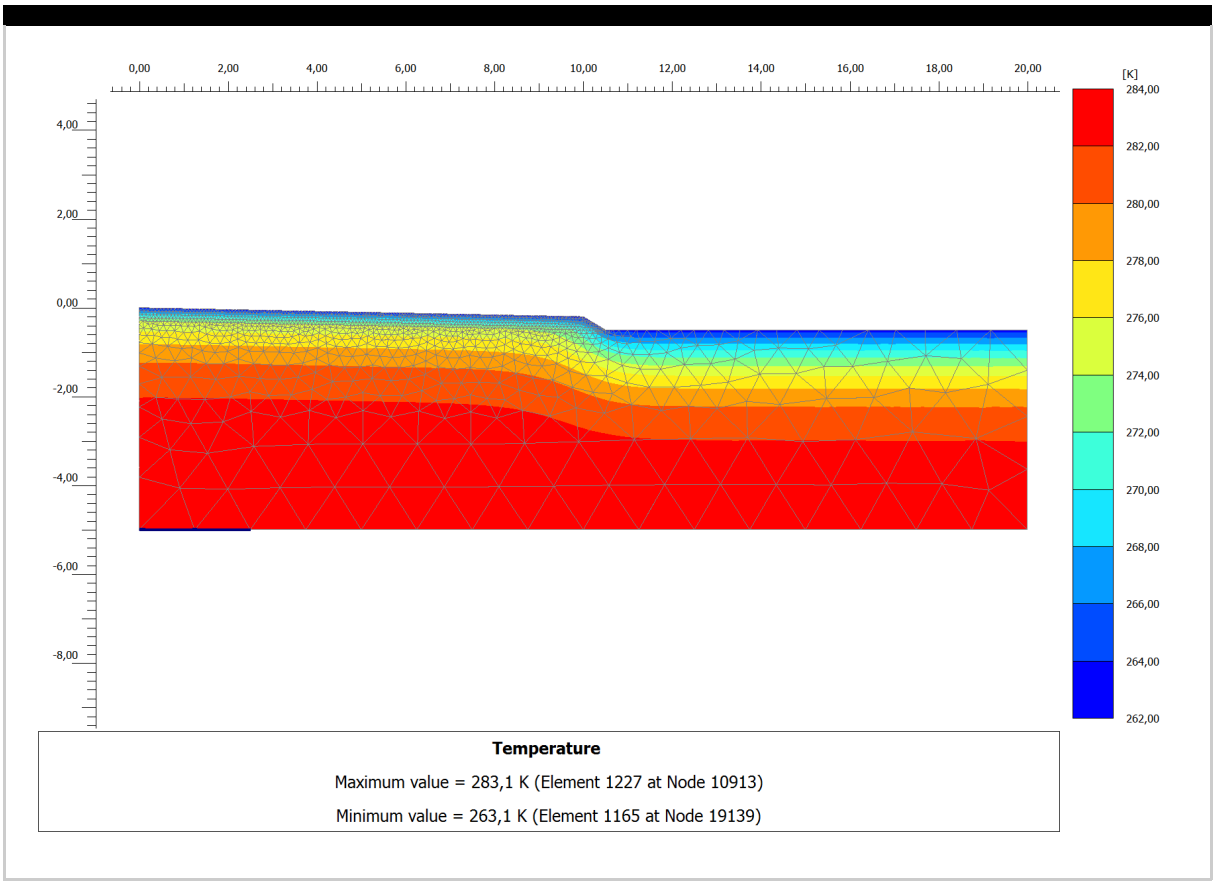
5. ábra

Hőmérséklet-eloszlás, t=0 nap, $T_{levegő}$≈10 °C



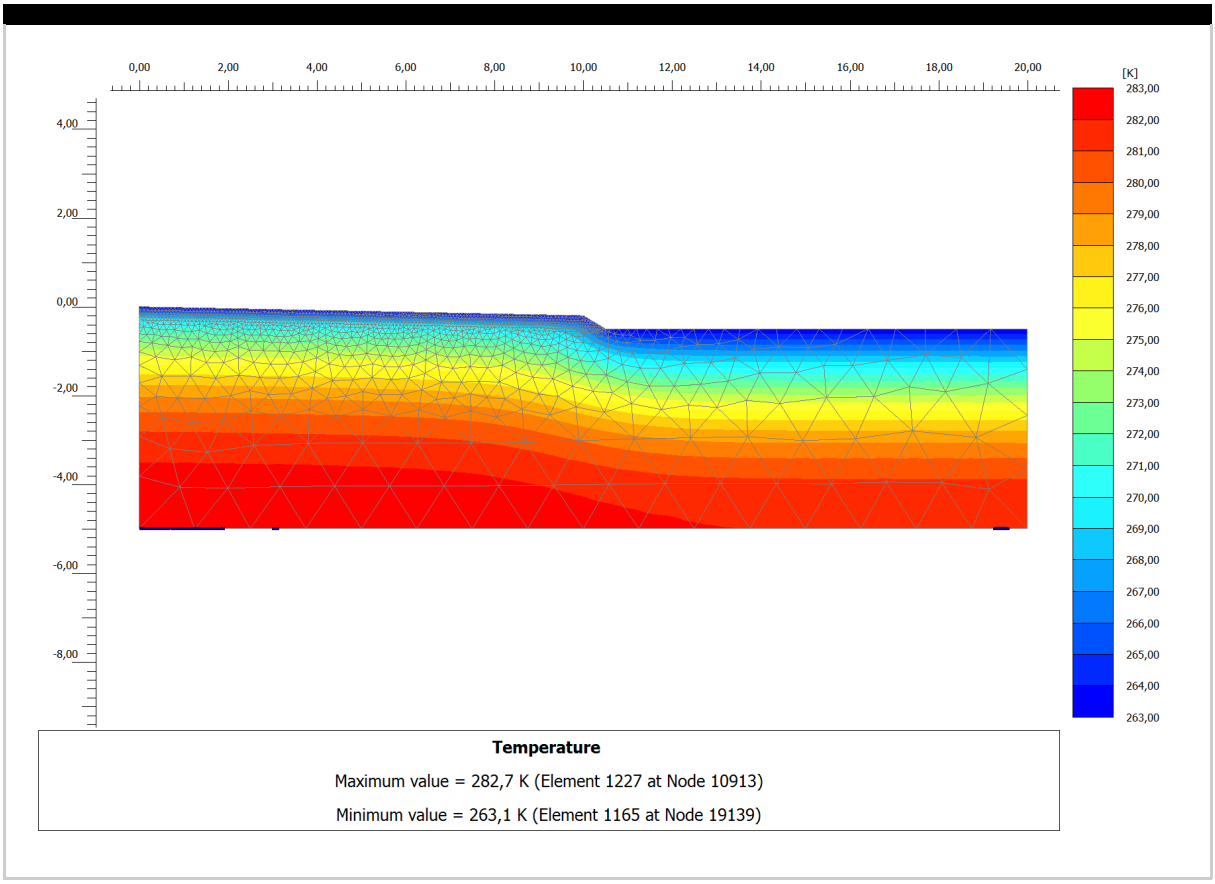
6. ábra

Hőmérséklet-eloszlás, t=5 nap, $T_{levegő}$≈0 °C



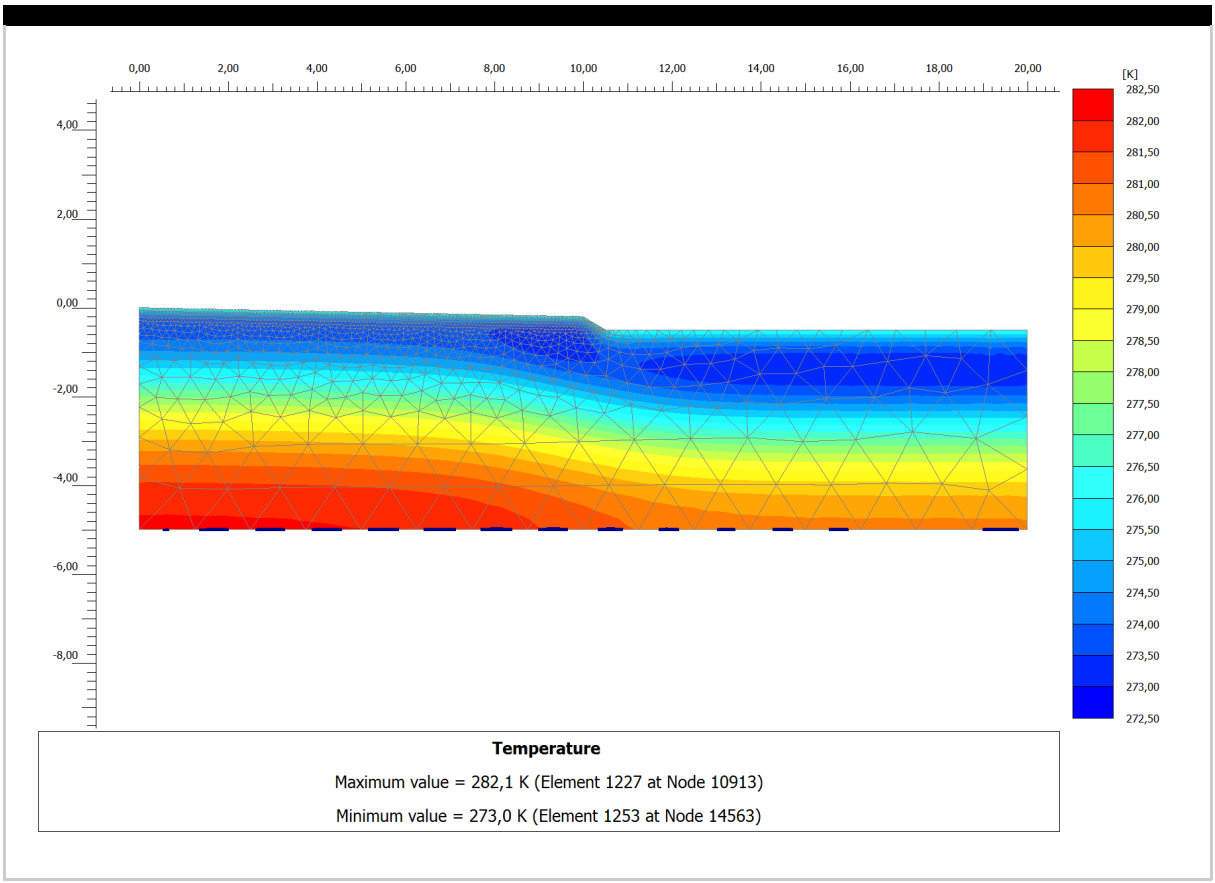
7. ábra

Hőmérséklet-eloszlás, t=10 nap, $T_{levegő}$≈-10 °C



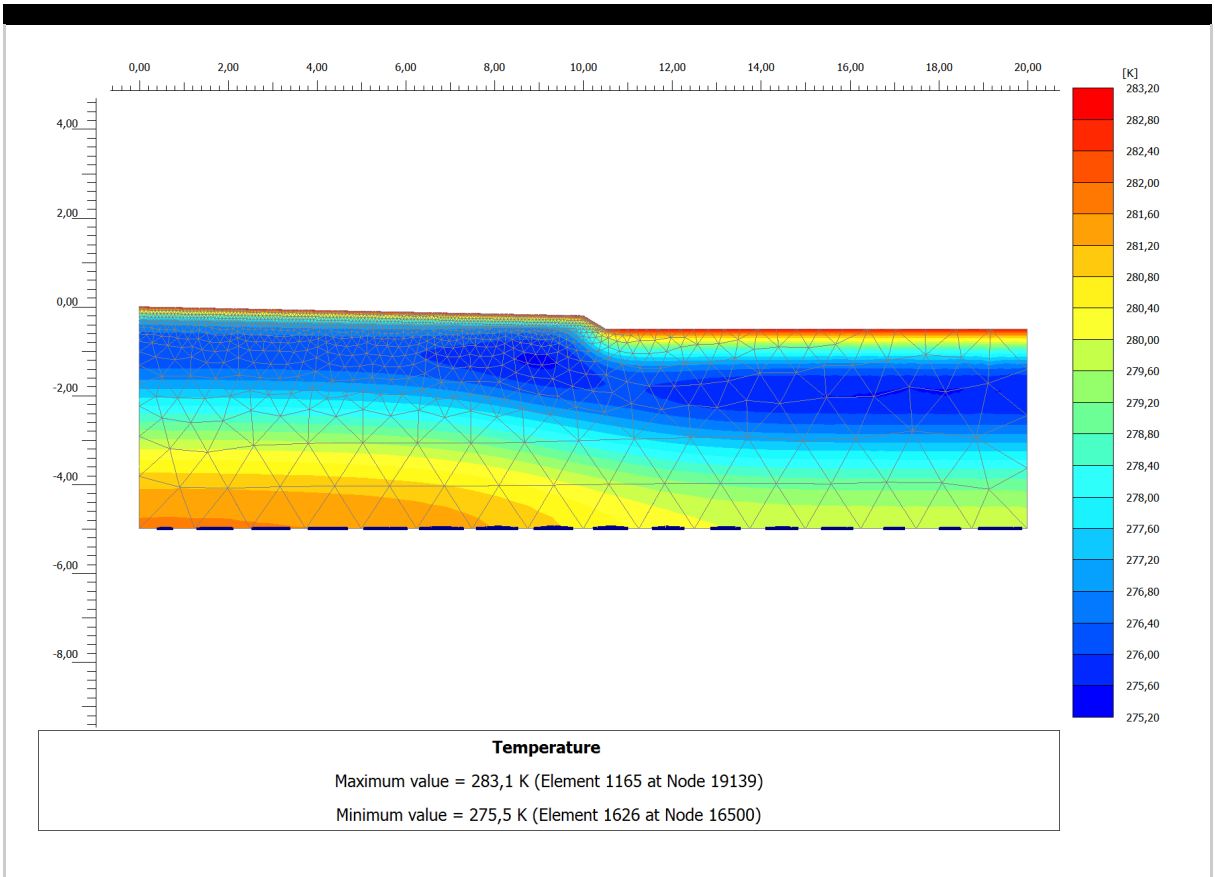
8. ábra

Hőmérséklet-eloszlás, t=20 nap, $T_{levegő}$≈-10 °C



9. ábra

Hőmérséklet-eloszlás, t=25 nap, $T_{levegő}$≈0 °C



10. ábra

Hőmérséklet-eloszlás, t=30 nap, $T_{levegő}$≈10 °C

4. Összegzés

A pályaszerkezet reziliens modulusának értékét a talaj állapotjellemzői jelentősen befolyásolják, melyek közül a víztartalom eloszlás és a hőmérséklet ingadozás (fagyás-olvadás ciklusok) a leglényegesebbek. Ezek a folyamatok modellezhetőek illetve számíthatóak, azonban a számítások elvégzéséhez bemenő adatként szükséges talajjellemzők (telített áteresztőképesség, víztartási görbe stb.) meghatározása közvetlen méréssel költséges és időigényes. Természetesen a paraméterek tapasztalati képletek segítségével is becsülhetőek ez azonban a számítás megbízhatóságának csökkenésével jár. A cikkben különböző szintű eljárásokat mutattunk be, melynek segítségével akár egyszerű geotechnikai vizsgálatok (pl. talajazonosítás) eredményeiből is lehet következtetni a nehezebben meghatározható talajjellemzőkre (pl. víztartási görbe, áteresztőképesség stb.), és így definiálhatóak a klimatikus viszonyoktól függő reziliens modulus számításához szükséges bemenő paraméterek. A folytatásban az ismertetett talajparaméterek alkalmazásával bemutatjuk a reziliens modulus számításának módszerét és a módszer értékelését.

5. Felhasznált irodalom

Fredlund D. G., Rahardjo H., Fredlund M. D. (2012): Unsaturated Soil Mechanics in Engineering

Practice. New Jersey: John Wiley & Sons. 944 p. ISBN: 978-1-118-13359-0

Fredlund D. G., Sheng D., Zhao J. (2011): Estimation of soil suction from the soil water characteristic curve. In: Canadian Geotechnical Journal. 48(2): p. 186-198.

Fredlund D. G., Xing, A., Fredlund, M., Barbour, S. L. (1995): The Relationship of the Unsaturated Shear Strength to the Soil-Water Characteristic Curve. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 32, p. 440-448.

Leong E. C., Rahardjo H. (1996): A Review on Soil-Water Characteristic Curve Equations", Geotechnical Research Report, NTU/GT/96-5, Nanyang Technological University, NTU PWD Geotechnical Research Center, Singapore

Van Genuchten M. T. (1980): A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sc. Soc. Am J.

Witczak M. W., Houston W. N., Zapata C. E., Richter C., Larson G., Walsh K. (2000): Improvement of the Integrated Climatic Model for Moisture Content Predictions. Development of the 2002 Guide for the Development of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCH RP 1-37 A, Inter Team Technical Report (Seasonal 4), Tempe, AZ.

Zapata C. E. (1999): Uncertainty in Soil-Water Characteristic Curve and Impacts on Unsaturated Shear Strength Predictions. Ph.D. Dissertation, 1999, Arizona State University, Tempe, AZ.

Zapata C. E., Andrei D., Witczak M. W., Houston W. N. (2007) Incorporation of Environmental Effects in Pavement Design. Road Materials and Pavement Design Vol.8:4 pp. 667-693.

Zapata C.E., Houston W.N., Houston S.L., Walsh K.D. (2000): Soil-Water Characteristic Curve Variability. Advances in Unsaturated Geotechnics, Shackelford C.D., Houston S.L., and Chang N-Y (eds). ASCE – GEO Institute Geotechnical Special Publication, No. 99. Also Proceedings Sessions Geo-Denver 2000, August 5-8, Denver, CO, p. 84-124.

Adatok

Megjelent itt

10. szám

2017. ősz

Szerző

Pap Miklós
Okl. építőmérnök, PhD hallgató BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Mahler András
Okl. építőmérnök, PhD, egyetemi docens. BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Tóth Csaba
Docens, BME Út és Vasútépítési Tanszék.

Témakörök
Földművek • Kötőanyagok

Kulcsszavak
áteresztőképesség • hőmérsékleti hatás • reziliens modulus • víztartási görbe

Befogadva
2017. december 3.

Abstract
The value of resilient modulus often used in road design is significantly influenced by the moisture and temperature distribution of the unbound material (freeze-thaw cycle). Several methods have been developed for the calculation of this effects. In this paper we present the method published by Zapata et al. in 2007. In the geotechnical practice, the theory of unsaturated soil mechanics has become more and more widely used, whereby the change of the stiffness and deformation properties of the soils depends on the water content can be described. The empirical correlations suggested by Zapata et al.

(2007) enable to obtain optimum water content, optimum degree of saturation, parameters of the water retention curve, saturated permeability and thermal conductivity from the soil classification tests) instead of their direct measurement. The paper presents the method of Zapata et al. and gives a short introduction of the governing geotechnical processes and evaluates the empirical correlations proposed.

Hozzászólás

Hozzászólás

* Név

* E-mail cím

Honlap

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Szakolvasó

Témakörök

© Copyright Útügyi Lapok 2019 • *Minden jog fenntartva.*

Az Útügyi Lapok félévente elektronikus formában megjelenő, online szabadon elérhető kiadvány, erre tekintettel jelenleg nem előfizethető. Alkalmanként azonban papíralapon is megjelenik, amennyiben szeretne a papír alapú megjelenésről értesítést illetve példányt kapni, kérjük érdeklődési szándékát az alábbi címen jelezze: utugyilapok@makadam.hu. *A lapban megjelent cikkek a szerzőik személyes véleményét fejezik ki és nem feltétlenül egyeznek meg a szerkesztők véleményével illetve ismereteivel.*

Útügyi lapok

11

Cikk

Az EU TEN-T törzshálózat Kelet/Kelet-Mediterrán folyosóján az úthálózat értékelésére használt kulcsfontosságú teljesítménymutatók

Az Európai Bizottság nyílt versenytárgyalásán elnyert megbízása alapján egy nemzetközi konzorcium 2014 óta foglalkozik az EU TEN-T kilenc törzshálózati folyosója fejlesztési tanulmányainak elkészítésével. A fejlesztési folyamat értékelésére közlekedési módonként a kitűzött célok elérésének mértékét tükröző kulcsfontosságú teljesítmény-mutatókat dolgoztak ki. A szerző ismerteti az úthálózat műszaki állapotával és szolgáltatási színvonalával kapcsolatos általános és egyedi, illetve kínálati és keresleti jellegű teljesítménymutatókat, majd azok alkalmazását a kilenc EU tagállamot – köztük Magyarországot is – érintő Kelet/Kelet-Mediterrán törzshálózati közlekedési folyosó úthálózatának értékelésére 2014-2017 között. A kínálati jellegű általános teljesítmény-mutatókat ugyan sikerült évente kiszámítani, a keresleti, vagy egyedi jellegűek számszerűsítése azonban a megbízható statisztikai adatok hiánya miatt nagy nehézségekbe ütközött. Így az úthálózat-fejlesztés nemzetközi összehasonlító értékelése kulcsfontosságú teljesítménymutatók alapján csak akkor válhat a tervezés hasznos eszközévé, ha az elérhető adatbázisok hiányosságait sikerül kiküszöbölni.

1. Bevezetés

Az Európai Parlament és a Tanács 1315/2013/EC Rendelete [1] alapján az Európai Bizottság 2014-ben nyílt nemzetközi versenytárgyalást hirdetett a Transz-Európai Közlekedési Hálózat (*TEN-T*) törzshálózatát alkotó nemzetközi közlekedési folyosók (*Core Network Corridor – CNC*) kiépítésére, azokon a kiépítettség és szolgáltatások egységesítésére és minőségi színvonaluk összehangolására vonatkozó átfogó fejlesztési tanulmányok kidolgozására, közlekedési folyosónként. Magyarországon három (a Mediterrán, a Kelet/Kelet-Mediterrán és a Rajna-Duna) TEN-T törzshálózati folyosó halad át. Ezek közül a Kelet/Kelet-Mediterrán (*Orient/East Mediterranean – OEM*) nemzetközi közlekedési folyosóra vonatkozó adatok összegyűjtésével, s az azokon alapuló fejlesztési tanulmány elkészítésével az Európai Bizottság az említett versenytárgyalást megnyert nemzetközi konzorciumot bízta meg. Az elfogadott munkaterv szerint az egyes folyosók által érintett EU tagállamokból az érdekeltek (államigazgatási tisztviselők, köztulajdonú és magánvállalati vezetők) széles körének részvételével rendszeresen ún. folyosó-megbeszéléseket (*Corridor Forums*) szerveznek, ahol a részvevőknek módjuk van az addig elkészült anyagok véleményezésére és módosítására, javítására.

Az EU Transz-Európai Közlekedési törzshálózatának Kelet/Kelet-Mediterrán (*OEM*) folyosója kilenc EU tagállamot érint (Ausztria, Bulgária, Ciprus, Csehország, Görögország, Magyarország, Németország, Románia és Szlovákia), közülük hét

jogosult a Kohéziós Alap (*Cohesion Fund – CF*) finanszírozási támogatásának igénybevételére. A folyosó kiinduló és végpontja közötti távolság közúton 4682 km, a folyosó teljes úthálózatának hossza pedig 5644 km.

A konzorcium munkáját az 1315/2013.sz. EU Rendeletben meghatározott általános prioritások figyelembe vételével végzi (1. táblázat).

10. cikk **ÁLTALÁNOS PRIORITÁSOK**	**19. cikk** **A KÖZÚTI INFRASTRUKTÚRA FEJLESZTÉSÉNEK PRIORITÁSAI**
(1) Általános prioritást kell biztosítani az alábbiakhoz szükséges intézkedéseknek:	**A közúti infrastruktúrával kapcsolatos közös érdekű projektek előmozdításakor és a 10. cikkben meghatározott általános prioritásokon túlmenően az alábbiakat is prioritásként kell kezelni:**
a) az összes uniós régió vonatkozásában a fokozott hozzáférhetőség és összeköttetés biztosítása, egyben a szigetek, elszigetelt hálózatok, valamint a ritkán lakott, a távoli és a legkülső régiók egyedi eseteinek figyelembevétele;	a) a közúti biztonság javítása és előmozdítása;
b) a közlekedési módok optimális integrációjának és a közlekedési módok közötti átjárhatóságnak a biztosítása;	b) az ITS alkalmazása, különösen a multimodális információkezelés és forgalomirányítás, illetve az integrált kommunikációs és fizetési rendszerek lehetővé tétele érdekében;
c) a hiányzó kapcsolatok kialakítása és a szűk keresztmetszetek megszüntetése, különösen a határokon átnyúló szakaszokat illetően;	c) új technológiák és innováció bevezetése a karbonszegény közlekedés előmozdítása érdekében;
d) az infrastruktúra hatékony és fenntartható használatának előmozdítása és szükség esetén a kapacitás növelése;	d) megfelelő mennyiségű és megfelelő biztonsági szintű parkolóhely biztosítása a kereskedelmi felhasználók számára;
e) az infrastruktúra minőségének javítása vagy megőrzése a biztonság, a védelem, a hatékonyság, az éghajlatváltozással és adott esetben katasztrófákkal szembeni ellenálló képesség, a környezeti teljesítmény, a társadalmi feltételek, a valamennyi felhasználó – köztük az idősek, a mozgáskorlátozott személyek, a fogyatékossággal élő személyek – számára való hozzáférhetőség, valamint a szolgáltatások minősége és a forgalomáramlás folyamatossága tekintetében;	e) a torlódás csökkentése a meglévő utakon.
f) telematikai alkalmazások megvalósítása és bevezetése, valamint az innovatív technológiai fejlesztés előmozdítása	
(2) Az (1) bekezdésben foglalt intézkedések kiegészítése érdekében különleges figyelmet kell fordítani az alábbiakhoz szükséges intézkedésekre:	
a) az üzemanyag-biztonság biztosítása fokozott energiahatékonyság révén, valamint az alternatív, elsősorban karbon-szegény vagy zéró szén-dioxid-kibocsátású energiaforrások és meghajtó-rendszerek használatának előmozdításával;	
b) az áthaladó vasúti és közúti szállítás negatív hatásainak való kitettség csökkentése a városi területek esetében;	
c) az adminisztratív és műszaki akadályok lebontása, különösen a transzeurópai közlekedési hálózat átjárhatósága és a verseny tekintetében.	

1. táblázat
A TEN-T törzshálózati folyosók úthálózata fejlesztésének prioritásai az 1315/2013 EU Rendelet szerint (Forrás: [1])

A rendelet egyébként a közlekedési folyosókat alkotó különböző közlekedési hálózatokra vonatkozóan (vasútvonalak, belvízi hajóutak, közutak, repülőterek, tengeri kikötők, folyami kikötők, vasúti-közúti átrakó állomások), további, egyedi prioritásokat is meghatározott. Ez utóbbiak közül az 1. táblázatban kizárólag a közutak fejlesztésére vonatkozó prioritásokat ismertetem, mivel a továbbiakban a Kelet/Kelet-Mediterrán TEN-T törzshálózati folyosó (1. ábra) úthálózatára vonatkozóan kidolgozott ún. kulcsfontosságú teljesítménymutatók (*Key Performance Indicators – KPI*) meghatározásának módszertanával és számításával foglalkozom, illetve e számítások eredményeinek ismertetésére szorítkozom.

1. ábra

Az Európai Unió Transz-Európai Közlekedési törzshálózatának Kelet/Kelet Mediterrán folyosója (Forrás: [3])

A többi nyolc törzshálózati közlekedési folyosóval kapcsolatos fejlesztési tanulmányok ugyanezen (egységes) módszertant alkalmazva készülnek (a teljesítménymutatók természetesen közlekedési módonként, illetve a fentebb felsorolt hálózatonként különbözők).

2. Az úthálózat fejlesztésének értékelésére alkalmas teljesítménymutatók

A gazdasági életben a kulcsfontosságú teljesítménymutatókat az ismertnek tekintett körülmények között a kitűzött célok elérése érdekében kifejtett tevékenységek eredményeként bekövetkező teljesítmény-javulás, vagy teljesítmény-romlás mértékének számszerűsítésére. Az infrastruktúra (pl. közlekedési hálózat) fejlesztése során az egyes rész-célokhoz rendelhető teljesítménymutatók egymást követő időpontokban kiszámított értékeinek segítségével meghatározható, hogy a kitűzött rész-célt az adott időpontra milyen mértékben sikerült megközelíteni, vagy esetleg elérni. A kulcsfontosságú teljesítménymutatók segítségével mérhető egy-egy infrastrukturális létesítmény mértékadó fizikai jellemzőinek (kiépítettségének, műszaki állapotának, azaz kínálatának) és szolgáltatási színvonalának (az igénybevételtől, azaz a kereslet nagyságától is függő) időbeli változása.

Mindezek figyelembe vételével a konzorcium szakértői 2015-ben úgy döntöttek, hogy kulcsfontosságú teljesítménymutatókat (*KPI*) határoznak meg és alkalmaznak az egyes folyosókat alkotó közlekedési hálózatok fejlődésének, valamint az egyedi projektek, vagy projekt-együttesek fejlődésre gyakorolt hatásainak figyelemmel kísérésére és értékelésére. Az így kialakított teljesítménymutatók rendszere egyrészt általános jellegű (minden folyosóra vonatkozóan egységesen alkalmazandó), másrészt egyedi jellegű (az egyes folyosók sajátos jellegzetességeinek figyelembe vételével meghatározott) teljesítménymutatókból áll.

Az *általános jellegű* teljesítménymutatók elsősorban a kínálat (létező infrastruktúra) és a kereslet néhány kiválasztott jellemzőjének leírására vonatkoznak. Lehetőség van regionális szinten gyűjtött társadalmi-gazdasági háttér-információk bevonására is (pl. GDP/fő, foglalkoztatottság, népesség, mobilitás, stb.). Ezek a teljesítménymutatók megkönnyítik az

egyes folyosók egymással való összehasonlítását (2. táblázat). Az *egyedi* jellegű teljesítménymutatók körébe az egyes folyosók különleges, kritikus pontjait jellemzők tartoznak.

Közlekedési mód: közúthálózat	Típus (Sz: személy-szállítás; Á:áruszállítás)	Általános cél	Egyedi cél	Kulcsfontosságú teljesítmény-mutatók – KPI	Egység	Hivatkozott EU Rendelet 1315/2013	Nyilvános adatforrás
Kínálat-oldali teljesítmény-mutatók	Sz/Á	Kohézió	Műszaki megfelelőség	**Autóút / Autópálya**	%	§18	TENtec – Utak – 2 – Típus
	Sz/Á	Kohézió	Műszaki megfelelőség	**Parkolóhely 100 km-enként**	**%**	§19 biztonságos parkolási előírások	TENtec – ITS Utak – 1
	Sz/Á	Fenntart-hatóság – Kohézió	Szennyezés-mentes közlekedés	**Szennyezésmentes üzemanyag elérhetősége**	**%**	§39 alternatív üzemanyag-ellátó infra-struktúra a § 3(w) szerint	TENtec – Innováció és infrastruktúra – 1
	Sz/Á	Hatékonyság	Optimális integráció és innováció	**ITS lefedettség**	**%**	$18 más rendszerekkel való kompatibilitás %	TENtec – Utak – 20 – ITS
Kereslet-oldali teljesítmény-mutatók	Sz	Hatékonyság	Infrastruktúra hatékony használata	**Szgk forgalom nagysága**	**index (2014=100)**	§4 gazdaságilag hatékony, jó minőségű közlekedés előmozdítása az úthasználók mobilitási és közlekedési igényeinek kielégítésével az Unión belül és harmadik országok viszonylatában	TENtec – Utak – 11
	Sz	Hatékonyság	Optimális integráció és jobb összeköttetés	**Nemzetközi szgk forgalom nagysága**	**index (2014=100)**	§4 nemzetközi közlekedési hálózatok összeköttetése és együttműködtetése	TENtec – Utak – 11
	Á	Hatékonyság	Infrastruktúra hatékony használata	**Tehergépkocsi forgalom nagysága**	**index (2014=100)**	§4 gazdaságilag hatékony, jó minőségű közlekedés előmozdítása az úthasználók mobilitási és közlekedési igényeinek kielégítésével az Unión belül és harmadik országok viszonylatában	TENtec – Utak – 12
	Á	Hatékonyság	Optimális integráció és jobb összeköttetés	**Nemzetközi tgk forgalom nagysága**	**index (2014=100)**	§4 nemzetközi közlekedési hálózatok összeköttetése és együttműködtetése	TENtec – Utak – 12
	Sz/Á	Hatékonyság	Infrastruktúra hatékony használata	**Torlódás a folyosó úthálózatán**	**km hossz %-a**	§4 a meglévő és az új infrastruktúra	TENtec – 2 – Típus; 3,4 –

						hatékony használata	Forgalmi sávok száma

2. táblázat

A tanulmány céljára kialakított, a törzshálózati közlekedési folyosó úthálózatának értékelésére szolgáló, általános jellegű kulcsfontosságú teljesítmény-mutatók (KPI). (Forrás:[3])

Ezek a folyosó sajátosságaihoz alkalmazkodó teljesítménymutatók meghatározását és alkalmazását, ezáltal a folyosó fejlődésének pontosabb értékelését teszik lehetővé (3. táblázat).

Közlekedési mód	**Típus (Sz: személyszállítás; Á: áruszállítás)**	**Cél**	**Folyosó specifikus cél**	**KPI**	**Hivatkozott EU Rendelet 1315/2013**
Minden közlekedési mód	Sz/Á	Fenntarthatóság – Hatékonyság	Szennyezésmentes közlekedés – közlekedési módok optimális integrációja	**Közlekedési munkamegosztás egyes csomópontokon, vagy folyosónként kijelölt, kiemelt jelentőségű összeköttetéseken**	§4 alacsony szénhidrogén-felhasználású közlekedés; nagy távolságú közúti szállítások más közlekedési módokra való átterelése a Közlekedési Fehér Könyv (2011) szerint
Minden közlekedési mód	Sz/Á	Hatékonyság	Infrastrutúra hatékony használata	**Infrastruktúta kapacitás-kihasználási hányadosa (folyosó szintjén – útszakasz szintjén)**	§4 meglévő és új infrastruktúra hatékony használata
Minden közlekedési mód	Sz/Á	Hatékonyság	Infrastrutúra hatékony használata	**ÁNF közlekedési módonként a jellemző csomópontokon (folyosó szintjén – útszakasz szintjén)**	§4 gazdaságilag hatékony, jó minőségű közlekedés előmozdítása az úthasználók mobilitási és közlekedési igényeinek kielégítésével az Unión belül és harmadik országok viszonylatában
Minden közlekedési mód	Sz/Á	Hatékonyság	Infrastrutúra hatékony használata	**Utazási idők (különböző típusai) folyosónként kijelölt, kiemelt jelentőségű összeköttetéseken**	§4 meglévő és új infrastruktúra hatékony használata

3. táblázat

A tanulmány céljára kialakított, a törzshálózati közlekedési folyosók úthálózatának értékelésére szolgáló, egyedi jellegű (folyosó-specifikus) kulcsfontosságú teljesítmény-mutatók (KPI). (Forrás:[3])

A kulcsfontosságú teljesítménymutatók meghatározásakor a következő követelményeket vették figyelembe:

• illeszkedjenek az Európai Unió fejlesztési stratégiájának keretébe;
• legyenek számszerűsíthetők;
• nyilvánosságra hozott statisztikai adatok (elsősorban az európai szintű TENtec adatbázis [2]) segítségével legyenek kiszámíthatók;
• legyenek a folyosó egészére vonatkoztatva összesíthetők;
• legyenek alkalmasak a folyosó teljesítményének értékelésére.

A konzorcium munkáját jelentősen megnehezítette az érintett EU tagállamokra vonatkozóan nyilvánosságra hozott statisztikai adatok hiánya, esetenként az érdekeltek részéről az adatszolgáltatás elmaradása, ami a teljesítménymutatók számítását a legtöbb esetben nagyon megnehezítette, vagy egyszerűen lehetetlenné tette. Mindezek ellenére érdemes a 2017 júniusában elkészült 2. Részjelentés erre vonatkozó adatait megismerni és tanulmányozni [3].

3. A Kelet/Kelet-Mediterrán (OEM) TEN Közlekedési törzshálózati folyosó úthálózata fejlesztésének értékelése kulcsfontosságú teljesítmény-mutatók (KPI) segítségével

A többi folyosóéval összehasonlítva 2016-ban a Kelet/Kelet-Mediterrán (OEM) folyosó úthálózatán volt a legmagasabb (KPI = 88%) az autóutak, illetve autópályák aránya a teljes úthálózaton belül. A folyosó által érintett kilenc EU tagállam közül négyben (DE, SK, HU és EL) a teljes folyosói úthálózatot már ilyen színvonalon kiépített útszakaszok alkotják. A többi, OEM folyosó által érintett tagállamban az ilyen színvonalú útszakaszok aránya meghaladja a 70%-ot, kivéve Romániát, ahol ez mindössze 37%. A megfigyelési időszakban (2014-2016) Csehországban, Magyarországon, Romániában, Bulgáriában és Görögországban befejezett útépítési projekteknek köszönhetően az autóútként/autópályaként megépült útszakaszok aránya 6%-kal nőtt a 2014-es bázisévhez viszonyítva. A legfontosabb hiánypótló szakasz Makó (HU M43) és Arad (RO A1) között épült meg. Ugyancsak befejeződött a D8 Lovosice – Usti nad Labem (CZ), az A1 Timisoara – Lugoj (RO), az A3 Dupnitsa – Blagojevgrad (BG) és az A3 Sandanski – Kulata országhatár (BG), az A4 Orizovo – Harmanli (BG) és az A1 Lamia – Raches (EL) autópálya szakasz építése. A németországi és ausztriai autópálya-szakaszokon ugyanebben az időszakban kapacitásnövelő fejlesztéseket hajtottak végre.

A még nem autóútként/autópályaként kiépült útszakaszok (összegezett hosszuk 633 km) többségének fejlesztését célzó projektek minden egyes érintett országban elkészültek, így a cél megközelítésének mértékét tükröző KPI várható értéke 2030-ban már 97% lehet. Ugyanakkor a projektek kivitelezésének ütemezését és/vagy finanszírozási forrásait még nem minden projektre vonatkozóan határozták meg (l. pl. Bulgáriában a Vidin – Montana – Botevgrad közötti, összesen 140 km hosszúságú, állandósult torlódásokat okozó két útszakaszt).

Jelentős előrehaladás volt megfigyelhető a széndioxid-szennyezés mentes alternatív üzemanyagok elérhetősége terén is. Az ilyen üzemanyagot is kiszolgáló töltőállomások száma a 2013-as 412-ről 1000 fölé emelkedett 2016-ra. Úgy becsülhető, hogy 2016 végén már a folyosó hosszának 95%-án volt legalább egyfajta szennyezés-mentes alternatív üzemanyagot áruló töltőállomás (ez a KPI a 2014-es bázisévben csupán 89% volt). Cipruson, ahol 2014-ben még egyáltalán nem volt alternatív üzemanyagot is áruló töltőállomás, ma már az autópályák mentén elérhetők elektromos töltőállomások. Az alternatív üzemanyagok kínálata várhatóan tovább fog bővülni. Nemzetgazdasági léptékű, illetve stratégiai tervek már léteznek Németországban, Csehországban, Magyarországon és Cipruson, ezek egy részének már a kivitelezése is megkezdődött.

Számos olyan, egyenként 100 km-nél is hosszabb útszakasz van az OEM folyosón (Csehországban, Magyarországon, Bulgáriában és Görögországban), amelyeken nincs az IRU (*International Road Transport Union – Nemzetközi Közúti Áruszállítók Egyesülete*) előírásait mindenben kielégítő, biztonságos és kényelmes (étkezést, szállást és információt is) kínáló parkoló/pihenőhely. Ez azonban nem jelenti azt, hogy ezeken az útszakaszokon egyáltalán nincs parkoló/pihenőhely. Mivel a töltőállomásokhoz hasonlóan a parkoló/pihenőhelyek létesítése is döntően a piaci körülményektől (valamint a fuvarozók és a biztosító-társaságok megállapodásától) függ, úgy tűnik, egyelőre nincs szükség ezzel kapcsolatos egyedi projektek kidolgozására. A folyosó úthálózata mentén található biztonságos parkolók száma egyébként 2014-hez viszonyítva 7%-kal emelkedett, s kijelenthető, hogy a pihenőhelyek jelenlegi száma és elhelyezése kielégíti az 1315/2013/EC Rendeletben meghatározott követelményeket (azaz minden 100 km-es szakaszon van legalább egy ilyen parkoló/pihenőhely). Ugyanakkor nyomatékkal javasolható a meglévő parkolók további bővítése és fejlesztése, biztonságuk és szolgáltatási színvonaluk emelése érdekében.

Társadalmi hatásaik jelentőségére való tekintettel különös figyelmet kell szentelni olyan, már kidolgozott projektek megvalósítására, amelyek (többek között) a közlekedés biztonságának növelését is eredményezhetik. Ilyen projektek vonatkoznak pl. Ausztriában a Bruckneudorf – Nickelsdorf és Bulgáriában a Blagojevgrad – Sandanski autópálya szakasz korszerűsítésére.

Különleges figyelmet célszerű fordítani az intelligens közlekedési rendszerek alkalmazására, mert ezek fontos szerepet játszhatnak az úthasználat hatékonyságának növelésében, a közlekedésbiztonság fokozásában, a járművek okozta út-menti és városi környezetszennyezés mértékének csökkentésében. Ahol az adatátvitel alapvető információtechnológiai (IT) infrastruktúrája még nem épült ki, a tagállamoknak meg kell gyorsítaniuk annak létrehozását, egyúttal alkalmassá téve azt a megfelelő közlekedési alkalmazások telepítésére és üzemeltetésére.

Jelenleg a rádióhullámok általi adatátviteli rendszer (*Radio Data System – RDS*) alapú közlekedési üzenetközvetítő csatorna (Traffic Message Channel –TMC) nem képes a határátlépő forgalomra vonatkozó információk továbbítására, ami korlátozza annak az úthasználókra gyakorolt kedvező hatását. Az Európai Hálózatfinanszírozási Eszköz (*Connecting Europe Facility – CEF*) által társfinanszírozott, folyamatban lévő, az egyeztetett adatok cseréjére lehetőséget nyújtó CROCODILE projekt várhatóan megfelelő alapot teremt majd a határokon átnyúló közlekedési információs szolgáltatások létrehozásához is.

Az OEM folyosó úthálózatán a tehergépjárművek átlagos napi forgalomnagyságának súlyozott átlaga 2014-ben 3 150 jármű/nap, míg a személygépkocsikra vonatkozó hasonló adat 19 000 jármű/nap volt. A legnagyobb tehergépjármű-forgalom értékeket Németországban és Magyarországon mérték. Jelentős személygépkocsi-forgalmat lebonyolító város-környéki útszakaszok találhatók Görögországban, Németországban, Csehországban és Magyarországon. A rendelkezésre álló (messze nem teljes körű) adatok alapján, az OEM folyosó úthálózatának átlagos kapacitáskihasználási mutatója (KPI) mintegy 44.5%. Az egész folyosóra jellemző, hogy a kapacitás-kihasználási mutatók a nagyvárosok környékén és azokba bevezető útszakaszokon magasak.

Több projektet dolgoztak ki egyes torlódásos útszakaszok áteresztőképességének növelésére. A kapacitáshiány kedvezőtlenül befolyásolja a közlekedésbiztonságot, s a tartós forgalmi torlódások kialakulása okainak felderítésére és mielőbbi megszüntetésére (különösen a közvetlenül városi csomópontokhoz kapcsolódó útszakaszokon) különös figyelmet kell fordítani.

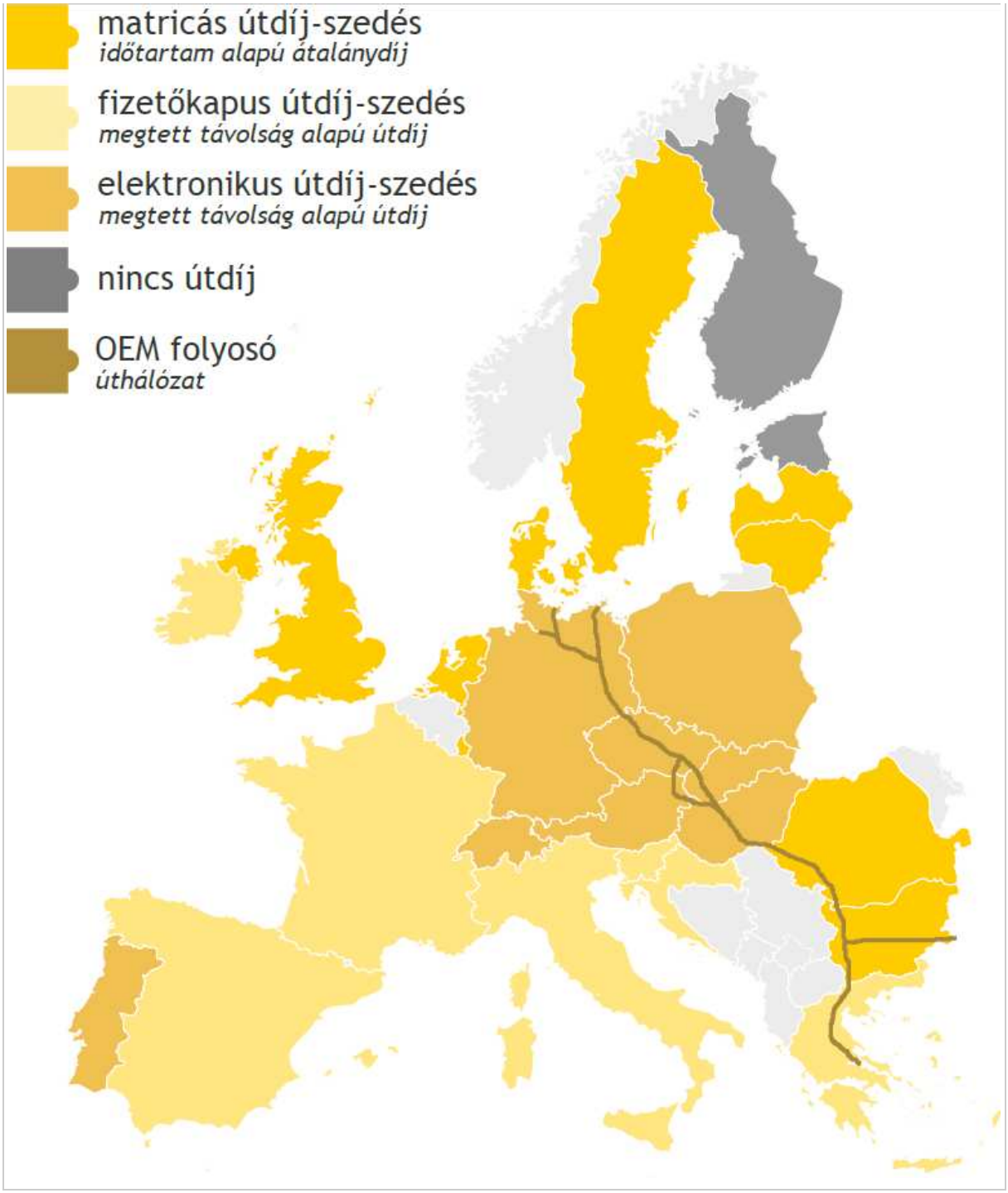
A közúti közlekedésben rejlő jelentős innovációs lehetőségek kihasználását az eltérő szabványok széttagolt alkalmazása, a tagállamok közötti nem kielégítő mértékű és szintű együttműködés és a határokon akadálytalanul átnyúló szolgáltatások hiánya is nehezíti. Az értékelt időszakban a nemzetközi forgalomban közlekedő nehéz tehergépjárművek határátkelésre várakozási ideje pl. tovább növekedett. Ez csak részben vezethető vissza az útdíj-szedő rendszerek különbözőségére, az esetek többségében inkább az illetékes hatóságok általi okmány-ellenőrzés és vámvizsgálat alaposságának fokozására és/vagy az eljárások szervezetlenségére, lassúságára, a két szomszédos ország hatóságainak nem kellően hatékony együttműködésére vezethető vissza. Ebből következik, hogy sürgős intézkedéseket kell tenni az eljárások lebonyolításának optimálása érdekében, mert így a szállítmányok késedelme és a megnövekedett szállítási idők miatti gazdasági veszteségek is jelentősen csökkenthetők.

Végül, de nem utolsó sorban nem volt érzékelhető fejlődés az OEM folyosó menti tagállamokban működő, eltérő technológiákat, különböző mértékű útdíjakat és differenciálást alkalmazó útdíj-szedő rendszerek együttműködtetésének (interoperability) területén. A tehergépjármű-közlekedés területén jelenleg működő elektronikus útdíj-szedő rendszerek ugyan kielégítik az EU 2010/40 Irányelvben [4] az Intelligens Közlekedési Rendszerek közúti közlekedésben való alkalmazására vonatkozóan előírt követelményeket, de – a Németország és Ausztria között már megvalósult együttműködtetést kivéve, ahol egy kombinált fedélzeti egység (*On Board Unit – OBU*) elegendő mindkét országban a futásteljesítmény-alapú útdíj megfizetéséhez) nem teszik lehetővé a zavartalan határátkeléseket és a folyamatos áruszállítást a nemzetközi forgalomban közlekedő tehergépjárműveknek. Az OEM törzshálózati folyosó teljes hosszán végighaladni kívánó tehergépjárműnek az útdíjak kifizetéséhez ma 4 fedélzeti egységgel és a szélvédőn az útdíj előre befizetését igazoló 3 érvényes matricával kellene rendelkeznie.

Tekintettel a jó minőségű, magas szolgáltatási színvonalú utak fenntartására igénybe vehető közpénz-források korlátozott voltára, egyre nagyobb szükség van a jelenleg széttagoltan működő, így a nemzetközi forgalom zavartalan lebonyolítását akadályozó nemzeti útdíj-szedő rendszerek együttműködtetését is biztosító rendszer létrehozására. A következőkben a tehergépjárművekre kirótt útdíjak beszedésére alkalmazott díjszedő-rendszerek példáján (a X. Budapesti Nemzetközi Útügyi Kongresszuson tartott előadásom anyagát is felhasználva [5]), röviden ismertetem, miért nem sikerült eddig az erre vonatkozóan eredetileg elképzelt KPI számszerűsítése. A személygépkocsikra vonatkozóan mindenütt időtartam-alapú átalánydíjas (matricás) rendszerű útdíj-szedést alkalmaznak, elsősorban és döntően az autópályákon és autóutakon, Németország és Görögország kivételével. Előbbiben 2017-ben tervezik bevezetni a matricás útdíj-szedési rendszert, utóbbiban fizetőkapus útdíj-szedő rendszer üzemel az autópályákon.

4. Az OEM folyosó által érintett tagországokban a tehergépjárművekre kirótt útdíjak és differenciálásuk összehangolása, az útdíj-szedő rendszerek együttműködtetése

Az EU 1315/2013. Rendelet tartalmazta az elektronikus útdíj-szedési rendszerek (Electronic Toll Collection System – ETCS) együttműködtetésére vonatkozó előírásokat is. 2016-ban útdíj-szedő rendszerek működtek Ciprus kivételével minden az OEM folyosó által érintett tagállamban, ezek közül öt (Németországban, Csehországban, Szlovákiában, Ausztriában és Magyarországon) volt a 3.5 tonna, vagy azt meghaladó összegezett teherbírású tehergépjárművek által fizetendő, a megtett távolságon alapuló útdíj beszedésére alkalmas elektronikus rendszer (2. ábra). Bulgáriában és Romániában adott időszakra vonatkozó átalánydíjas (matricás) útdíj-szedő rendszer üzemel, míg Görögországban a megtett úttal arányos útdíjat fizetőkapus rendszerben (néhány kapu megállás nélküli áthaladást/fizetést is lehetővé tesz) szedik be a magántársaságok által üzemeltetett autópályákon. Ugyanakkor vannak már ígéretes kezdeményezések (többnyire kétoldalú üzemeltetési megállapodások formájában) a különböző elektronikus útdíj-szedő rendszerek együttműködtetésére. Ilyennek tekinthető pl. az ausztriai és németországi elektronikus útdíj-szedési rendszerben egyaránt használható fedélzeti eszköz (OBU) alkalmazása. A közvetítőkhöz való bejelentkezés esetén a németországi (és bármely más, a helymeghatározást a GPS, vagy a GALILEO rendszerben lehetővé tevő) OBU Magyarországon is használható. Az elektronikus útdíj-szedési rendszerek szélesebb körű együttműködtetésének megvalósításához azonban az IT szakemberek, az illetékes hatóságok és intézmények, valamint a nemzetközi fuvarozók további erőfeszítéseire, szorosabb együttműködésére lenne szükség.



2. ábra

Tehergépjárművek útdíj-szedő rendszerei az Európai Unióban és az OEM folyosó által érintett tagállamokban. (Forrás: [5])

A Csehországban és Szlovákiában a működő elektronikus útdíj-szedő rendszerben kirótt útdíjak nem fedezik a tehergépjárművekre terhelhető infrastruktúra-költségeket, arra való hivatkozással, hogy egyrészt nincsenek általánosan elfogadott, objektív számítási módszerek sem a közúti infrastruktúra-költségek számítására, sem pedig e költségeknek az egyes járműtípusok között az igénybevétel arányában való megosztására, másrészt pedig az úthasználók és az adófizetők közötti tehermegosztás mértéke és aránya szinte mindenütt politikai kérdés (is). A Németországban, Ausztriában és Magyarországon a tehergépjárművekre kirótt útdíjak összege teljes mértékben fedezi a díjas úthálózat beruházási, üzemeltetési és fenntartási költségeinek az igénybevétel arányában egy-egy járműkategóriára terhelhető részét.

Az OEM közlekedési folyosó által érintett legtöbb tagállamban (Románia kivételével) az útdíjakat az levegőszennyezés mértékének figyelembe vételével az EURO osztályozás alapján differenciálják (azaz a kevésbé szennyező motorral (EURO V-VI) hajtott jármű kevesebbet fizet, mint az erősen szennyező motorokkal (EURO 0-III) rendelkezők. Az eltérés a megengedett legnagyobb mértéke eredetileg 50%-os volt [6], ezt később 100%-ra növelték [7], ám ezt a lehetőséget teljes mértékben sehol sem használják ki. Az OEM folyosó által érintett tagállamokban 2016-ban alkalmazott útdíjakat és a környezetszennyezésen alapuló differenciálás mértékét (ennek tartománya a Szlovákiában alkalmazott kb. 30%-tól a Németországban és Csehországban alkalmazott 50%-ik terjed) a 4., 5., 6., 7. és 8. táblázat mutatja be.

Díjas autó-pályák & autó-utak	Tengelyek száma	Útdíj (€cent/jmű-km)						Arány a legkisebb értékhez viszonyítva (differenciálás az emissziós osztályon belül)	Arány a legkisebb értékhez viszonyítva (átfogó differenciálás)					
		F EURO 0-I	E EURO II	D EURO III	C EURO IV	B EURO V	A EURO VI		F EURO 0-I	E EURO II	D EURO III	C EURO IV	B EURO V	A EURO VI
DE	2	16.4	15.4	14.4	11.3	10.2	8.1	1.00	2.02	1.90	1.78	1.40	1.26	1.00
	3	19.6	18.6	17.6	14.5	13.4	11.3	1.20(F)-1.40(A)	2.42	2.30	2.17	1.80	1.65	1.40
	4	20.0	19.0	18.0	14.9	13.8	11.7	1.22(F)-1.44(A)	2.47	2.35	2.22	1.84	1.70	1.44
	5≤	21.8	20.8	19.8	16.7	15.6	13.5	1.33(F)-1.67(A)	2.70	2.57	2.44	2.06	1.93	1.67

4. táblázat

Útdíjak és az emissziós osztályokon alapuló differenciálás mértéke az elektronikus útdíj-szedési rendszereket üzemeltető OEM tagállamokban 2016-ban, DE (Forrás: [5])

Díjas autó-pályák & autó-utak	Tengelyek száma	Útdíj (CZK/jmű-km) (1 € = 27.02 CZK; 1 CZK = 0.037€)				Arány a legkisebb értékhez viszonyítva (differenciálás az emissziós osztályon belül)	Arány a legkisebb értékhez viszonyítva (átfogó differenciálás)			
		EURO 0-II	EURO III-IV	EURO V	EURO VI-EEV		EURO 0-II	EURO III-IV	EURO V	EURO VI-EEV
CZ	2	3.34	2.82	1.83	1.67	1.00	2.00	1.69	1.10	1.00
	3	5.70	4.81	3.13	2.85	1.71	3.41	2.88	1.87	1.71
	4≤	8.24	6.97	4.52	4.12	2.47	4.93	4.17	2.71	2.47

5. táblázat

Útdíjak és az emissziós osztályokon alapuló differenciálás mértéke az elektronikus útdíj-szedési rendszereket üzemeltető OEM tagállamokban 2016-ban, CZ (Forrás: [5])

Díjas autó-pályák & autó-utak	Tengelyek száma	Nettó útdíj (€/jmű-km)				Arány a legkisebb értékhez viszonyítva (differenciálás az emissziós osztályon belül)	Arány a legkisebb értékhez viszonyítva (átfogó differenciálás)			
		D EURO 0-III	C EURO IV-V	B EURO EEV	A EURO VI		D EURO 0-III	C EURO IV-V	B EURO EEV	A EURO VI
AT	2	0.2130	0.1900	0.1720	0.1570	1.00	1.36	1.21	1.10	1.00
	3	0.2982	0.2660	0.2408	0.2198	1.40	1.90	1.70	1.50	1.40
	4≤	0.4473	0.3990	0.3612	0.3297	2.10	2.85	2.54	2.30	2.10

6. táblázat

Útdíjak és az emissziós osztályokon alapuló differenciálás mértéke az elektronikus útdíj-szedési rendszereket üzemeltető OEM tagállamokban 2016-ban, AT (Forrás: [5])

Díjas autó-pályák & autó-utak	Jármű-kategória	Útdíj (€/jmű-km)			Arány a legkisebb értékhez viszonyítva (differenciálás az emissziós osztályon belül)	Arány a legkisebb értékhez viszonyítva (átfogó differenciálás)		
		EURO 0-II	EURO III-IV	EURO V-VI, EEV		EURO 0-II	EURO III-IV	EURO V-VI, EEV
SK	3.5t – 12t	0.103	0.093	0.080	1.00	1.29	1.16	1.00
	12t ≤ 2 tengely	0.221	0.200	0.172	2.15	2.76	2.5	2.15
	12t ≤ 3 tengely	0.233	0.211	0.181	2.26	2.91	2.64	2.26

	12t ≤ 4 tengely	**0.242**	**0.219**	**0.188**	**2.35**	**3.0**	**2.74**	**2.35**
	12t ≤ 5 tengely	**0.233**	**0.211**	**0.181**	**2.26**	**2.91**	**2.64**	**2.26**

7. táblázat

Útdíjak és az emissziós osztályokon alapuló differenciálás mértéke az elektronikus útdíj-szedési rendszereket üzemeltető OEM tagállamokban 2016-ban, SK (Forrás: [5])

Díjas autó-pályák & autó-utak HU	**Tengelyek száma**	**Bruttó útdíj (ÁFÁ-val együtt) (HUF/jmű-km) 1 € = 305 HUF 1 HUF = 0.0033 &**			**Arány a legkisebb értékhez viszonyítva (differenciálás az emissziós osztályon belül)**	**Arány a legkisebb értékhez viszonyítva (átfogó differenciálás)**		
		EURO 0-I	**EURO II**	**EURO III-IV**		**EURO 0-I**	**EURO II**	**EURO III-IV**
	2	**60.26**	**52.50**	**44.54**	**1.0**	**1.36**	**1.22**	**1.0**
	3	**84.55**	**73.52**	**62.49**	**1.4**	**1.94**	**1.65**	**1.40**
	4≤	**136.56**	**113.8**	**91.04**	**2.04-2.27**	**3.07**	**2.56**	**2.04**

8. táblázat

Útdíjak és az emissziós osztályokon alapuló differenciálás mértéke az elektronikus útdíj-szedési rendszereket üzemeltető OEM tagállamokban 2016-ban, HU (Forrás: [5])

A fentebb hivatkozott EU Irányelvek 100%-os mértékű differenciálást engednek meg az utazás időpontja alapján. Ilyesfajta differenciálást egyedül a Cseh Köztársaságban alkalmaznak a teljes díjas úthálózaton, míg Ausztriában a zajszennyezés mértékének csökkentése érdekében éjszaka szednek magasabb útdíjakat.

A tehergépjárművekre kivetett útdíjak emissziós osztályokon alapuló átfogó differenciálása mértékeinek nemzetközi összehasonlítását teszi lehetővé a 9. táblázat.

ORSZÁG		**NÉMETORSZÁG**				**AUSZTRIA**			**CSEHORSZÁG**			**SZLOVÁKIA**					**MAGYARORSZÁG**			**BULGÁR**	
Jármű-kategória		**2 teng.**	**3 teng.**	**4 teng.**	**5≤ teng.**	**2 teng.**	**3 teng.**	**4≤ teng.**	**2 teng.**	**3 teng.**	**4≤ teng.**	**3.5t – 12t**	**12t ≤ 2 teng.**	**12t ≤ 3 teng.**	**12t ≤ 4 teng.**	**12t ≤ 5 teng.**	**2 teng.**	**3 teng.**	**4≤ teng.**	**MATRIC**	
																				3.5t< ≤12t	**12**
Emissziós osztály	**EURO VI**	**1.00**	**1.40**	**1.44**	**1.67**	**1.00**	**1.40**	**2.10**	**1.00**	**1.70**	**2.50**	**1.00**	**2.15**	**2.26**	**2.35**	**2.26**	**1.00**	**1.40**	**2.04**	**1.00**	**1.**
	EEV					**1.10**	**1.50**	**2.30**													
	EURO V	**1.26**	**1.65**	**1.70**	**1.93**	**1.21**	**1.70**	**2.54**	**1.10**	**1.90**	**1.70**										
	EURO IV	**1.40**	**1.80**	**1.84**	**2.06**				**1.70**	**2.90**	**4.20**	**1.16**	**2.50**	**2.64**	**2.74**	**2.64**					
	EUROIII	**1.78**	**2.17**	**2.22**	**2.44**	**1.34**	**1.90**	**2.85**													
	EURO II	**1.90**	**2.30**	**2.35**	**2.57**				**2.00**	**3.40**	**5.0**	**1.29**	**2.76**	**2.91**	**3.00**	**2.91**	**1.22**	**1.65**	**2.56**	**1.30**	**2.**
	EURO I	**2.02**	**2.42**	**2.47**	**2.70**												**1.35**	**1.94**	**3.07**		
	EURO 0																				

9. tábláz

A tehergépjárművekre kivetett útdíjak EURO emissziós osztályokon alapuló differenciálásának nemzetközi összehasonlítása hat OEM tagállamba (Forrás: [

Az adatokból egyértelműen kitűnik, hogy az országonként igencsak eltérő differenciálás önmagában nem ösztönözhet kellőképpen a járműállomány korszerűsítésére (azaz a kevésbé környezetszennyező tehergépjárművek beszerzésének meggyorsítására), hiszen az alkalmazott tarifarendszerek az érdekelt úthasználóknak (fuvarozók, tehergépjármű tulajdonosok és –üzemeltetők, szállítmányozók, stb.) meglehetősen ellentmondásos, nehezen értelmezhető „üzeneteket”

közvetítenek. Ezért is sürgős lenne a megtett távolságon alapuló útdíjak alkalmazását és beszedését lehetővé tevő elektronikus útdíj-szedő rendszerek alkalmazása Romániában és Bulgáriában, illetve az útdíjak számítására és differenciálására alkalmazott módszerek összehangolása. Amíg ez nem történik meg, nincs és nem lesz mód az erre vonatkozó kulcsfontosságú teljesítménymutató számítására és az értékelésbe való bevonására.

5. Összefoglalás

Az Európai Bizottság megrendelésére készülő, az EU Transz-Európai Közlekedési Törzshálózatának Kelet/Kelet-Mediterrán (OEM) folyosóján az úthálózat és az ahhoz kapcsolódó szolgáltatások fejlesztésének megfigyelésével és értékelésével foglalkozó tanulmányhoz eddig elkészült munkarészek és rész-jelentések alapján megállapítható, hogy a megbízott konzorcium szakértői által kidolgozott ún. kulcsfontosságú teljesítménymutatók csak részben bizonyultak alkalmasnak a közúthálózattal kapcsolatosan kitűzött célok megközelítésének, illetve elérésének mérésére. Elsősorban a kínálati oldalhoz tartozó általános teljesítménymutatókat sikerült folyamatosan (évente) meghatározni, míg a keresleti oldalhoz tartozó, vagy egyedi jellegű (folyosó-specifikus) KPI-k meghatározása – elsősorban az adatok hiánya, illetve az adatszolgáltatás elmaradása miatt – nagy nehézségekbe ütközött, legtöbb esetben lehetetlenné vált. Amennyiben a megfelelő statisztikai adatok folyamatos összegyűjtésére és számítására és az európai szintű TENtec adatbázisba való feltöltésére sor kerül (amint ezt az Európai Bizottság szorgalmazza), a törzshálózati folyosók infrastruktúrájának és az ahhoz kapcsolódó szolgáltatások színvonalának a már meghatározott kulcsfontosságú teljesítménymutatókon alapuló folyamatos megfigyelése és értékelése is eredményesebbé, a nemzetgazdasági és a projekt-szintű tervezés megbízhatóbb és hasznosabb eszközévé válhat.

6. Hivatkozott irodalom

Az Európai Parlament és a Tanács 1315/2013/EU rendelete (2013. december 11.) a transzeurópai közlekedési hálózat fejlesztésére vonatkozó uniós iránymutatásokról és a 661/2010/EU határozat hatályon kívül helyezéséről. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:32013R1315

[2] The European Commission’s Information System to coordinate and support the Trans-European Transport Network (TEN-T) policy.
http://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/site/en/tentec.html

[3] Study on Orient / East-Med TEN-T Core Network Corridor, 2nd Phase, Second Progress Report. Brussels, June 2017. p.81.

[4] Az Európai Parlament és a Tanács 2010/40/EU irányelve (2010. július 7.) az intelligens közlekedési rendszereknek a közúti közlekedés területén történő kiépítésére, valamint a más közlekedési módokhoz való kapcsolódására vonatkozó keretről.
http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/ALL/?uri=CELEX:32010L0040

[5] Dr. András Timár: Interoperability problems of truck toll collection systems on the Orient / East-Mediterranean TEN-T Core Network Corridor. Proceedings of XV. European Transport Congress and X. International Road Congress, Budapest, 8-9. 06. 2017. pp. 149-159.

[6] Az Európai Parlament és a Tanács 1999/62/EK irányelve (1999. június 17.) a nehéz tehergépjárművekre egyes infrastruktúrák használatáért kivetett díjakról.
http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:31999L0062

[7] Az Európai Parlament és a Tanács 2006/38/EK irányelve (2006. május 17.) a nehéz tehergépjárművekre egyes infrastruktúrák használatáért kivetett díjakról szóló 1999/62/EK irányelv módosításáról.
http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:32006L0038&qid=1504760595408

Adatok

Megjelent itt
10. szám
2017. ősz

Szerző

Dr. habil. Timár András
Dr. Timár András, Ph.D, MTA doktora, okl. építőmérnök, professor emeritus (PTE-MIK) Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar Mérnöki és Smart Technológiák Intézet Építőmérnök Tanszék
Kutatási területei: Közlekedési létesítmények, elsősorban utak, autópályák gazdaságosságának vizsgálata és értékelése (megvalósíthatósági tanulmány, költség-haszon elemzés), a közlekedési infrastruktúra állapota és a gazdasági teljesítmény összefüggései, a kockázat elemzése beruházási döntések előkészítéséhez és a klímaváltozás várható hatásainak értékeléséhez, az utazási időmegtakarítások értékelése, a közlekedési beruházások finanszírozása, az út használók bevonása a közlekedési infrastruktúra költségeinek fedezésébe, az autópálya koncessziók és a köz-magánszféra társulásai (PPP).

Témakörök
Útépítés • Útgazdálkodás

Kulcsszavak
együttműködtetés • értékelés • kulcsfontosságú teljesítmény-mutatók • statisztikai adatbázis • úthálózat-fejlesztés

Befogadva
2017. december 3.

Hozzászólás

Hozzászólás	
* Név	
* E-mail cím	
Honlap	
	Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Szakolvasó

Témakörök

© Copyright Útügyi Lapok 2019 • *Minden jog fenntartva.*

Az Útügyi Lapok félévente elektronikus formában megjelenő, online szabadon elérhető kiadvány, erre tekintettel jelenleg nem előfizethető. Alkalmanként azonban papíralapon is megjelenik, amennyiben szeretne a papír alapú megjelenésről értesítést illetve

példányt kapni, kérjük érdeklődési szándékát az alábbi címen jelezze: utugyilapok@makadam.hu. *A lapban megjelent cikkek a szerzőik személyes véleményét fejezik ki és nem feltétlenül egyeznek meg a szerkesztők véleményével illetve ismereteivel.*

Útügyi lapok 11

Cikk

Kalandozások Szlovákiában (az aszfalt megfelelőségének igazolása a szlovák piacon)

Az európai jogharmonizáció részeként első pillanatban úgy tűnhet, hogy az itthon gyártott, de beépítésre Szlovákiába kerülő aszfaltot teljes mértékben hasonlóképpen kell gyártani és minősíteni, mint Magyarországon.
Amikor a magyar aszfaltgyártó a szlovák piacra szánt különböző aszfalttípusok gyártására szerződött, azonban kiderült, hogy Szlovákiában is, mint Magyarországon az EN 13108-1 európai szabvány mellett, a magyar útügyi műszaki előírásokhoz hasonló szlovák előírás szerinti műszaki és minőségi feltételeket kielégíteni. A cikk a szlovák és magyar előírások áttekintése során tapasztalt eltéréseket ismerteti.
A szlovákiai piacon való megjelenés nem bonyolult, de nem is egyszerű, s noha a

felmerült különbségek kicsik, de ezek ismerete nélkül nem beépíthető a termék Szlovákiában.

1. Bevezetés

A HE-DO Kft. a CESTY SK s.r.o. (UTAK SK. Kft.) megbízásából a szlovák piacra AC 11 O 50/70; II (AC 11 kopó 50/70) és AC 16 P 50/70; II (AC 16 alap 50/70) aszfalttípusokat gyártott salgótarjáni aszfaltkeverő telephelyén. Első pillanatban úgy tűnt, hogy a Szlovákiába gyártandó aszfaltot teljes mértékben hasonlóképpen kell gyártani és minősíteni, mint Magyarországon. Azonban kiderült, hogy Szlovákiában is, mint Magyarországon az EN 13108-1 (STN EN 13108-1) európai szabvány mellett, kiadtak egy műszaki és minőségi feltételt, szlovákul Technicko-kvalitatívne podmienky (TKP), ami a magyar útügyi műszaki előírások (ÚMÉ-k) szlovák megfelelője.

Először is nézzük meg, hogy miben tér el az AC 11 kopó 50/70 aszfaltkeverék a szlovák AC 11 O 50/70; II aszfaltkeveréktől.
A szlovák és magyar előírások áttekintése után a következőkben találtam eltéréseket:

– közúti terhelési osztályok
– aszfaltkeverék minőségi osztálya és elnevezése
– szemszerkezet
– ellenőrző szita méretek
– bitumen típusok
– adalékanyag (kőzet)
– vizsgálatok (alapanyag és aszfalt vizsgálatok)
– aszfalt típusvizsgálati minta
– tanúsító és tanúsítás

2. Közúti terhelési osztályok

A közúti terhelési osztályokat az STN 73 6114 szlovák szabvány I-VI terhelési osztályokba sorolja. Itt a jelölés a mi betű jelölésünkkel szemben római számokból áll és hat osztály napi nehézgépjármű forgalom alapján.

Forgalmi terhelés osztályozása	A terhelés jellemzője	Nehéz teherautók mindkét – irányú áthaladásának átlaga 24 óra alatt	Útkategóriák
I	nagyon nehéz	> 3500	autópályák, autóutak,

			gyorsforgalmi helyi útvonalak
II	nehéz	1501-3500	
III	félnehéz	501-1500	I. osztályú utak, II. osztályú utak, gyűjtő útvonalak
IV	közepes	101-500	
V	könnyű	15-100	III. osztályú utak, szerviz, helyi, célforgalmi és nem motorizált útvonalak, leálló és parkoló területek
VI	nagyon könnyű	< 15	

1. táblázat
Utak forgalmi terhelés szerinti osztályozása (STN 73 6114)

2.1. Aszfaltkeverék minőségi osztálya és elnevezése

Az I. minőségi osztályba tartozó aszfaltbeton keverékeket a I, II, III forgalmi terhelési osztályokban lehet építeni, a II. minőségi osztályba tartozó aszfaltbeton keverékeket a IV, V, VI forgalom terhelési osztályokban lehet építeni.
Aszfalt elnevezések:
– AC O – asfaltový betón pre obrusné vrstvy – kopóréteg
– AC L – asfaltový betón pre ložné vrstvy – kötőréteg
– AC P – asfaltový betón pre podkladové vrstvy – alapréteg
Így az aszfaltkeverék elnevezése a következőképpen alakul:
– AC 11 obrusna 50/70; II; 21/2014-SA (aszfalt neve, minőségi osztálya, típusvizsgálat száma)
– AC 11 obrusna PMB 45/80-75; I; 13/2014-SA
Ha nagyon precízek akarunk lenni, akkor a beépítendő aszfalt vastagságot is meg kell adni. pl: AC 11 O; PMB 45/80-75; I; 50 mm; STN EN 13108-1.

2.2. Szemszerkezet

J – finom szemcséjű	D = 8 mm
S – közepes szemcséjű	D = 11 mm
H – durva szemcséjű	D = 16 mm
VH – nagyon durva szemcséjű	D = 22 mm

2. táblázat

Aszfaltkeverék legnagyobb szemcsenagyságai

A táblázatból jól látszik, hogy AC 4 és AC 32 típusú aszfaltkeveréket nem gyártanak.

2.3. Ellenőrző szita méretek

D max	finom szita	D/2	Megjegyzés
8 mm	***1,0 mm***	4,0 mm	*0,125, vagy 0,25 mm
11 mm	***0,5 mm***	***4,0 mm***	*0,125 vagy 0,25 mm; **5,6 mm
16 mm	***0,50 mm***	8,0 mm	
22 mm	***0,50 mm***	11,2 mm	

3. táblázat

*Ellenőrzőszita méretek; *;** Magyarországon járatos szita méretek*

2.4. Bitumen típusok

Aszfaltkeverék	Aszfalt rétegek	Aszfalt minőségi osztálya	Ajánlott bitumen típusok
AC	kopóréteg	I	PMB 45/80-75, PMB 65/105-65, PMB 45/80-60
		II	50/70, 70/100, PMB 45/80-55
	kötőréteg	I	PMB 25/55-65, PMB 45/80-55, PMB 65/105-55, PMB 65/105-65
		II	30/45, 50/70, 70/100, PMB 45/80-55
	alapréteg	I	PMB 25/55-65, PMB 45/80-55,

			30/45, 35/50,
		II	35/50, 30/45, 50/70, PMB 45/80-55

4. táblázat
Kötőanyagok aszfaltkeverékekhez

Kopóréteg esetében a PMB 25/55-65 típusú kötőanyagot nem alkalmazzák! Kopóréteg esetében a PMB 45/80-55;-65;-75 típusok az elfogadottak, míg az érvényben lévő hazai előírás a 45/80-60-as bitument favorizálja. Magyarországon I. minőségi osztályba tartozó kopórétegbe a MOL zalai finomítója gyárt PMB 45/80-65-ös bitument, Százhalombatta a 60-ast gyártja. Várom az új bitumenre vonatkozó útügyi műszaki előírás megjelenését, hogy a MOL százhalombattai finomítójából is a szlovák piachoz szükséges bitument meg tudjuk vásárolni.

2.5. Adalékanyagok (kőzetek)

Tulajdonságok	Forgalom terhelési osztály I.-III.	Forgalom terhelési osztály IV.-VI.
Szemcseméret osztályozás	$G_c90/15$	$G_c90/15$
Eltérések a közép lyukméretű szitán	$G_{20/15}$	$G_{20/15}$
Finom szemcseméret tartalom	f_1	f_2
Egyenletesség tényező	FI_{20}	FI_{30}
Szemalak tényező	SI_{20}	SI_{30}
Aprózódással szembeni ellenállás tényező	LA_{25}	LA_{30}
Simítás ellenállás tényező	$PSV_{Deklarált}$ [1)]	PSV_{50}
Csiszolódás ellenállás tényező	$M_{DE}20$	$M_{DE}25$
Vízfelvétel	$WA_{24}1$	$WA_{24}2$
Fagy és olvadás ellenállás	F_2	F_4
Magnézium szulfáttal szembeni ellenállás	MS_{18}	MS_{25}

5. táblázat

Durva szemcsés zúzalékok előírt értékei [1]) PSV ≥ 52 érték teljesítését évente legalább egyszer ellenőrizni kell./caption>

Tulajdonságok	Forgalom terhelési osztály I.-III.	Forgalom terhelési osztály IV.-VI.
Szemcseméret osztály	G_F85	G_F85
Eltérések a közép lyukméretű szitán	$G_{TC}20$	$G_{TC}20$
Finom szemcsetartalom	f_{10}	f_{16}
Finom szemcsék minősége	$M_{BF}10$	$M_{BF}10$
Vízfelvétel	$WA_{24}2$	$WA_{24}2$

6. táblázat

Finom szemcsés zúzalékok előírt értékei

A szlovák előírásokban az I-III forgalom terhelési osztályban a PSV érték 52, míg Magyarországon 50. Így a hazai kőbányák által kiállított teljesítménynyilatkozattal nem lehet Szlovákiában zúzottkő terméket és aszfaltot forgalomba hozni I-III forgalom terhelési osztályban. Ezért a HE-DO Kft.-nek újra el kellett végeztetnie a polírozódási ellenállás vizsgálatot. Az általunk használt nagydaróci kő PSV értéke 59-re adódott. Több magyarországi szakemberrel beszélve kiderült, hogy a hazai köveink PSV érték vizsgálatai szlovák vizsgálólaboratóriumokban vizsgálva 5-10 PSV értékkel magasabbak, mint a hazai vizsgáló laborok vizsgálati eredményei. Úgy gondolom, hogy az eltérő vizsgálati eredmény az eltérő referencia kő alkalmazása miatt van.

2.6. Vizsgálatok (alapanyag és aszfalt vizsgálatok)

A vizsgálatok terén is van eltérés a hazai gyakorlathoz képest.

A kőzeteknél kiemelt fontosságú a bitumen tapadó képessége az aszfalt alapanyagokon, amit az EN 12697-11 Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei 11. rész: A bitumen tapadó képességének meghatározása ásványi anyagon vizsgálattal kell meghatározni. A zúzalék bevontságnak előírt értéke kopóréteg esetén 70%, kötő- és alapréteg esetében 60%. Amennyiben a bitumen tapadó képessége nem igazolt, akkor tapadásnövelő adalékszert kell alkalmazni a szlovák előírás alapján.

A Marsall-próbatest készítésekor az EN 12697-30 Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei 30. rész: Próbatest készítése döngölővel szabványt alkalmazzák ők is, azzal az eltéréssel, hogy aszfaltbeton próbatest tömörítését 2 x 75 ütéssel végzik az EN 13108-20 Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások 20. rész: Típusvizsgálat, C melléklet, C.1, C1.3 táblázat alapján, szemben a magyarországi 2 x 50 ütéssel szemben. SMA típus esetében pedig visszatérnek a 2 x 50 ütésre.

A szlovák kollégák a műszaki és minőségi feltételek kidolgozása során a keverék követelményekre az EN 13108-1 szabvány Tapasztalati követelményeket írták elő. Az aszfaltkeverék I. minőségi osztályában keréknyom képződési vizsgálatot írtak elő, aminek az eredménye mellett kötelezően megadandó a keréknyom-képződési görbe hajlásszöge is. A keréknyom képződési vizsgálat 50°C-on készül szemben a magyar előírás 60°C hőmérsékletével. Merevség és fáradás vizsgálatot így nem végeznek. Az aszfaltkeverék II. minőségi osztályában pedig a keverék bitumen telítettségét vizsgálják. A bitumen telítettség változását az AC 11 O II és AC 16 P II aszfaltok esetében ki is értékeltem. Az értékelő táblázatban a visszamért bitument (S%) és Marshall hézagot is feltüntettem, mert a bitumen telítettség szorosan összefügg az aszfalt bitumen és hézagtartalmával. Az AC 11 O II aszfalt esetében 53 db, az AC 16 P II aszfalt esetében 23 db mintát értékeltem ki.

AC 11 O 50/70 II	tervezett érték	mért érték	max.	min.	szórás	rel.szórás / variáció
S%	4,90	4,88				
Vm%	4,5	4,5				
tb%	74 (72-86)*	73	81	65	4	6%
AC 16 P 50/70 II	tervezett érték	mért érték	max.	min.	szórás	rel.szórás / variáció
S%	4,50	4,56				
Vm%	6	4,0				
tb%	66 (55-71)*	75	80	71	3	4,4%

7. táblázat
*AC O 11 50/70 II és AC 16 P 50/70 II bitumentelítettségei, *tb% határértékei*

Az AC 16 P II aszfalt esetében azért nagyobb a bitumen telítettség értéke, mert ritkán gyártjuk alap, vagy kötőrétegbe, felhasználása elsősorban alacsonyabb forgalmú utak kopó rétegeként történik. A két aszfaltkeverék bitumen telítettség eredményeiből számított variáció (szórás/átlag érték) kisebb, mint 8%, ami azt jelenti, hogy a keverék bitumen telítettségi értékei egyenletesek, a minőség kiváló.

2.7. Aszfalt típusvizsgálati minta

Szlovákiában a TP 032 számú műszaki feltétel pontos mintát tartalmaz az aszfaltkeverékek típusvizsgálatára. Megfontolandó lenne, hogy hazánkban is kidolgozásra kerüljön egy minta. Már volt rá példa, mert az 1989-ben kiadott MSZ-07-3210 szabvány is tartalmazott típus vizsgálati mintát, akkori nevén alkalmassági vizsgálatot.

2.8. Tanúsító és tanúsítás

A VUIS-CESTY spol. s r. o. szlovák tanúsító írásban igazolta, hogy a HE-DO Kft. EK-üzemi gyártásellenőrzési megfelelőségi tanúsítványa, amit a QM System Kft. állított ki, Szlovákiában is érvényes. Az EK-üzemi gyártásellenőrzési megfelelőségi tanúsítvány érvényessége elvileg nem volt kétséges, de egy szlovák tanúsító igazolása megkönnyítette a tanúsítvány elfogadását a szlovák megrendelők körében. Természetesen az EK-üzemi gyártásellenőrzési megfelelőségi tanúsítvány szlovák nyelvű.

3. Összefoglalás

A szlovákiai piacon való megjelenés nem bonyolult, de nem is egyszerű. A felmerült különbségek kicsik, de ezek ismerete nélkül nem beépíthető a termék Szlovákiában. A hazai aszfalt keverőtelepek a 305/2011-es EU rendelet alapján érvényes EK-üzemi gyártásellenőrzési megfelelőségi tanúsítvány birtokában gyárthatnak aszfaltot a szlovák piacra, de a szlovák útügyi műszaki előírásokban foglaltaknak meg kell felelni, például:

– közúti terhelési osztályoknak megfelelő aszfalt keveréket kell előállítani,
– az aszfalt szlovák megnevezését kell alkalmazni,
– alkalmazkodni kell a Szlovákiában alkalmazott legnagyobb szemcse átmérőkhöz (8-22 mm),
– az aszfalt keverék minőségellenőrzésénél alkalmazkodni kell a Szlovákiában előírt jellemző finom szita méretekhez,
– I. minőségi osztályban a kopórétegben alkalmazott bitumen típus nem lehet PMB 25/55-65-ös bitumen,
– az adalékanyagok PSV értéke útkategória függő,
– az alapanyag és aszfalt vizsgálatok módszerében van eltérés a hazai gyakorlathoz képest,
– az aszfalt típusvizsgálatot egységes minta alapján készítik,
– a hazai tanúsítók és tanúsításaik érvényesek Szlovákiában.

A kőzet vizsgálatokat félévente frissíteni kell. A bitumen tapadó képességének vizsgálata nem része a zúzalék teljesítmény értékelésének, ezért ezt a vizsgálatot az aszfalt gyártónak kell elvégeztetnie, vagy elvégeznie. A kőzetek PSV értéke a I-III

forgalom terhelési osztályban 52. Ismerve a hazai vizsgálati eredményeket, ezt az értéket a hazai vizsgáló laboratóriumokban nem érték el, a szlovák vizsgáló laboratóriumok 5-10 PSV értékkel mérnek jobb értéket. Minden esetre ki kellene vizsgálni, hogy mi okozza az eltérést. Az aszfalt adalékanyag polírozódási ellenállás vizsgálatát emiatt szlovák vizsgáló laboratóriumban vizsgáltatjuk. I. minőségi osztályba tartozó kopórétegbe a bitumen beszerzése csak Szlovákiából oldható meg, kopó rétegbe a PMB 25/55-65-ös bitumen nem alkalmazható.
Kimondottan előnyös, hogy a szlovák műszaki és minőségi feltételek az EN 13108-1 szabványból a Tapasztalati követelményeket írták elő, így az I. minőségi kategóriába tartozó „mF”-es keverékek esetében elegendő a keréknyom képződési vizsgálat elvégzése 50°C hőmérsékleten. A merevség és fáradás vizsgálat mellőzése kb. 600 000 Ft+ÁFA megtakarítást jelent a gyártóknak.
A II. minőségi kategóriában a bitumen telítettség követelményt kell kielégíteni, ezt a követelményt csak a típusvizsgálatban kell igazolni.

4. Mellékletek

1. Melléklet: Nagydaróci kőbánya PSV-érték vizsgálata
2. Melléklet: Típus vizsgálati minta
3. Melléklet: Teljesítménynyilatkozat
4. Melléklet: EK tanúsítvány

5. Felhasznált irodalom

– AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 305/2011/EU RENDELETE
– EN 13108-1 (STN EN 13108-1) Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások. 1. rész: Aszfaltbeton
– STN 73 6114 Triedenie vozoviek podľa veľkosti dopravného zaťaženia (Útpályaszerkezetek forgalmi terhelési osztályozása)
– KLAZ 1/2010 KATALÓGOVÉ LISTY ASFALTOVÝCH ZMESÍ (doplnok k platným TKP) (Aszfalt katalógus, kiegészítő az érvényes Műszaki Minőségi Feltételekhez)
– TKP časť 6 HUTNENÉ ASFALTOVÉ ZMESI (Műszaki Minőségi Feltételek 6. rész Tömörített aszfaltkeverékek)
– TP 032 TECHNICKÉ PODMIENKY RIADENIE KVALITY HUTNENÝCH ASFALTOVÝCH ZMESÍ (A tömörített aszfaltkeverékek minőség ellenőrzésének TP 032 műszaki feltételei)
– EN 12697-11 Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei 11. rész: A bitumen tapadó képességének meghatározása ásványi anyagon
– EN 12697-30 Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei 30. rész: Próbatest készítése
– EN 13108-20 Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások 20. rész: Típusvizsgálat, C melléklet, C.1, C1.3 táblázat

– MSZ-07-3210/1 Útépítési aszfaltalapok és – burkolatok. Fogalom meghatározások és tervezési előírások.

Adatok

Megjelent itt
10. szám
2017. ősz

Mellékletek

Mellékletek

Szerző

Skovrankó Ernő
Okleveles építőmérnök, tanulmányait 1991-ben fejezte be Budapesti Műszaki Egyetem Közlekedésépítő karán. A HE-DO Kft. munkatársa, foglakozása laboratóriumvezető főmérnök, beton- és aszfalttechnológus, üzemi gyártásellenőrzési megbízott.

Témakörök
Kötőanyagok • Útépítés

Kulcsszavak
aszfaltkeverék és alapanyagai • szlovák útügyi előírás • típusvizsgálat • útügyi műszaki előírás

Befogadva
2017. december 3.

Abstract

In light of the European legislative harmonization, it would be reasonable to assume that asphalt mixes produced in Hungary but being laid in Slovakia need to be produced and certified the same way as in Hungary. However, after the Hungarian asphalt manufacturer contracted for the production of asphalt mixes to be laid in Slovakia, it became clear that similarly to Hungary, there are also additional national standards in Slovakia as well, besides the EN 13108-1 norm, that also need to be fulfilled. The paper presents the experience regarding the overview of the national standards of the two countries. It is not difficult, but also not that easy to produce for the Slovakian market, and although there are only minor differences, the knowledge of these details is essential in order to produce a buildable product.

Hozzászólás

Hozzászólás

* Név

* E-mail cím

Honlap

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Szakolvasó

Témakörök

© Copyright Útügyi Lapok 2019 • *Minden jog fenntartva.*

Az Útügyi Lapok félévente elektronikus formában megjelenő, online szabadon elérhető kiadvány, erre tekintettel jelenleg nem előfizethető. Alkalmanként azonban papíralapon is megjelenik, amennyiben szeretne a papír alapú megjelenésről értesítést illetve példányt kapni, kérjük érdeklődési szándékát az alábbi címen jelezze: utugyilapok@makadam.hu. *A lapban megjelent cikkek a szerzőik személyes véleményét fejezik ki és nem feltétlenül egyeznek meg a szerkesztők véleményével illetve ismereteivel.*

TECHNICKÝ A SKÚŠOBNÝ ÚSTAV STAVEBNÝ, n. o.
Skúšobné laboratórium
Studená 3, 821 04 Bratislava

Reg. No. 004/S-045

Skúšobné pracovisko Trenčianska cesta 1875/12, 915 05 Nové Mesto nad Váhom, tel.:+421 32 7712416, fax:+ 421 32 7716551, e-mail:lab.nm@tsus.sk

PROTOKOL O SKÚŠKE č. 30-16-0442

ZÁKAZKA

Číslo: 40160505

Zákazník: EURO BASALT a. s.
Veľké Dravce 270
985 42 Veľké Dravce

PREDMET SKÚŠKY

Výrobok: prírodné kamenivo 8/16
Výrobca: identický so zákazníkom
Výrobňa: kameňolom Veľké Dravce
Výrobkové normy: STN EN 12620+A1: 2008 - Kamenivo do betónu
STN EN 13043: 2004 - Kamenivo do bitúmenových zmesí a na nátery ciest, letísk a iných dopravných plôch. Oprava: AC - 11/04

VZORKA VÝROBKU

Opis vzorky: prírodné kamenivo 8/16
Označenie podľa zákazníka: prírodné kamenivo 8/16
Dátum výroby: neudaný
Miesto a dátum odberu: zo skládky, dňa 02.12.2016
Odber vykonal: zákazník
Miesto a dátum prevzatia: skúšobné pracovisko Nové Mesto nad Váhom dňa 05.12.2016
Označenie podľa laboratória: vzorka č. 16429

SKÚŠKY

Odolnosť proti vyhladzovaniu - akreditovaná skúška

Skúšobný postup: STN EN 1097-8: 2010 Skúšky na stanovenie mechanických a fyzikálnych vlastností kameniva. Časť 8: Stanovenie súčiniteľa urýchleného vyhladzovania kameniva
Opis skúšobných telies: prírodné kamenivo fr. 8/16
Skúšobné telesá pripravil: Zuzana Chochlíková
Podmienky pri skúške: 21 °C
Odchýlky: žiadne
Dátum skúšky: 16.12 - 21.12.2016
Skúšal: Zuzana Chochlíková

Použité meradlá a zariadenia:

Evid.číslo	Názov	Rozsah	Jednotka	Delenie
M300183	Skúšobné sito harfové 7,2	7,2	mm	
M300215	Skúšobné sito 10	10	mm	
M300402	Analytické váhy	10÷16000	g	0,1
M301011	Sterilizátor -Venticell 404 Blue Line štandard	40÷190	°C	1
Z300010	Prístroj na vyhladzovanie			
M300711	Kyvadlový prístroj	0÷150	dielik	5,0

VÝSLEDKY:

Tabuľka 1 – Odolnosť proti vyhladzovaniu

poradové číslo vzorky	priemer hodnoty odčítania na skúšanom teliesku			priemerná hodnota *(S)* skušobného telieska		priemer *(S)*	*PSV* *PSV = S + (52,5) - C*
16429	62	61	61	61,3	62,0	62,2	59
16429	63	63	62	62,7			
16429	62	61	63	62,0	62,3		
16429	63	62	63	62,7			
poradové číslo vzorky	priemer hodnoty odčítania na porovnávacom teliesku			priemerná hodnota *(C)* porovnávacieho telieska		priemer *(C)*	
P	55	56	56	55,7	55,5	55,3	
P	56	55	55	55,3			
P	56	55	55	55,3	55,2		
P	55	55	55	55,0			

Dátum vypracovania: 21.12.2016

Vypracoval: Milena Gabovičová

Schválil: .....
Ing. Jarmila Nováčiková, PhD.
vedúca SP

Poznámky:

- Ak odber vzorky výrobku nevykonal pracovník skúšobného laboratória, údaje o výrobcovi, výrobni a odbere vzorky sú uvedené podľa informácií poskytnutých zákazníkom.
- Skúšky sa vykonali podľa pracovného postupu č. PP-001 skúšobného laboratória v súlade s uvedenými skúšobnými postupmi.
- Zistené výsledky sa vzťahujú len na vzorku výrobku.
- Protokol o skúške sa bez písomného súhlasu skúšobného laboratória môže reprodukovať len ako celok.

---------- **Koniec protokolu o skúške** ----------

HE-DO®
AZ ÚT, AMI ÖSSZEKÖT...

NAH-1-1413/2017

HE-DO Kft. Közúti Minőségvizsgáló Laboratórium
3261 Abasár, Kossuth u. hrsz.:339/5

Skúška typu asfaltovej zmesi AC
č.:27/2015-SA

vypracovaná v zmysle
STN EN 13108-20 Asfaltové zmesi. Požiadavky na materiál. Časť 20: Počiatočná skúška typu

Výrobca: HE-DO Kft. 1133 Budapest, Váci út 76.

Výrobňa: Salgótarján, 3100 Salgótarján, Park u. 2.

Označenie v zmysle normy:

AC 16 Podkladová 50/70

Technické špecifikácie:

EN 13108-1:2006/ AC:2008

Asfaltové zmesi. Požiadavky na materiál. Časť 1: Asfaltový betón

STN 73 6114 Vozovky pozemných komunikácií. Základné ustanovenia pre navrhovanie
STN 73 6121 Stavba vozoviek. Hutnené asfaltové vrstvy

Vypracovanie skúšky typu

Vypracoval	HE-DO Kft. Közúti Minőségvizsgáló Laboratórium,3261 Abasár, Kossuth u. hrsz.:339/5
Evid. číslo ST lab.	27/2015-SA
Dátum:	2017.05.22
Podpis zástupcu laboratória a pečiatka	Skovrankó Ernő vedúci laboratória

Schválenie skúšky typu výrobcom

Evid. číslo ST u výrobcu	27/2015-SA
Obchodný názov výrobku u výrobcu	**AC 16 Podkladová 50/70 ; II ; 27/2015-SA**
Dátum	2017.05.22
Podpis zástupcu výrobcu a pečiatka	Skovrankó Ernő vedúci skupiny Stred

Táto ST obsahuje celkom 4 strán a 14 príloh. Rozmnožovať a používať ju možno len s výhradným súhlasom jej vlastníka.

27/2015-SA

1. Všeobecne

Výrobca: HE-DO Kft. 1133 Budapest, Váci út 76.

Výrobňa: Salgótarján, 3100 Salgótarján, Park u. 2.

Označenie výrobku podľa normy: AC 16 Podkladová 50/70

Kvalitatívna trieda podľa KLAZ : II

Systém preukazovania zhody: 2+, označenie výrobku značkou zhody CE

Zhoda technických špecifikácií sa preukazuje s normou:

EN 13108-1:2006/AC:2008 Asfaltové zmesi –Požiadavky na materiály. Časť 1: Asfaltový betón

Vhodnosť použitia výrobku do stavby: podkladová vrstva asfaltovej vozovky pre IV.-VI. tr. dopravného zaťaženia podľa STN 73 6114

Nevhodnosť použitia: výrobok sa nesmie použiť v uzatvorených priestoroch, na mostoch a letiskách.

2. Stavebné materiály

Na návrh zloženia asfaltovej zmesi boli použité stavebné materiály uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1

Druh	Obchodný názov	Výrobca	Výrobňa	Vyhlás. zhody príloha č.
Kamenivo	NZ 0/4	Euro Basalt A.S.	Nagydaróc	2095 CPR 194
	KZ 4/8	Euro Basalt A.S.	Nagydaróc	2095 CPR 194
	KZ 8/11	Euro Basalt A.S.	Nagydaróc	2095 CPR 194
	KZ 11/16	Euro Basalt A.S.	Nagydaróc	2095 CPR 194
Kamenná múčka	ML	OMYA	Felnémet	2015/1
Asfalt	50/70	MOL	Százhalombatta	2071-CPR-0015
Prísady			-	
R-materiál			-	

3. Overenie vstupných materiálov

Vlastnosti vstupných materiálov overované pri spracovaní PST sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2

Druh	Vlastnosti	Skúšobná norma	Protokoly o skúške	Príloha č.
Štrkodrvina 0/4	Objemová hmotnosť zŕn a nasiakavosť	STN EN 1097-6	SA/22	1
	Zrnitosť	STN EN 933-1	SA/22	1
	Tvarový index hrubého kameniva	STN EN 933-4	-	1
Hrubé kamenivo 4/8	Objemová hmotnosť zŕn a nasiakavosť	STN EN 1097-6	SA/20	1
	Zrnitosť	STN EN 933-1	SA/20	1
	Tvarový index hrubého kameniva	STN EN 933-4	SA/20	1
Hrubé kamenivo 8/11	Objemová hmotnosť zŕn a nasiakavosť	STN EN 1097-6	SA/21	1
	Zrnitosť	STN EN 933-1	SA/21	1
	Tvarový index hrubého kameniva	STN EN 933-4	SA/21	1
Hrubé kamenivo 11/16	Objemová hmotnosť zŕn a nasiakavosť	STN EN 1097-6	SA/18	1
	Zrnitosť	STN EN 933-1	SA/18	1
	Tvarový index hrubého kameniva	STN EN 933-4	SA/18	1
Kamenná múčka	Objemová hmotnosť, pyknometrická metóda	STN EN 1097-7	SA/23	1
	Zrnitosť	STN EN 933-10	-	-
Asfalt	Penetrácia ihlou	STN EN 1426	SA/19	1
	Bod mäknutia	STN EN 1427	SA/19	1
Asfalt a kamenivo	Priľnavosť asfaltu ku kamenivu, metóda otáčania fľašky	STNEN 12697-11, časť A	47/14/42	1
R-materiál	-	STN EN 13108-8	-	-

27/2015-SA

3.1 Vyhodnotenie overovaných vlastností vstupných materiálov

Všetky materiály použité v asfaltovej zmesi spĺňajú požiadavky platných KLK, KLA a sú v súlade s požiadavkami na asfaltovú zmes pre dané použitie. Deklarované podstatné vlastnosti, parametre a ich odchýlky uvedené vo vyhláseniach o parametroch výrobcov jednotlivých zložiek asfaltovej zmesi vyhovujú pre výrobu asfaltovej zmesi.
Pri výrobe zmesi treba/netreba použiť prísadu na zvýšenie priľnavosti spojiva ku kamenivu. (Závisí od stupňa obalenia kameniva (70 % obrusná vrstva, 60 % ložná a podkladová vrstva)

4. Návrh zmesi – vstupné zloženie zmesi

Čiara zrnitosti asfaltovej zmesi AC 16 Podkladová 50/70 bola vypracovaná v zmysle STN EN 13108-1, s takýmto percentuálnym zastúpením jednotlivých komponentov:

Kamenná múčka	ML	4,8	% hmot.
			% hmot.
			% hmot.
Štrkodrvina 0/4	NZ 0/4	41,0	% hmot.
Hrubé kamenivo 4/8	KZ 4/8	7,6	% hmot.
Hrubé kamenivo 8/11	KZ 8/11	9,5	% hmot.
			% hmot.
Hrubé kamenivo 11/16	KZ 11/16	32,4	% hmot.
Asfalt	50/70	4,6	% hmot.
(označenie prísady)	-		% hmot.
Spolu		**100,0**	**%**

5. Metódy a postupy na overenie vlastností asfaltovej zmesi

Pri výrobe vzoriek sa použili metódy a postupy uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3

Metódy a postupy na výrobu skúšobných vzoriek asfaltovej zmesi

Teplota pri miešaní	170	°C, stanovená podľa STN EN 12697-35+A1, tab. 1
Zhutnenie	STN EN 12697-30+A1, STN EN 13108-20, príloha C, tab. C.1, C1.3, rázový zhutňovač, 2x 75 úderov	
Teplota pri zhutňovaní	150	°C, stanovená podľa STN EN 12697-35+A1, tab. 1

Pri laboratórnom overení vlastností asfaltovej zmesi sa použili metódy a postupy uvedené v tabuľke 4.

Tabuľka 4

Metódy a postupy na overenie vlastností asfaltovej zmesi		
1	Čiara zrnitosti	STN 933-1, STN EN 12697-2+A1[1)]
2	Obsah spojiva	STN EN 12697-1[1)]
3	Objemová hmotnosť	STN EN 12697-6+A1, postup B, nasýtený povrch, suchá
4	Maximálna objemová hmotnosť	STN EN 12697-5+A1, postup A, vo vode
5	Medzerovitosť	STN EN 12697-8
6	Maximálna pomerná hlbka vyjazdenej koľaje, $PRD_{AI}R$ po 10^4 cykloch	STN EN 12697-22+A1 Zariadenie malých rozmerov, vyjazďovanie na vzduchu, STN EN 13108-20, Tab. D.1, odkaz D.1.5.
7	Maximálny sklon vyjazdenej koľaje, WTS_{AIR}	STN EN 12697-22+A1 Zariadenie malých rozmerov, vyjazďovanie na vzduchu, STN EN 13108-20, Tab. D.1, odkaz D.1.5.
8	Minimálny pomer pevnosti v priečnom ťahu ITSR	STN EN 12697-12
[1)] Platí pri overovaní vo výrobe		

6. Dosiahnuté výsledky Dokončené zloženie

Namerané hodnoty overovaných vlastností asfaltovej zmesi sú uvedené v tabuľke 5.

Tabuľka 5

Vlastnosť			Jednotka	Stanovené	Požiadavka		č. protokolu/ č.prílohy
1	Zrnitosť	Veľkosť sita (mm)			STN EN 13108-1	KLAZ 2015	
		22,4	%	100	100	100	46
		16	%	100	90-100	90-100	46
		8	%	58	-	55-72	46
		2	%	33	10-50	20-45	46
		0,5	%	17	-	7-26	46
		0,063	%	8,1	0-12	3-11	46
2	Obsah asfaltu, B_{min}		%	4,6	-	4,2	46
3	Objemová hmotnosť zhutnenej zmesi, ρ_{bssd}		kg/m^3	2 472	-	-	46
4	Maximálna objemová hmotnosť, ρ_{mv}		kg/m^3	2 630	-	-	46
5	Medzerovitosť, V_m		%	6,0	-	4-7	46
	Percento medzier v kamenive vyplnených VFB		%	66	-	55-71	46
6	Maximálna pomerná hĺbka vyjazdenej koľaje po 10^4 cykloch, PRD_{AIR}		%	-	-	-	-
7	Maximálny sklon vyjazdenej koľaje, WTS_{AIR}		$mm/10^3$	-	-	-	-
8	Minimálny pomer pevnosti v priečnom ťahu ITSR		%	90	-	60	51
x) (platia hodnoty uvedené v TKP 6)							

7. Zatriedenie do kategórií

Zatriedenie dosiahnutých parametrov sledovaných vlastností asfaltovej zmesi do kategórií je uvedené v tabuľke 6.

Tabuľka 6

Vlastnosť		Hodnota alebo kategória	Protokol o skúške č.
Zrnitosť	Veľkosť sita (mm)		
	16	100%	27/2015-SA
	8	58%	27/2015-SA
	2	33%	27/2015-SA
	0,5	17%	27/2015-SA
	0,063	8,1%	27/2015-SA
Obsah asfaltu	B	4,6%	27/2015-SA
Medzerovitosť	Maximálna	$V_{max\ 7,0}$	27/2015-SA
	Minimálna	$V_{min\ 4,0}$	27/2015-SA
Percento medzier v kamenive vyplnených		$VFB_{min\text{-}max\ 55\text{-}71}$	27/2015-SA
Maximálna pomerná hĺbka vyjazdenej koľaje		PRD_{AIR} -	27/2015-SA
Maximálny sklon vyjazdenej koľaje		WTS_{AIR} -	27/2015-SA
Minimálny obsah asfaltu pre návrh zmesi		B_{min} 4,2	27/2015-SA
Minimálny pomer pevnosti v priečnom ťahu ITSR		ITSR 60	27/2015-SA

8. Lehota platnosti

Táto počiatočná skúška typu platí iba pre receptúru asfaltovej zmesi uvedenú v bode 3 a zostáva v platnosti na daný účel použitia, pokiaľ nedôjde k zmene vstupných materiálov v zmysle článkov 4.2.2 a 4.2.3 týchto TP a STN EN 13108-20. V zmysle článku 4.1 týchto TP a STN EN 13108-20 treba vykonať validáciu (overenie) tejto ST v intervale nie dlhšom ako päť rokov.

9. Prílohy 1

HE-DO®
AZ ÚT, AMI ÖSSZEKÖT...

CE

VYHLÁSENIE O PARAMETROCH č. 27/2015-SA

1. Obchodný názov výrobku

AC 16 Podkladová vrstva 50/70 ; II ; 27/2015-SA

2. Asfaltový betón sa používa na stavbu ložnej vrstvy krytu asfaltových vozoviek, I. až III. triedy dopravného zaťaženia podľa STN 73 6114 ak je zabudovaný v súlade s STN 73 6121. Výrobok sa nesmie používať v uzatvorených priestoroch, v budovách, na mostných vozovkách a na letiskách.

3. Výrobca:

HE-DO Útépítő, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.
1133 Budapest, Váci út 76.

Výrobňa:

Salgótarjáni Keverőtelep, 3100 Salgótarján Park u.2.

4. Výrobca nemá zástupcu na trhu

5. Systém posudzovania a overovania nemennosti parametrov stavebného výrobku: **Systém 2+**

6.a) Na výrobok sa vzťahuje harmonizovaná norma: **STN EN 13108-1:2006/AC:2008 Asfaltové zmesi. Požiadavky na materiály. Časť 1: Asfaltový betón**

6. b) Certifikát zhody systému riadenia výroby č. 2006-CPR-0084 vydala notifikovaná osoba NB 2006QM System Kft. 1034 Budapest, Bécsi út 126-128 Mad'arsko

7. Deklarované parametre v zmysle normy EN 13108-1:2006/AC2008 a EN 13108-21:2006/AC:2008
Skúška typu číslo 27/2015-SA /val:2013 v spracovaná podľa EN 13108-20:2006/AC:2008

Podstatná vlastnosť		Veľkosť sita (mm)	Prepad (%)	Harmonizovaná špecifikácia	Skúšobná norma	Protokol o skúške
Zrnitosť	Horné sito D	16	100	EN 13108-1:2006 /AC:2008	EN 12697-2+A1 EN 933-1	
	D/2 alebo char. hrubé sito	8	58			
	2 mm	2	33			
	Charakteristické drobné sito	0,50	17			
	63 mikrónov	0,063	8,1			
Obsah asfaltu		B	4,6		EN 12697-1	
Obsah spojiva pre návrh zmesi		B_{min}	4,2		EN 13108-1:2006 /AC:2008	-
Podstatná vlastnosť			**Trieda/hodnota**		**Skúšobná norma**	**Protokol o skúške**
Medzerovitosť	Max.		$V_{max\ 7,0}$ (7%)		EN 12697-8	
	Min.		$V_{min\ 4,0}$ (4%)			
Percento medzier v kamenive vyplnených asfaltom	Max.		$VFB_{max\ 71}$ (71%)		EN 12697-8	
	Min.		$VFB_{min\ 55}$ (55%)			
Percento medzier v zmesi kamenive	Min.		$VMA_{min\ NR}$		EN 12697-8	-
Najvyššia teplota zmesi vo výrobni	Max.		180°C		EN 13108-1:2006 /AC:2008	-
Najnižšia teplota dodávanej zmesi	Min.		140°C			
Pomer pevnosti v priečnom ťahu ITSR			$ITSR_{60}$ (60%)		EN 12697-12	
Stanovenie pomernej maximálnej hĺbky vyjazdenej koľaje PRDAIR			PRD -		EN 12697-22 +A1	
Stanovenie maximálneho sklonu vyjazdenej koľaje WTSAIR			WTS_{AIR} -		EN 12697-22 +A1	
Tuhosť	Max.		$S_{max\ NR}$		EN 12697-26 metóda B	-
	Min.		$S_{min\ NR}$			
Odolnosť proti únave			$e_{6\text{-}NR}$		EN 12697-24 metóda D	-
Odolnosť proti obrusovaniu pneumatikami s hrotmi			Abr_{NR}		EN 12697-16	-

Názvy a adresa laboratórií, ktoré vykonali skúšky výrobku:

1) HE-DO Közúti Minőségvizsgáló Laboratórium, 3261 Abasár, Kossuth L. út 339/5 hrsz.

2)

Uvedené parametre výrobku sú v zhode so súborom deklarovaných parametrov. Toto vyhlásenie o parametroch sa v súlade s nariadením (EÚ) č 305/2011 vydáva na výhradnú zodpovednosť uvedeného výrobcu

Podpísal (-a) v mene výrobcu; Meno a funkcia: Skovrankó Ernő Konať Riadenie výroby

Skovrankó Ernő

Mad'arsko,Salgótarján dňa

Podpis

NB 2006 számon regisztrált
Bejelentett Szervezet

QM System Ellenőrző és Tanúsító Korlátolt Felelősségű Társaság
1034 Budapest, Bécsi út 126-128.
Kiscelli Irodaház
Telefon: +36-1-438-0960;
Fax: +36-1-203-3769;
qmsystem@qmsystem.hu

Certifikát zhody systému riadenia výroby

2006-CPR-0084/1/SK

V súlade s nariadením Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 305/2011 z 9. marca 2011, ktorým sa ustanovujú harmonizované podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh, sa tento certifikát vzťahuje na stavebné výrobky

Druh výrobku	Norma - technická špecifikácia	Použitie
Asfaltový betón	MSZ EN 13108-1:2006	používané na stavbu vrstiev vozoviek cestných komunikácií, dopravných a iných plôch
Asfaltový koberec mastixový	MSZ EN 13108-5:2006	
Asfaltový koberec drenážny	MSZ EN 13108-7:2006	

Výrobca
HE-DO Kft.
(1133 Budapest Váci út 76.)
vo výrobni
HE-DO Kft. Salgótarján asfaltový závod
(HU 3100 Salgótarján, Park út 2.)

disponuje skúškami typu a vnútropodnikovou kontrolou pre systém 2+ a tým má zabezpečenú zhodu výrobkov s požiadavkami skúšok typu. QM System Kft. vykonalo úvodnú kontrolu výroby a systému riadenia výroby a zabezpečuje aj priebežnú kontrolu a vyhodnotenie tohto systému.

Týmto certifikátom sa potvrdzuje, že všetky ustanovenia týkajúce sa posudzovania a overovania parametrov uvedených v normách **MSZ EN 13108-1:2006, MSZ EN 13108-5:2006, MSZ EN 13108-7:2006** systém riadenia výroby spĺňa.

Tento certifikát bol prvýkrát vydaný dňa 30.04.2014 a ostáva v platnosti, pokiaľ sa nezmenia metódy skúšania a/alebo požiadavky systému riadenia výroby obsiahnuté v harmonizovanej norme použité na posudzovanie parametrov deklarovaných vlastností, významne sa nezmení výrobok a podmienky výroby vo výrobni. Tento certifikát oprávňuje výrobcu na výrobky uvedené v prílohe tohto certifikátu označovať značkou CE usmiestnené v súlade s príslušnými predpismi.

Certifikát je platný len s prílohou č.1

QM System Ellenőrző és Tanúsító Korlátolt Felelősségű Társaság 1 Budapest

Budapest, 04 máj 2017

Körmendy Dezső konateľ
QM System Kft.

NB 2006 számon regisztrált
Bejelentett Szervezet

QM System Ellenőrző és Tanúsító Korlátolt Felelősségű Társaság
1034 Budapest, Bécsi út 126-128.
Kiscelli Irodaház
Telefon: +36-1-438-0960;
Fax: +36-1-203-3769;
qmsystem@qmsystem.hu

Príloha č.1. certifikátu č. 2006-CPR-0084/1/SK zhody systému riadenia výroby, skúšky typu vykonalo akreditované laboratórium HE-DO Kft. Közúti Minőségvizsgáló Laboratórium (3261 Abasár, 339/5 hrsz.).

Označenie (obchodný názov výrobku) MSZ EN 13108	Označenie (obchodný názov výrobku) STN EN 13108	Norma - technická špecifikácia	Skúška typu	Použitie
AC 11 kopó 50/70	AC 11 O 50/70; II	MSZ EN 13108-1:2006	1/2014-SA	Asfaltová zmes pre vozovky
AC 22 kötő 50/70	AC 22 L 50/70; II	MSZ EN 13108-1:2006	2/2014-SA	
AC 22 kötő 50/70	AC 22 L 50/70; II	MSZ EN 13108-1:2006	2/2015-SA	
AC 8 kopó 50/70	AC 8 O 50/70; II	MSZ EN 13108-1:2006	4/2014-SA	
AC 22 alap 50/70	AC 22 P 50/70; II	MSZ EN 13108-1:2006	6/2015-SA	
AC 11 kopó (mF) 45/80-65	AC 11 O PMB 45/80-65; I	MSZ EN 13108-1:2006	13/2014-SA	
AC 22 kötő (mF) 25/55-65	AC 22 L PMB 25/55-65; I	MSZ EN 13108-1:2006	15/2014-SA	
AC 16 alap 50/70	AC 16 L 50/70; II AC 16 P 50/70; II	MSZ EN 13108-1:2006	7/2014-SA	
AC 11 kopó 50/70	AC 11 O 50/70; II	MSZ EN 13108-1:2006	21/2015-SA	
AC 22 kötő 50/70	AC 22 L 50/70; II	MSZ EN 13108-1:2006	22/2015-SA	
AC 22 kötő (mF) 25/55-65	AC 22 L PMB 25/55-65; I	MSZ EN 13108-1:2006	25/2014-SA	
AC 16 alap 50/70	AC 16 L 50/70; II AC 16 P 50/70; II	MSZ EN 13108-1:2006	27/2015-SA	
AC 22 kötő (mF) 25/55-65	AC 22 L PMB 25/55-65; I	MSZ EN 13108-1:2006	35/2015-SA	
PA 11 kopó 50/70	PA 11 O 50/70	MSZ EN 13108-7:2006	31/2015-SA	
AC 16 kopó (mF) 45/80-65	AC 16 O PMB 45/80-65; I	MSZ EN 13108-1:2006	32/2016-SA	
AC 22 kötő (mNM) 25/55-65	AC 22 L PMB 25/55-65; I	MSZ EN 13108-1:2006	36/2017-SA	

Budapest, 04 máj 2017

Táto príloha je neoddeliteľnou súčasťou certifikátu zhody systé mu riadenia výroby č. 2006-CPR-0084/1/SK

Körmendy Dezső
Konateľ
QM System Kft

Folyóirat

Bejegyzések

Szakolvasó

Impresszum

Útügyi lapok

11

Cikk

Villamosított utak életciklus elemzése

A már hagyományosnak mondható e-közlekedésnek – mely az elektromos autók használatán alapul – számos hátránya figyelhető meg. Ennek kiküszöbölésére előtérbe kerültek olyan meg-oldások, melyek dinamikus töltési lehetőséget biztosítanak a járművek számára.
A tanulmány életciklus elemzés vizsgálat során hasonlítja össze a három legjelentősebb rend-szert a klímaváltozást befolyásoló hatások tekintetében. Ezek az indukció elvén alapuló IPT, a vezető pálya és a pantográf megoldások.

1. Bevezetés

Napjainkban sok szó esik a fenntarthatóságról, fenntartható fejlődésről. Építőmérnöki szempontból igen fontos, hogy egy beruházás megfeleljen az elvárt normáknak, és a

lehető legkisebb negatív hatást gyakorolja környezetünkre. Minthogy az úthálózat elemei hozzá tartoznak az emberek mindennapi életéhez – legyen szó munkába, iskolába járásról, bevásárlásról vagy egy másik városba történő utazásról – szükséges ezek környezeti optimalizálása.
A technológia fejlődése számos lehetőséget nyújt a környezeti hatások csökkentésére, mint például a hagyományos (HMA) aszfaltok használata helyett mérsékelten meleg aszfaltok (WMA) használatának előtérbe helyezése, vagy éppen az aszfaltburkolatok újrahasznosítása.

Az szintén köztudott, hogy a közúti közlekedés okozza az egyik legnagyobb mértékben az üvegházhatású gázok kibocsátását (European Environment Agency, 2016). Ennek csökkentésé-re előtérbe került az elektromos autók használata, melyek azonban, környezettudatosságuk mellett, számos hátránnyal rendelkeznek, mint a korlátozott vezetési távolság és akkumulátor-méret, valamint a töltési lehetőségektől és töltésidőtől való függés.

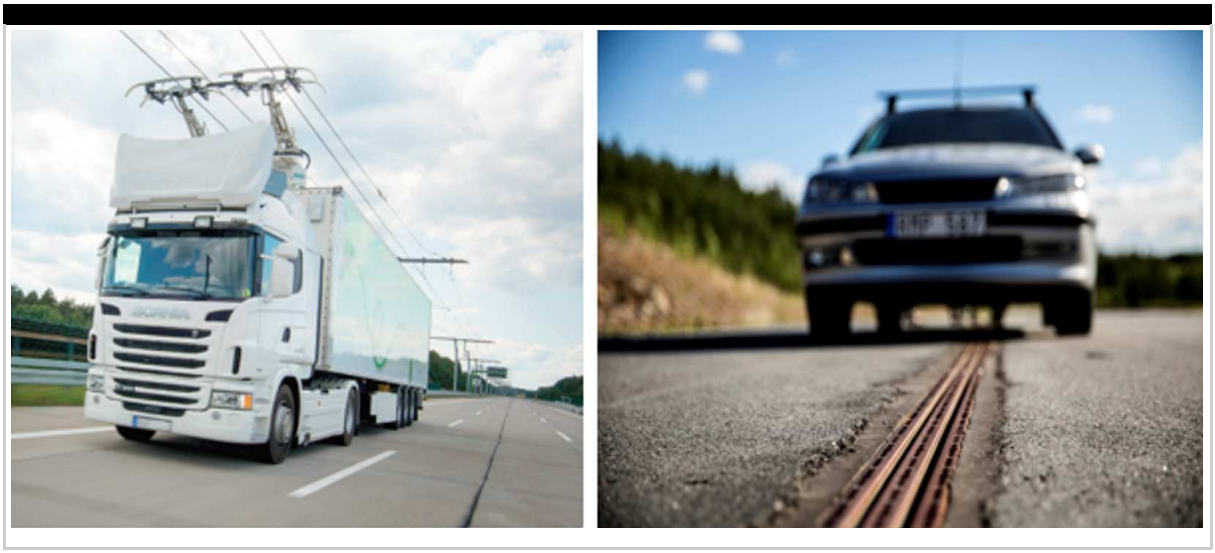
Azonban a fenntarthatóság nem csak a környezeti terhelések csökkentését jelenti. Intelligens Közlekedési Rendszerek (Intelligent Transport System, ITS) tekintetében az úthálózat úgy éri el a megfelelő fenntarthatóságot, hogy az általános utak funkciójához többlet tulajdonságokat adnak, mely azt biztonságosabbá, kényelmesebbé és/vagy energiahatékonyabbá teszi. Ez az extra tulajdonság, többek között, lehet a környezeti energia hasznosítása, az információk út-használóknak történő átadása, járművek közötti kölcsönhatás vagy villamosított töltési lehetőségek elektromos autók számára.

2. Villamosított utak

Az üzemanyag-használat csökkentése, így az utak villamosítása évtizedek óta nagy befolyással bír a közlekedési szektorra. Az első megoldás a felsővezetékhez olyan áramszedőkkel (pantográfokkal) kapcsolódó trolibuszok alkalmazása volt, amelyekből a mozgáshoz szükséges energiát kapja. Ennek alapján felmerült a kérdés, hogyan lehetne ezt vagy ehhez hasonló technológiát az egyéni közlekedésben vagy a teherszállításban hasznosítani, hogy a járművek kisebb kapacitású akkumulátorral is tetszőlegesen hosszú utakat tudjanak megtenni. Ennek érdekében, a kutatók próbálták a felső vezetést az útburkolat felületére, kollektorként áthelyezni. Bár ez a megoldás szintén fizikai érintkezéssel jár, elérhető személyautók számára is. A szabad mobilitás növekvő fontossága miatt azonban előtérbe került olyan megoldások kifejlesztése, melyek fizikai érintkezés nélküli töltési lehetőségeket biztosítottak. Ezek a dinamikus töltési lehetőséget biztosító utak az elektromos autókat fizikai érintkezés nélkül, a Faraday-féle elektromágneses indukció elve alapján töltik. A kutatók jelen álláspontja szerint, az elérhető mód-szerek közül ez a megoldás nyújtja a legalkalmasabb megoldást (Chen, et al., 2014.).

3. Vezető utak

A fizikai kapcsolatot igénylő töltési lehetőségeknek létezik statikus és dinamikus megoldása is. Az előbbire példa a jelenleg legelterjedtebb kábellel történő töltés. Dinamikus töltés megteremtéséhez a kapcsolat más módja szükséges. Ez történhet tehát áramszedő és vezető pálya által (1. ábra).

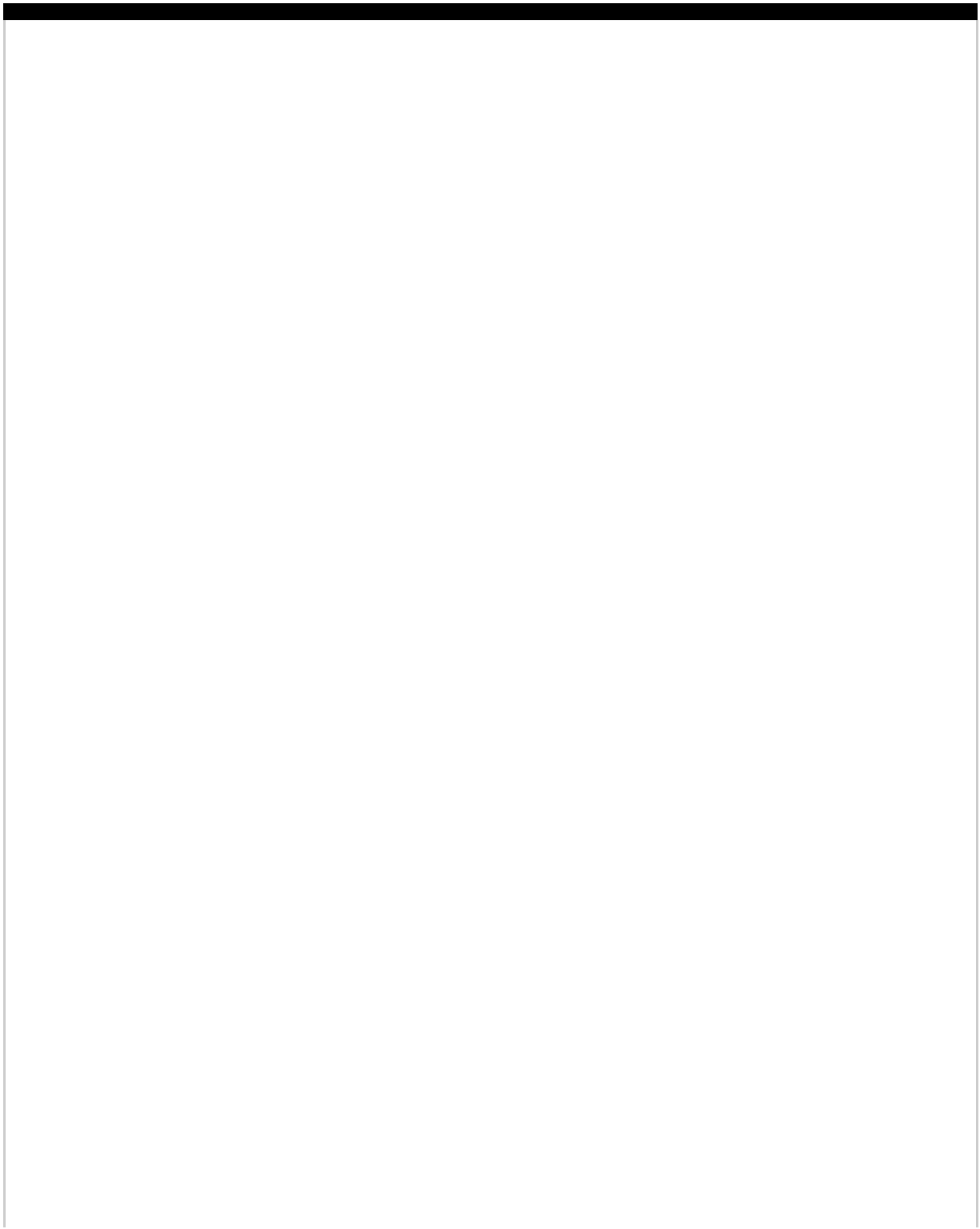


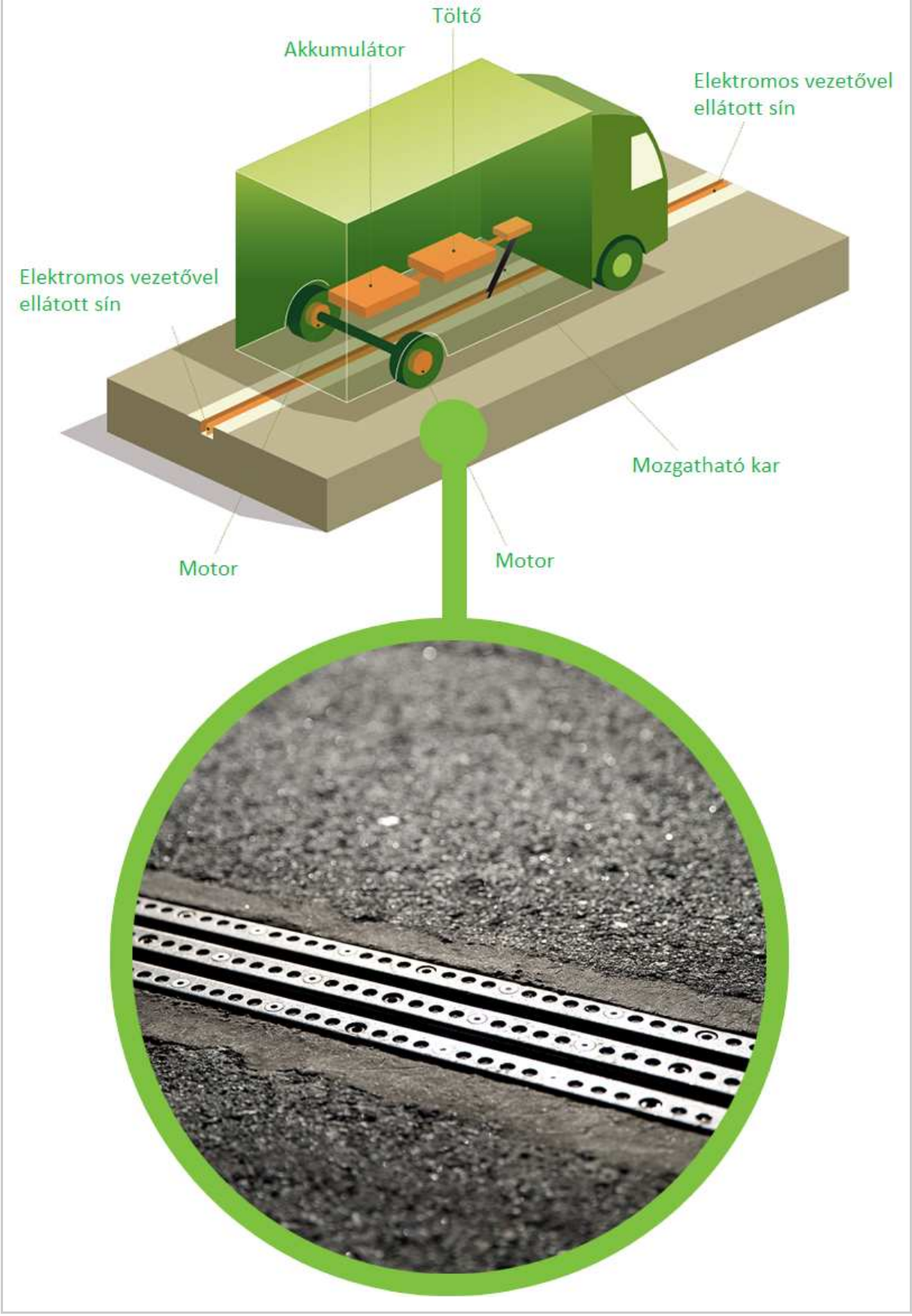
1. ábra
(a) eHighway töltési megoldás, áramszedővel (Siemens AG 2015) (b) eRroad Arlanda vezető pálya. (nordicroads.com 2016)

Áramszedő (pantográf) által megvalósított töltés ötvözi a vasúti technológia erőforrás-hatékonyságát a közúti közlekedés rugalmasságával. Működése a trolibuszokéval hasonló mó-don történik. A Siemens által megálmodott eHighway-t hibrid tehergépkocsik oly módon ve-hetik igénybe, hogy azok mozgatható, aktív áramszedő segítségével tudnak egyszerűen és gyorsan a felsővezetékhez kapcsolódni. Az energiát az elektromos motorba, közvetlenül a felsővezetékről, a pantográf szállítja. A modern áramszedővel a csatlakozás könnyen megtörtén-het, akár 90 km/h sebességet elérő mozgás esetén is. A speciálisan kialakított érzékelőknek köszönhetően, a teherautó oldalirányú mozgásának kompenzálására, az áramszedő automatikusan beállíthatja pozícióját (Siemens AG, 2015). A Siemens jelenleg is folyó vizsgálatának keretében Stockholm északi részén, két kilométeres eHighway próbaszakaszt épített ki. A technológia várhatóan 2018-ig a projekt gyakorlati megvalósíthatóságát bizonyítja.

A vezető pálya esetében, az elektromos energia a burkolatba süllyesztett, folytonos sínből származik, melyhez az elektromos járművek pickup rendszer segítségével kapcsolódnak. Ez, mozgatható kar segítségével, a villamos energiát összegyűjti, és az elektromos motorba közvetíti. Amíg a gépjármű a sín felett közlekedik, a mozgatható kar lefelé áll. Amikor a járműnek előznie kell egy másik járművet, a kar

automatikusan lecsatlakozik a sínről. A technológia egyaránt alkalmazható személyautók és olyan nehézgépjárművek esetén, mint autóbuszok és tehergépkocsik. Jelenleg is folyó svédországi Arlanda projekt vizsgálja a megoldási módszert; ennek keretében, az Arlanda repülőtér és egy logisztikai központ között, 2 km-es hosszúságú próbaszakaszt építettek ki (www.ncc.group). A sín lehetővé teszi a jármű akkumulátorainak áramlás közbeni feltöltését. A rendszer továbbá kiszámítja a jármű energiafogyasztását, ezzel a villamosenergia-költségek járművenként és felhasználónként terhelhetők. Amint a következő ábra mutatja (2. ábra), a rendszer részei az elektromos vezető, a mozgatható kar, a motor, a töltő és az akkumulátor (eRoadArlanda).





2. ábra

eRoad Arlanda projekt műszaki megoldása

Ezeknek a megoldásoknak a fő hiányosságai (Chen, et al., 2014.) azok manuális működtetése, az újratöltés gyakori igénye, és legfőképpen az a tény, hogy a szennyeződés és a nedvesség, valamint a rossz időjárási viszonyok az érintkezést megnehezítik vagy akár ellehetetlenítik, így rontják a kapcsolatot a jármű és a töltési rendszer között.

4. Fizikai kapcsolat nélküli megoldások

Ezzel a megoldással az elektromos energia az elektromos járműbe, a statikus vagy a dinamikus töltési módtól függetlenül, légrésen keresztül szállítható (EV). A kontaktus mentes töltési módszer az EV számára biztonságos, kényelmes és megbízható hozzáférést biztosít, és a vezető utas megoldásokkal összehasonlítva, kevesebb fenntartási munkát igényel, a nedvességtől vagy a szennyezett környezettől való függősége jóval kisebb, valamint kevésbé szennyezi a környezetét. Az ilyen típusú töltési megoldásokhoz vezeték nélküli energiaátvitel (Wireless Power Transmission – WPT) használatos.
A WPT különböző típusai a következők:

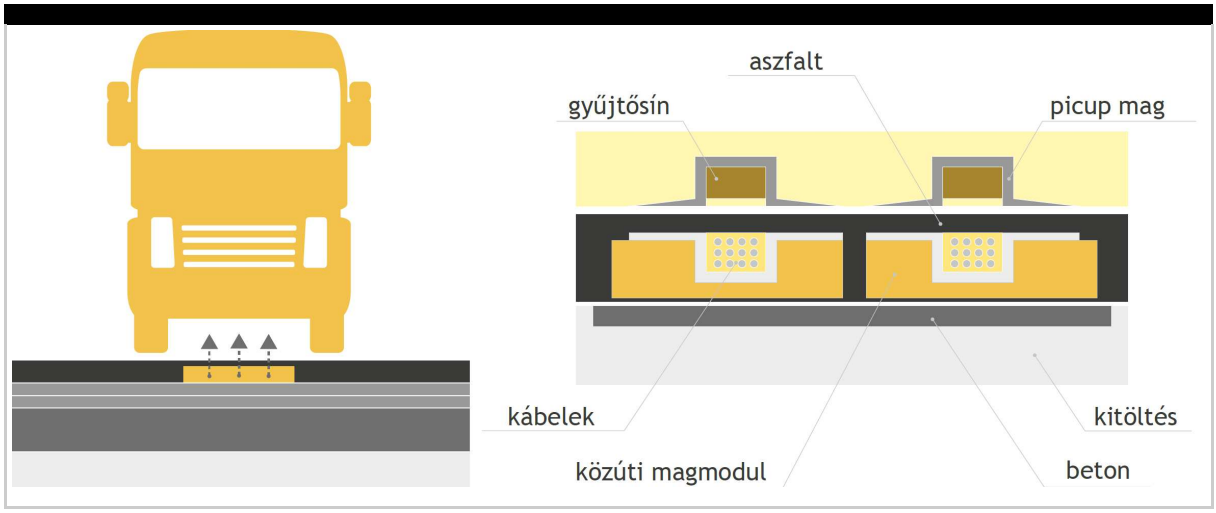
- Inductive Power Transfer (IPT)
  - On-line Inductive Power Transfer (OLPT)
  - Resonant Inductive Power Transfer (RIPT)
- Capacitive Power Transfer (CPT)
- Permanent Magnet Coupling Transfer (PMPT)
- Resonant Antenna Power Transfer (RAPT)

A kutatók jelenlegi álláspontja szerint, az elektromos járművek töltésére az Inductive Power Transfer (IPT) a legmegfelelőbb; így jelenleg is ezt a megoldást tanulmányozzák (Chen, et al., 2014.).
A WPT technológiával ellátott utakról jellemzően elmondható, hogy amíg azon nem elektromos jármű közlekedik, azok hagyományos útként funkcionálnak, mivel a rendszer nem kerül feszültség alá. Ezek a töltési egységek, a burkolatba építve, folytonosan vagy különböző távol-ságra lévő „szigetekként” helyezhetőek el A megadott forrás érvénytelen (Viktoria Swedish ICT, 2014).

4.1. Inductive power transfer (IPT)

Az induktív teljesítmény átvitel módszere a jól ismert, elektromágneses indukció elvén működik. Váltakozó áramot továbbítanak egy tekercsbe, amely mágneses mezőt generál, ez pedig egy fogadótekercsben áramot indukál. Az áramátvitel hatékonysága az áramkör frekvenciájától és impedanciájától (váltakozó áramú ellenállástól), a tekercsek és a mágneses terek eloszlásának távolságától és eltolódásától függ.

Az IPT rendszerek jellemzően két részből tevődnek össze, (on-board) fedélzeti és off-board egységből. Az előbbit az elektromos jármű alá szerelik fel, és, a mágneses kapcsolón keresztül, felelős a váltakozó áram felvételéért, amit egyenárammá alakít át. Az utóbbi, off-board egység három részegységből tevődik össze. Ezek felelősek a tápegységért, az átalakítóért és az adó-egységért, ami a fedélzeti szerkezet felvevő (pick-up) egységéhez kölcsönösen kapcsolódik (Chen, et al., 2014).
Az IPT töltőberendezéseknek burkolatba történő beágyazásához mind az előre gyártáson alapuló, mind a helyszíni építési módszerek lehetségesek, bár a jelenlegi tanulmányok azt mutat-ják, hogy az előre gyártási módszerek hatékonyabb és megbízhatóbb megoldásokat kínálnak. A 3. ábra megmutatja az előre gyártott töltőegységek (CU) részeit, azaz a gyűjtősínt (bus bars), a felszedő magot, a kábeleket, a közúti magokat és a közúti magmodult. A töltőegységet általában betondobozba ágyazzák; ennek felületén a forgalmi terheléstől vékony aszfaltréteg védi a rendszert. Fontos a felső (záró) aszfaltréteg megfelelő vastagságának optimálása, a megfelelő ellenállás és a töltési hatékonyság biztosításának ellentétes szempontjai között (Chen, et al., 2017).



3. ábra
(a) Kereszt-szelvény profil egy lehetséges villamosított út struktúra alapján és (b) Az előre gyártott töltőegység és elemei

Azt is figyelembe kell venni, hogy a különböző rendszereket még fejlesztik, így számos speciális paraméter még nem publikus.

5. Életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment, LCA)

„Egy termék hatásrendszeréhez tartózó bemenet, kimenet és a potenciális környezeti hatások összegyűjtése és értékelése annak teljes életciklusa során”(MSZ ISO 14040, 1997).
Egy termék vagy szolgáltatás életciklusa mind azokat a szakaszokat jelenti,

amelyeken az, a nyersanyag bányászatától vagy kitermelésétől kezdve az élettartama során végighalad. Az életciklus-gondolkodásnak ma is jelentős szerepe van, ezért az életciklus-elemzés olyan eszköz, amely e gondolkodás megvalósításában segítséget nyújt.
Az 1990-es évektől kezdve az életciklus-elemzésnek tehát kiemelt szerep jutott, így a közlekedéstervezésben és az úttechnológia témájában is számos tanulmány született már. Minden tanulmánynak meg kell felelnie az ISO keretrendszernek. Ezért az LCA-nek tartalmaznia kell a vizsgálat célját és hatókörét, a készletelemzést és a hatásvizsgálatot. Mindezek a kategóriák az eredmények értelmezéséhez vezetnek.
A tanulmány céljának világosnak kell lennie, megfogalmazva, mi a kutatási kérdés, a tervezett alkalmazás és a tervezett célközönség. A hatókörnek részben fel kell tüntetni a termék vagy szolgáltatás határait, a hatásokat, az adatigényeket és a funkcionális egységet (functional unit – FU).
A funkcionális egységnek a következőket kell tartalmaznia (Anon, 2010):

- a rendelkezésre álló funkció,
- tervezett mennyiség,
- tervezett időtartam,
- tervezett minőség.

Más szóval: Mi? Mennyi? Meddig? Milyen módon?
A készletelemzés esetében a tanulmánynak tartalmaznia kell az alapvető kibocsátási, erőforrás- és energiaparamétereket. Ebben a fázisban a termék tényleges adatgyűjtése és a modellalkotás az elvégzendő feladat. Az egyszerűsített és a részletes folyamatábra elkészítése és az adatgyűjtés után, a készletelemzéshez az előállítási és egyéb számítások, az elosztás és az újrafelhasználási folyamatok kiszámítása szükséges.
Az életciklus-hatásvizsgálat (Life Cycle Impact Assessment – LCIA) a potenciális környezeti hatások jelentését, fontosságát és következményeit értékeli, a termékek teljes élettartama alatt.

Az életciklus-hatásvizsgálat jellemzően a következő lépéseket tartalmazza:

- hatás kategóriák, mutatók és modellek kiválasztása és meghatározása,
- osztályozás,
- jellemzés,
- normalizálás,
- aggregáció és/vagy súlyozás.

Önálló és összehasonlító, valamint a tulajdonság alapú és következtető életciklus-elemzést (LCA) különböztetnek meg.
Az LCA létrehozásához a rendszer határainak meghatározása fontos. A bölcsőtől a sírig, a bölcsőtől a kapuig vagy a kaputól – kapuig modellek ismeretesek (4. ábra).

4. ábra
Bölcsőtől a sírig modell

A tanulmány során a modellt SimaPro program segítségével építettem fel. Ez a világon az egyik legelterjedtebb LCA szoftver. A program szakmai eszközt biztosít a termékek fenntarthatósági teljesítményének összegyűjtésére, elemzésére és monitorozására. A szoftver alkalmazása rugalmas és könnyen használható, számos különböző hatásvizsgálati módszert tartalmaz, valamint nagy mennyiségű adat megtalálható, például, az Ecoinvent adatbázison keresztül. Az Ecoinvent a világ legkövetkezetesebb és átláthatóbb életciklus-nyilvántartási adatbázisa, amely több ezer termékhez jól dokumentált folyamatadatokat biztosít.

5.1. Villamosított utak életciklus-elemzése

Cél és hatókör

A tanulmány célja olyan megfelelő modell építése volt SimaPro programban, amely a villamosított utak hatásainak elemzéséhez a közelgő projektek számára keretet

adhat.

Ezen túlmenően a villamosított utak három legfontosabb (az áramszedőt, a vezető útpályát, illetve az IPT-rendszert hasznosító) megoldásához összehasonlító, tulajdonság alapú életciklus-elemzés volt a célkitűzés.

Mivel a témában jelenleg is számos kutatás folyik, tervezett célközönség a kutatók és a döntéshozók. Tehát a cél az, hogy segítse a döntéshozók azon törekvését, hogy a villamosított utak fenntarthatóságának eléréséhez a legjobb megoldást megtalálják.

Ennek következtében a projekt fő kérdése:

Melyek a három (áramszedő, vezető út és IPT rendszerű) villamosított úttípus környezeti hatásai?

Funkcionális egység

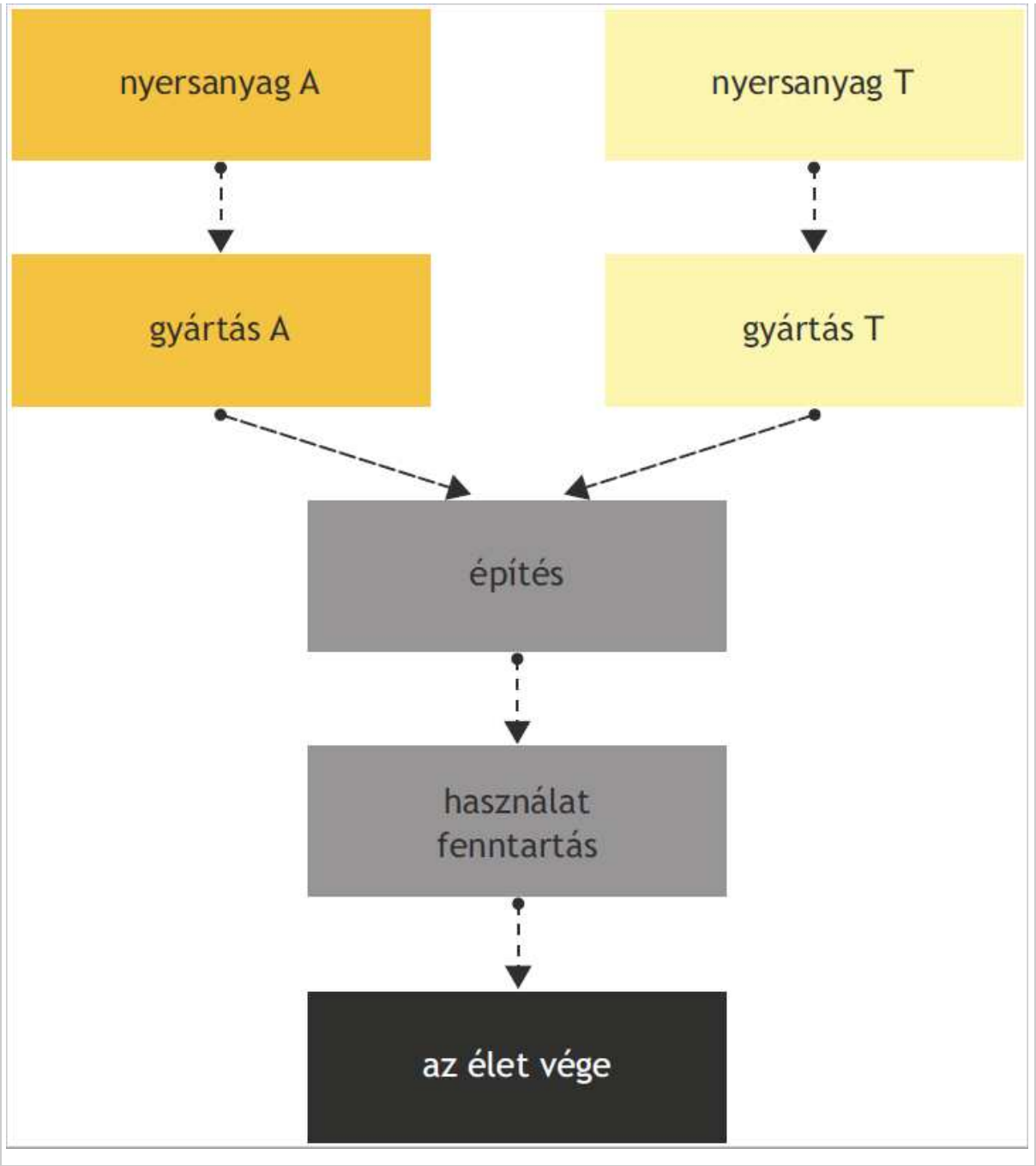
A tanulmány funkcionális egysége egysávos, 3,5 * 10000 m-es méretű, aszfalt autópálya sza-kasz, kiépítve a megfelelő áramszedő, vezetőút vagy süllyesztett IPT töltési rendszerrel a pálya – 20 éves élettartama során, a megfelelő minőségű és mennyiségű üzemeltetési és fenntartási munkával.

Ennek meghatározása azon a feltevésen alapult, hogy ezt a sávot, üzemelő autópályaszakasz mellett, újonnan építik.

Egyszerűsített folyamatábra

Az egyszerűsített folyamatábra (5. ábra) mindhárom töltési rendszernél egyforma. A modell tartalmazza a nyersanyag-kitermelést, a gyártási folyamatokat, a szakasz megépítését és a meg-felelő fenntartási és üzemeltetési munkákat.

Fontos megemlíteni, hogy a modell „Használat” életszakasza során azon különösebb kibocsátás nem következik be, így az csak a fenntartási és üzemeltetési munkákkal számol. A modell a „bölcsőtől – kapuig” modelltípus, tehát az élettartam végi folyamatokat nem veszi figyelembe.



5. ábra
Egyszerűsített folyamatábra

Készletelemzés

A készletelemzés az életciklus-elemzésben fontos szerepet tölt be. Itt mutatják be a felhasznált adatokat, a kifejtett folyamatábrát, az elosztást, a normalizálást és a súlyozási problémákat, valamint a feltételezéseket, limitációkat és korlátozásokat. A megfelelően felépített modell kialakításához a részletes adatgyűjtés elengedhetetlen. A teljes valóság modellezéséhez számos tényezőt figyelembe kellene venni, ám ezt a megkívánt végességgel kell figyelembe venni, így limitáció szükséges.

Bár a SimaPro szoftver segítségével, az Ecoinvent adatbázis elérhető, egyedi adatgyűjtésre is szükség van. Ennek keretein belül, a nyersanyagok szükséges

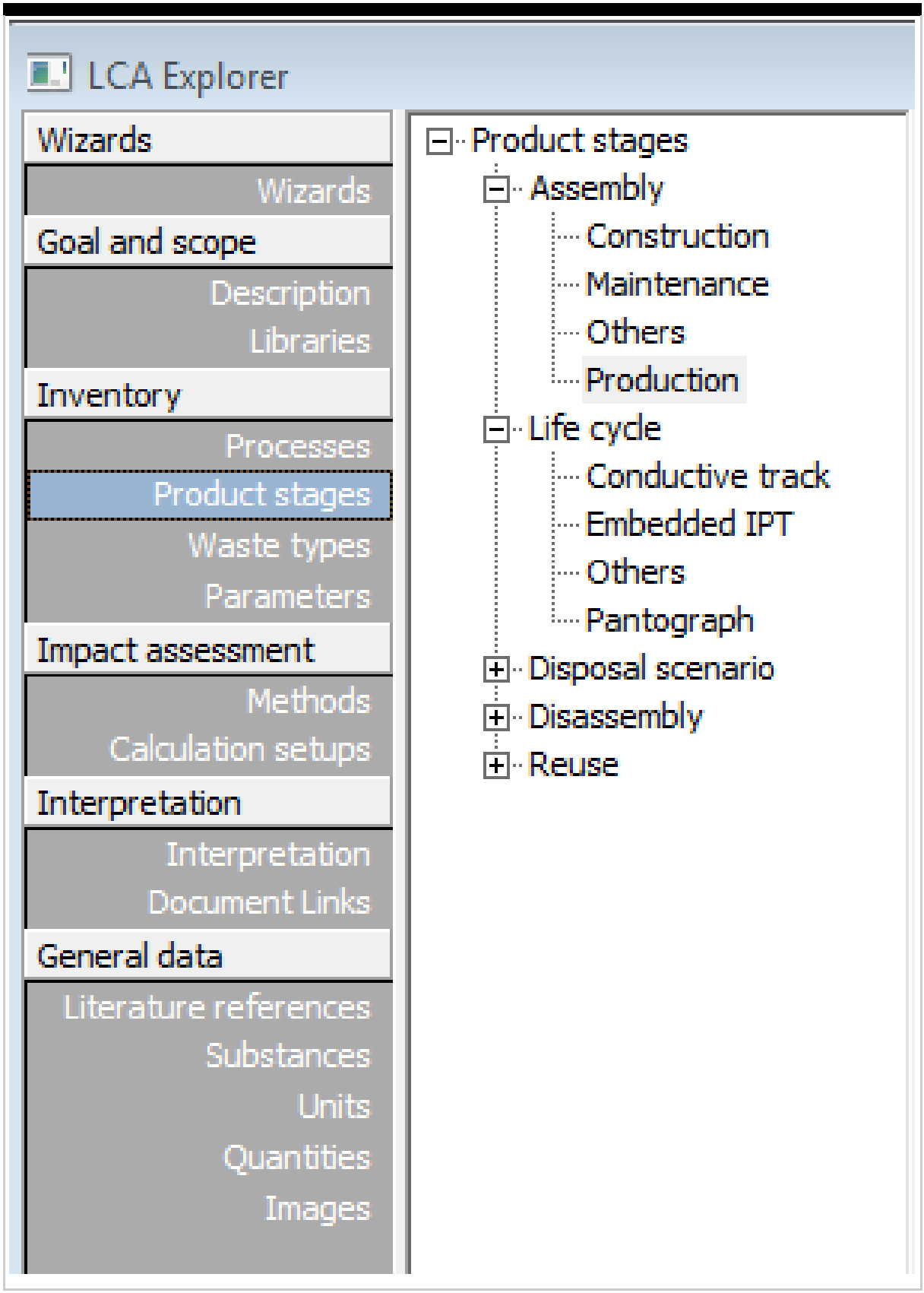
mennyiségét meghatározzák az aszfaltkeverékhez és a töltési egységekhez. Ezután a nyersanyagok kitermeléséhez és az aszfaltkeverék gyártásához szükséges energia- és anyagigényeket, valamint a káros anyag kibocsátásokat az adatbázisban levő, beépített minta alapján határozzák meg. A felhasználni kívánt aszfaltmennyiség a töltési mód típusától függően különböző. Áramszedő használata esetén – mivel itt a töltést acéloszlopokkal alátámasztott felsővezetékek biztosítják – a teljes pályaszerkezetet kiépítik, itt a felhasznált aszfaltmennyiség 8321 m3. A másik két esetben a mennyiségek nyilvánvalóan a töltési egységek térfogatával kisebbek; vezető út esetében, 8311 m3, IPT használatakor pedig 6721 m3.

Következő lépés a villamosított útpálya megépítéséhez szükséges igények számítása. Ez két részből tevődik össze, a különböző rétegekhez szükséges aszfaltmennyiségek helyszínre szállításából és a beépítést végző munkagépekből. Az aszfaltkeveréket EURO3 tehergépkocsikkal szállítják ki, a munkagépekkel kapcsolatos számításokat pedig egy tanulmány (Stripple, 2001) alapján hajtották végre. Mivel a gépek legnagyobb káros hatása az üzemanyag-fogyasztásból ered, a számítások a dízel-fogyasztásra összpontosítanak.

Miután az útszakasz megépült, a következő életciklus-elem a használat. Ebben a fázisban, a fenntartási és az üzemeltetési munkákat veszi a modell figyelembe. A tanulmány ezeket a Trafikverkelt weboldala alapján számítja, és becsüli. Azonban, mivel ott hagyományos út-pályaszerkezet adatai szerepelnek, esetünkben pedig a külső tényezők és egységek befolyásol-hatják az elvégzendő munka mennyiségét, így a modellalkotás során, egységesen a megadott adatok 120%-át vettem fel. Ezt a későbbiekben finomítottam, leginkább a téli fenntartás tekintetében, mivel a három megoldás várhatóan különböző munkaigényű.
Szintén fontos meghatározni a modell elemzése során használt hatás-értékelési módot és a meghatározandó kategóriákat. A tanulmány – számos előnye miatt – ReCiPe Midpoint (H) módszerrel számol. Ez a módszer 18 hatáskategóriát vizsgál, többek között az éghajlatváltozást, az emberi toxicitást, az ózonlebontást, a földi ökotoxicitást és az ásványi anyagok kimerülését.

A modell és eredményei

Miután az említett adatokat a megfelelő mennyiségben megadtuk a modellben, a modell kiértékelése következik. A szoftver számos lehetőséget nyújt a rendszerek vagy folyamatok elemzésére (6. ábra). Lehetőség van egyedi elemzések elvégzésére vagy a három töltési rendszer összehasonlítására. Lehetséges egyetlen folyamat vizsgálata is annak felmérésére, hogy mennyi befolyása van a végtermékre. A program különböző módon (hálózat, táblázat vagy diagram) jeleníti meg az eredményeket. Kiválaszthatók az elemzendő hatáselemek (éghajlatváltozás, ózonlebontás, földi savasodás, emberi toxicitás, természetes szárazföldi átalakulás, fosszilis károsodás stb). Az eredmények karakterizáció és a normalizálás után is. elérhetőek.



6. ábra
SimaPro felülete és könyvtárai

Ahhoz, hogy ez a tanulmány kezelhető legyen, az eredmények az éghajlatváltozás hatásaira reflektálnak, mivel ez utóbbi az üvegházhatású gázok levegőbe történő kibocsátásához kapcsolódik, így sok szempontból érinti a bolygót. Az éghajlatváltozás karakterizációs tényezője, a fent említett ReCiPe Midpoint (H)

módszer esetében, a globális felmelegedési potenciál; egysége év/kg CO^2 egyenérték.

Eredmények

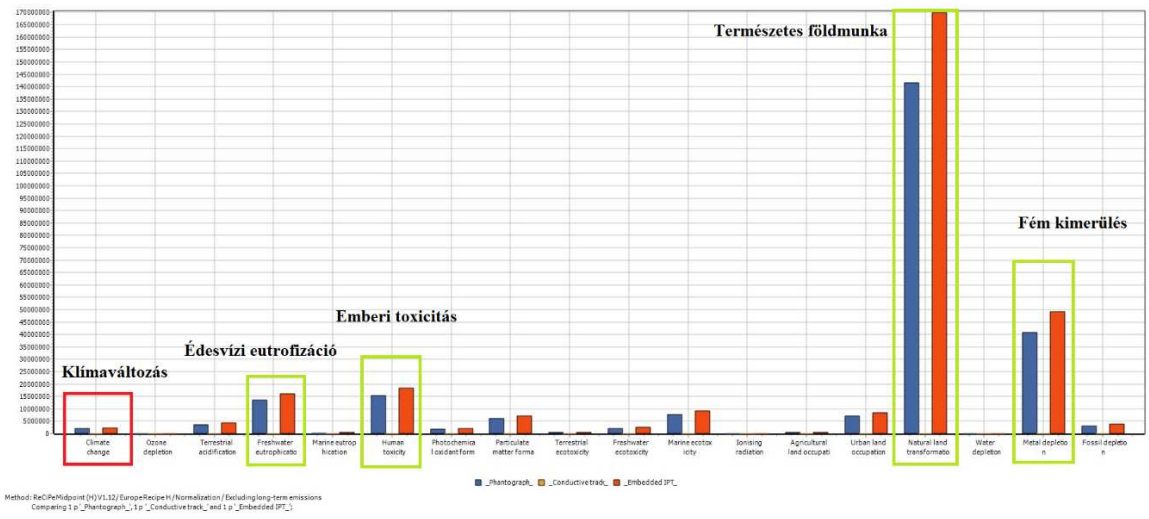
Az eredmények egyszerű összehasonlítása érdekében a számítások értékét normalizáltam, azaz azt a hatáskategória-mutatót referencia (vagy normál) értékkel hasonlítottam össze. Ehhez a hatáskategóriát el kell a referencia értékkel osztani, így azok azonos egységgel rendelkeznek, megkönnyítve az összehasonlítást. Ezt a műveletet a szoftver automatikusan elvégzi.

Az alapmodell eredményeiként a hatásvizsgálat és a leltár elemzés szemszögéből a következő összegeket kaptuk. Az előbbi esetén a vezető pálya sokkal kevesebb hatással jár, mint a másik két lehetőség. Ezeknek a meglepően nagy különbségeknek az okát a rézkábelek képezik. Mivel a rézkábelek száma és típusa, pontos információk hiányában, csak feltételezéseken alapul, az érzékenységvizsgálat során a tanulmány a kábelek megváltozott mennyiségének hatásait is megvizsgálja. Emellett látható, hogy négy eredmény kiemelkedő, melyek a természetes föld-munka, a fém kimerülése, az emberi toxicitás és az édesvízi eutrofizáció (elalgásodás). Ezt követi a tengeri ökotoxicitás, a városi területek felhasználása, a földi savasodás és az éghajlat-változás. Minden esetben az IPT (narancs) megoldás kb. 20%-kal nagyobb hatásokat eredményez. (1. táblázat, 7. ábra)

Hatáskategória	Hatásvizsgálat [10^6]		
	Áramszedő	Vezető út	IPT
Természetes földmunka	141,57	0,0639	169,87
Fém kimerülés	40,93	0,0018	49,11
Emberi toxicitás	15,25	0,0016	18,30
Édesvízi eutrofizáció	13,40	0,0011	16,08
Klímaváltozás	1,95	0,0008	2,34

1. táblázat

Hatásvizsgálat normált eredményei, alapmodell



7. ábra

Hatásvizsgálat normált eredményeinek ábrázolása, alapmodell

Leltárelemzés során felülvizsgáljuk a leltár eredményeit, mely megmutatja a folyamat be- és kimenő elemeit. Az eredmények azt mutatják, hogy az IPT és az áramszedő esetében a legjelentősebb anyagok azonosak. A legmagasabb érték a szén-dioxidhoz (fosszilis) tartozik, ezt követi – nagy ugrással az értékek között – a metán (fosszilis), majd dinitrogén-monoxid, de szintén jelentős a kén és a szén-dioxid. A vezető pálya esetében a legjelentősebb hatással szintén a szén-dioxid (fosszilis) bír, de ebben az esetben a harmadik legmagasabb érték a metán (fosszilis), a kettő között pedig a szén-dioxid kap helyet (2. táblázat).

	Anyag	Tér	Áramszedő	Vezető út	IPT
	Teljes		1949,97	0,830	2339,77
	Fennmaradó anyagok		2,07	0,300	2,43
1	Szén-dioxid (fosszilis)	Levegő	1783,67	0,480	2140,29
2	Metán (fosszilis)	Levegő	142,32	0,039	170,78
3	Dinitrogén-monoxid	Levegő	12,36	0,006	14,83
4	Metán tetrafluor, CFC-14	Levegő	4,24	0,000	5,09
5	Kén-hexafluorid	Levegő	2,36	0,001	2,83
6	Szén-dioxid (földmunka)	Levegő	1,77	0,002	2,13
7	Metán (biogén)	Levegő	1,17	0,001	1,40

2. táblázat

Leltárelemzés normalizált eredményei

Mivel a tanulmány a klímaváltozást befolyásoló hatásokat helyezi előtérbe, így a 3. táblázat bemutatja a három különböző típusú eRoad megoldás minden folyamatára és eljárásaira vonatkozó normalizált eredményeket. A kapott adatokról elmondható, hogy mivel, a feltételezés szerint, az aszfaltkeverő telep és az építési terület egymástól 30 km-re van, így az aszfaltkeverék szállításából jelentkező hatások a többihez képest nem jelentősek. Ugyan ez elmondható az építés közben felhasznált dízelolajból származó hatásokról. Az aszfaltgyártás esetében a hatások jelentősebbek. A felhasznált aszfaltkeverék mennyiségétől függően, nyilvánvaló, hogy az áramszedő megoldás a legmagasabb, majd a vezető pálya és végül az IPT következik. A karbantartási és az üzemeltetési munkáknak természetre gyakorolt hatása a burkolat 20 éves élet-tartama alatt nagymértékű. Ez az érték egyaránt 558. A legnagyobb értékek az áramszedő és az IPT rézkábeleinek töltőegységeinek előállítása során jelentkeznek. Az acélsín és a beton dobozok előállításának hatása, ezekhez képest, elhanyagolható.

Áramszedő		Vezető út		IPT	
Aszfalt gyártás	254,00	Aszfalt gyártás	253,00	Aszfalt gyártás	205,00
Aszfaltkeverék szállítás	0,30	Aszfaltkeverék szállítás	0,30	Aszfaltkeverék szállítás	0,24
Építkezés – dízel	0,20	Építkezés – dízel	0,20	Építkezés – dízel	0,20
Üzemeltetés és fenntartás	558,00	Üzemeltetés és fenntartás	558,00	Üzemeltetés és fenntartás	558,00
Réz kábel	1949154,30	Acél sín	13,30	Beton doboz	24,00
				Réz kábel	2338985,20

3. táblázat
A különböző folyamatokra és eljárásokra vonatkozó normalizált eredmények

Mint említettem, információ hiányában, az alapmodell kialakításakor számos közelítéssel és becsléssel kellett élnem. Ezért érzékenység vizsgálatra volt szükség. Ennek célja az eredményekre vonatkozó legfontosabb feltételezések hatásának értékelése, változó feltételezésekhez az életciklus elemzés ismételt végrehajtásával. A tanulmányban a legfontosabb feltevések a töltőegységekhez szükséges réz mennyisége és a télen szükséges karbantartás. Ezeknél két esetet vizsgáltunk:

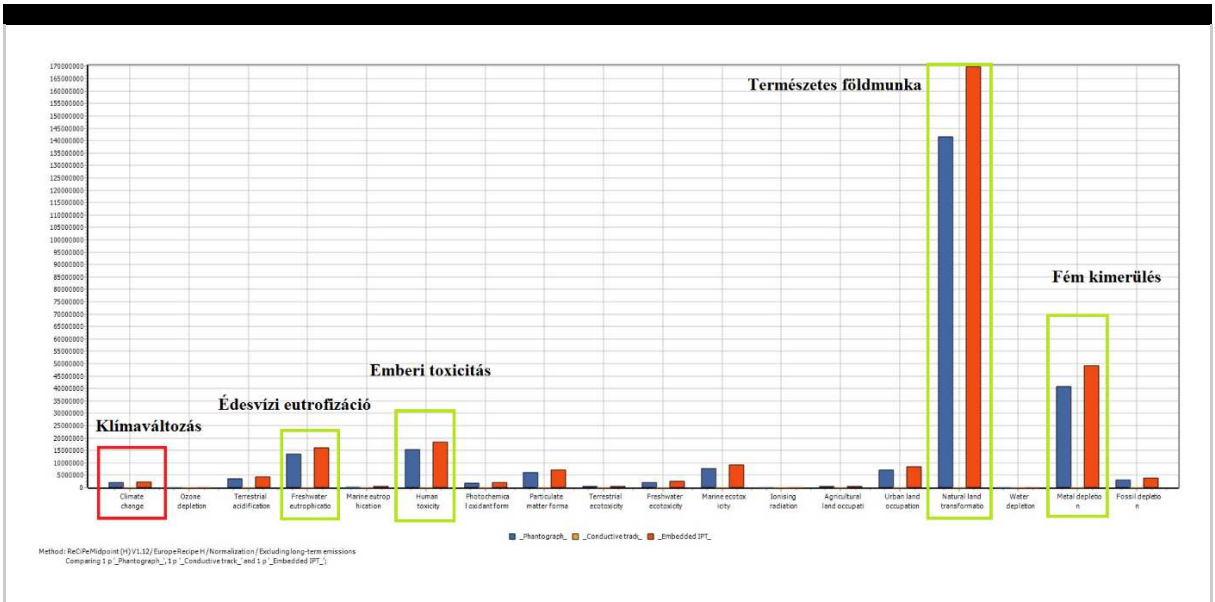
- csökkentett réz mennyiséget,
- több téli karbantartási és fenntartási munkát.

Az alapmodell eredményeiből szembeötlő, hogy a réz kimagasló hatással bír, ám ennek pontos meghatározása becsléseken alapult. Ennek kiküszöbölésére a bevitt

adatokat a következőképpen módosítottam.
Az IPT megoldás a legújabb fejlesztés, így a legbizonytalanabb is. A szükséges réz mennyisége valóban különbözhet a feltételezett értéktől, ezért az érzékenységi elemzésben a feltételezett arány felével számoltunk. Az áramszedő megoldása kiforrottabb, ezért nem rugalmas a réz mennyiségére vonatkozólag, így a számítás az eredeti feltételezett érték 80%-át használja fel. A vezetőpálya nem tartalmaz rezet. Ennek következtében a réz értéke a következő módon változott. Tehát:

- IPT: 0,5,
- áramszedő: 0,8,
- vezető út: 0

A hatásvizsgálat eredményeit a 2. ábra és a 4. táblázat mutatja be. Megfigyelhető, hogy ekkor, minden esetben, a (kék) áramszedő hatásai a legmagasabbak. Ezt követi az IPT (narancs), majd végül a vezető út, jelentősen kisebb értékekkel.



8. ábra

Hatásvizsgálat normált eredményeinek ábrázolása, kevesebb rézkábel esetében

Hatásvizsgálat – Normalizált eredmények, csökkentett réz [10^6]					
Hatáskategória	Áramszedő	Áramszedő	IPT	IPT	Vezető út
	Réz csökk.	Alap	Réz csökk.	Alap	Alap
Klímaváltozás	1,56	1,95	1,17	2,34	0,0008
Édesvízi eutrofizáció	10,72	13,40	8,04	16,08	0,0011
Emberi toxicitás	12,20	15,25	9,15	18,30	0,0016
Természetes földmunka	113,27	141,57	84,96	169,87	0,0639

Fém kimerülés	32,74	40,93	24,56	49,11	0,0018

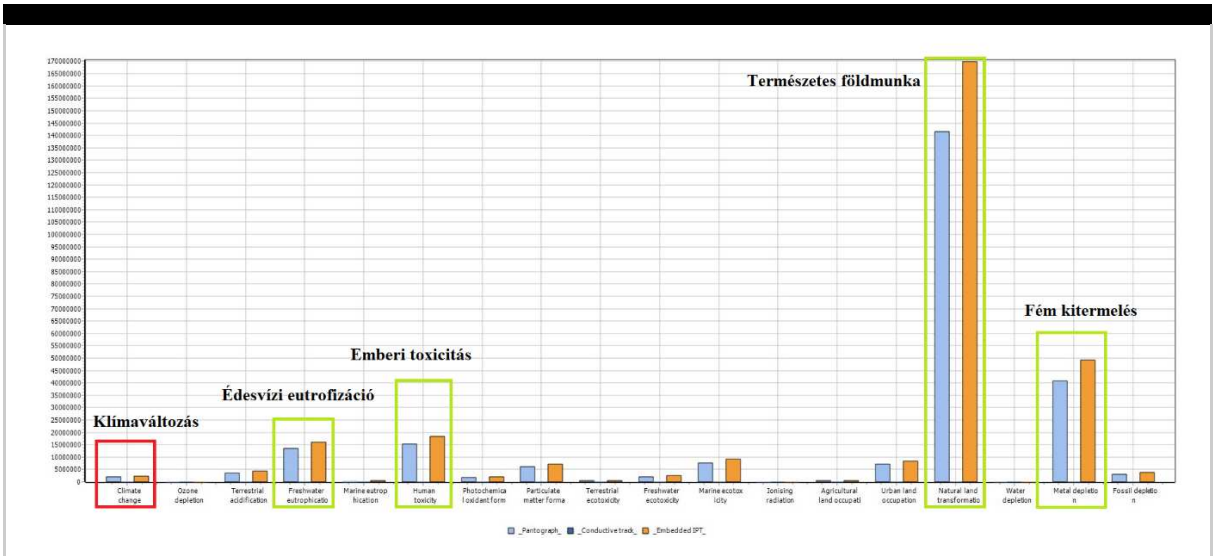
4. táblázat

Hatásvizsgálat eredményei a szükséges rézmennyiség csökkentése esetén

Téli fenntartási és üzemeltetési munkák esetében, az alapmodell azzal a feltételezéssel élt, hogy a három rendszer ugyanannyi munkát igényel. Szintén fontos megjegyezni, hogy bár az áramszedős és a vezető út esetében, a közelmúltban már épültek próbaszakaszok, a rendszerek hosszú távú (téli) viselkedéséről azonban még nem áll információ rendelkezésre.
Feltételezésem szerint a vezető utas megoldás igényli a legmagasabb téli üzemeltetési munkát, hiszen mint kültéri rendszer, az időjárási körülmények nagymértékben befolyásolhatják a teljesítményét, többek között például a szennyeződés és a hó könnyen eltömítheti a sínt, megakadályozva ezzel a megfelelő csatlakozást. Ezt követi az IPT megoldás, ahol szintén fontos a megfelelő légrés biztosítása. Az áramszedő esetében, ebben a számításban, az alapmodell megemelt munkájához képest nem változtattunk.
Ezek alapján a következőkkel növeltem az eredeti – a töltési rendszer nélküli autópályához képest 120%-kal megnövelt munkaigény – feltevést:

- vezető út: 2,5,
- IPT: 1,5,
- áramszedő: 1

Az eredményekből látható (3. ábra, 5. táblázat), hogy ebben az esetben is a (narancs) IPT megoldás adja a legmagasabb értékeket, a vezető út hatása pedig, a másik két megoldáshoz képest, még mindig elenyésző. Az IPT megoldás esetén, a változások 103-os nagyságrendűek.



9. ábra

Hatásvizsgálat normált eredményei ábrázolása, megnövelt téli üzemeltetési- és fenntartási munkánál

Hatásvizsgálat – Normalizált eredmények, növelt üzemeltetési munka [10^6]					
Hatáskategória	Áramszedő	Vezető út	Vezető út	IPT	IPT
		Növelt üz.	Alap	Növelt üz.	Alap
Klímaváltozás	1,95	1,37	0,0008	2,34	2,34
Édesvízi eutrofizáció	13,40	1,25	0,0011	16,08	16,08
Emberi toxicitás	1,52	2,06	0,0016	18,30	18,30
Természetes földmunka	141,57	71,62	0,0639	169,87	169,87
Fém kimerülés	40,93	1,92	0,0018	49,11	49,11

5. táblázat

Hatásvizsgálat normált eredményei, megnövelt téli üzemeltetési- és fenntartási munkánál

6. Összegzés

A korábban bemutatott eredmények azt mutatják, hogy a környezeti, különösen az éghajlatváltozás szempontjából a – rézkábel nélküli – vezető út megoldása a leginkább fenntartható, ugyanakkor még ez a megoldás is, a töltési egység nélküli utakhoz képest, a környezetre jóval nagyobb (átlagosan háromszoros) hatást gyakorol.

Annak ellenére, hogy ezek a különbségek jelentősnek és ténylegesen nagy hatásnak tűnnek, hangsúlyozni kell és figyelembe kell venni azt is, hogy a modell a forgalomból adódó hatásokkal nem számol. Ha a megfelelő infrastruktúra kiépül, az elektromos járművek széles körben elterjedhetnek, ekkor a 20 éves időtartam alatt ez a megoldás a környezeti terhelést jelentős mennyiségű káros kibocsátás megtakarításával csökkentheti.
Ezen kívül, a döntéshozatalhoz figyelembe kell azt is venni, hogy a különböző megoldásokat az elektromos járművek felhasználói különböző módon fogadhatják. Az érintkezésmentes megoldásra valószínűleg kedvezőbben reagálnának, mint az áramszedős vagy és a vezetőpályás változatra, amelyek feltehetőleg több karbantartási igényt okozhatnak a járművek számára.

Ez a tanulmány és modell ugyan alaposan áttekintette a rendszereket és fenntarthatóságot, jövőbeni fejlesztése során, a modellt célszerű kiterjeszteni, például, az elektromos alkatrészek (csatlakozó, rács, stb.) figyelembevételére is;

kitérhet a forgalmi és gazdasági hatásokra, a megnövekedett fenntartási igényre, valamint a hosszú távú teljesítményre is.

7. Irodalomjegyzék

Budhia, M., Covic, G. A., Boys, J. T. & Huang, C.-Y., 2011. Development and evaluation of single sided flux couplers for contactless electric vehicle charging.

Chen, F., Taylor, N. & Kringos, N., 2014.. Electrification of roads Opportunities and challenges. Applied Energy, 13. 12.

eRoadArlanda, http://eroadarlanda.com. [Online] Available at: http://eroadarlanda.com/the-technology/ [Hozzáférés dátuma: 05. 03. 2017.].

European Environment Agency, 2016. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2014 and inventory report 2016, Coppenhagen

MSZ ISO 14040, 1997.

Siemens AG, 2015. eHighway – Innovative electric road freight transport. Germany

Stripple, H., 2001. Life Cycle Assessment of Road – A Pilot Study for Inventory Analysis, Gothenburg, Sweden

www.ncc.group, https://www.ncc.group. [Online] [Hozzáférés dátuma: 05. 03. 2017].

Adatok

Megjelent itt
10. szám
2017. ősz

Szerző

Nádasi Réka
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út- és Vasútépítési Tanszék Ph.D. hall-gatója. Kutatási területe a környezettudatosan tervezett útburkolatok és közutak.

Témakörök

Útépítés • Útgazdálkodás

Kulcsszavak

életciklus-elemzés (LCA) • fenntartha-tóság • IPT • pantográf • SimaPro • vezető pálya • villamosított út

Befogadva

2017. december 3.

Hozzászólás

Hozzászólás

* Név

* E-mail cím

Honlap

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Szakolvasó

Témakörök

© Copyright Útügyi Lapok 2019 • *Minden jog fenntartva.*

Az Útügyi Lapok félévente elektronikus formában megjelenő, online szabadon elérhető kiadvány, erre tekintettel jelenleg nem előfizethető. Alkalmanként azonban papíralapon is megjelenik, amennyiben szeretne a papír alapú megjelenésről értesítést illetve példányt kapni, kérjük érdeklődési szándékát az alábbi címen jelezze: utugyilapok@makadam.hu. *A lapban megjelent cikkek a szerzőik személyes véleményét fejezik ki és nem feltétlenül egyeznek meg a szerkesztők véleményével illetve ismereteivel.*

Útügyi lapok

11

Cikk

A hálózati utazási idő megbízhatóságának modellezése az irányított járművek működését jellemző változók alapján

Az utazási idő megbízhatósága az úthálózat hatékony teljesítmény értékelésének egyik fontos jellemzője, melyet a valós idejű forgalomirányítási információ jelentős mértékben javíthat. A hagyományos forgalomirányítástól eltérően az infokommunikációs eszközökkel összekapcsolt járművek irányítása a vezetők részére időszerűbb és pontosabb információt ad a forgalmi helyzetről, tovább javítva ezzel az úthálózat működésének hatékonyságát. Az irányított járműveket jellemző változók közül ötöt választottak ki magyarázó változóként, ezek a torlódási szint, a részvételi arány, az elfogadási arány, a kiadás késési idő és a követési arány. Az öt magyarázó változó segítségével egy utazási idő megbízhatóság modellt javasoltak,

mely a többváltozós logisztikus regresszió módszerét alkalmazva egy irányított jármű szcenárió segítségével elemzi az előrebecslés pontosságát, valamint az irányított járművek működését jellemző változók hatását az utazási idő megbízhatóságára. A szimulációs eredmények szerint a négyzetes középhiba 80%-a a 0 és 0,0412 közötti tartományba esik. A jellemző változók korreláció elemzése azt mutatta, hogy a torlódási szint, a részvételi arány, az elfogadási arány és a kiadás késési idő hatása az utazási idő megbízhatóságára egyaránt szignifikáns. A részvételi arány és az elfogadási arány pozitív hatást gyakorol az utazási idő megbízhatóságára, és e változók növekedése átlagosan 77,03% illetve 73,20% átlagos javulást eredményezett, míg a torlódási szint és a kiadás késési idő az utazási idő megbízhatóságára negatív hatással bír, ahol a kiadás késési idő 0-ről 180 mp-re növekedése az utazási idő megbízhatóságát 31,21%-kal csökkentette.

Modeling Travel Time Reliability of Road Network Considering Connected Vehicle Guidance Characteristics Indexes
Hindawi (Wiley) Journal of Advanced Transportation Volume 2017, Article ID 2415312

Copyright ©2017 Jiangfeng Wang et al. Ez egy nyílt hozzáférésű cikk a Creative Commons Attribution License szerint, amely korlátozás nélküli felhasználást, terjesztést és reprodukálást engedélyez bármely közegben, feltéve, hogy az eredeti műre korrekt módon hivatkoznak.
Fordította dr. Gulyás András.

1. Bevezetés

Az utazási idő megbízhatósága (travel time reliability, TTR) fontos szempont a napi utazások során, amelyet több tényező befolyásol, így például a balesetek, az időjárás és a forgalmi torlódások. A forgalomban résztvevő járművek irányítását segítő információ jobb útvonal tervezést tesz lehetővé, ezáltal javítja az utazás hatékonyságát és az utazási idő megbízhatóságát. A hagyományosnak tekinthető változó jelzésképű táblákkal összehasonlítva az infokommunikációs eszközökkel összekapcsolt járművek (connected vehicle, CV) irányítása lehetővé teszi a forgalmi információ valós idejű továbbítását a járművek közötti (vehicle-to-vehicle, V2V) valamint a jármű és az út infrastruktúra közötti (vehicle-to-infrastructure, V2I) adatátvitellel. A forgalomirányítási információ ilyen módon időben rendelkezésre állhat és hatékonyan elősegítheti az eredményes irányítást [1-3].

Az utazási idő megbízhatóságára és az összekapcsolt járművek irányítására vonatkozó korábbi tanulmányok főként a hagyományos tényezők hatására fókuszáltak, mint például az időjárás [4-8] és az összekapcsolt járművek irányításának hatása az utazási időre, az üzemanyag fogyasztásra és az átlagos késedelemre [9-12]. Kevés tanulmány foglalkozott az összekapcsolt járművek

irányításának az utazási idő megbízhatóságára gyakorolt hatásával az irányított járművek működését jellemző változók alapján. A jelenlegi kutatás eredményeként a cikk egy irányított jármű környezetben működő utazási idő megbízhatóság modellt ismertet többváltozós logisztikus regresszió (multilogistic regression, MLR) módszer alkalmazásával.

A javasolt utazási idő megbízhatóság modell validálása érdekében egy irányított jármű szimulációs szcenáriót dolgoztak ki a javasolt modell előrebecslési pontosságának elemzésére valamint az irányított járművek működését jellemző változók és az utazási idő megbízhatósága közötti kölcsönhatások megállapítására az irányított jármű környezetben.

2. Szakirodalmi áttekintés

Számos kutató végzett alapvető elemzéseket az úthálózati utazási idő megbízhatóságát illetően, és több meghatározást javasoltak az utazási idő megbízhatóságára. Asakura és Kashiwadani [4] elsőként vetette fel az úthálózaton jelentkező utazási igények és az utazási idő megbízhatósága kapcsolatát. Iida [13] egy valószínűség elméleti alapú meghatározást javasolt, mely szerint az utazási idő megbízhatósága annak valószínűsége, hogy az utazó egy meghatározott időn belül sikeresen eléri célját. Liu et al. [14] sztochasztikus úthálózatokon tanulmányozta az utazási idő megbízhatóságát a használói egyensúly eloszlási modellt alkalmazó közelítő algoritmussal. A használói egyensúly és a büntető használói egyensúly modellek alapján Wang et al. [15] egy bi-objektív használói egyensúly modellt javasolt az utazási idő megbízhatóságának elemzésre. A későbbiekben Pei és Gai [16] az utazási idő megbízhatóságát az úthálózaton Monte-Carlo szimulációs módszerrel vizsgálta. A korábbi munkákra alapozva több kutató javasolt különböző értékelő jellemzőket az utazási idő megbízhatóságának további elemzésére [17-20].

Szintén több tanulmány foglalkozott a szokatlan körülményeknek az úthálózati utazási idő megbízhatóságára gyakorolt hatásával, vizsgálva a forgalmi igényt, a kedvezőtlen időjárást és az út egyes jellemzőit [21-23]. Asakura [24] azt elemezte, hogy a forgalmi igények változása mennyire befolyásolja az utazási idő megbízhatóságát. Tavassoli Hojati et al. [5] a közúti balesetek hatását modellezte és elemezte az utazási idő megbízhatósága vonatkozásában. Számos kutatás témája volt az utazási idő megbízhatóságának változása az egyik legfontosabb befolyásoló tényező, a kedvezőtlen időjárás hatására. Leng [6] havas és jeges városi úthálózatokon vizsgálta az utazási idő megbízhatóságát, elemezve a fogalmi jellemzőket ilyen körülmények között. Wu et al. és Wang et al. [7, 8] a ködös és esős helyzeteket tanulmányozta a gyorsforgalmi úthálózaton, és értékelő tényezőket javasolt. Mindezek az eredmények azt mutatják, hogy a forgalmi igények, a rossz időjárás és a balesetek egyaránt jelentős hatást gyakorolnak az utazási idő megbízhatóságára. Mindazonáltal kevesebb kutatás foglalkozott az irányított

járműveket jellemző változók és az utazási idő megbízhatóságának összefüggéseivel.

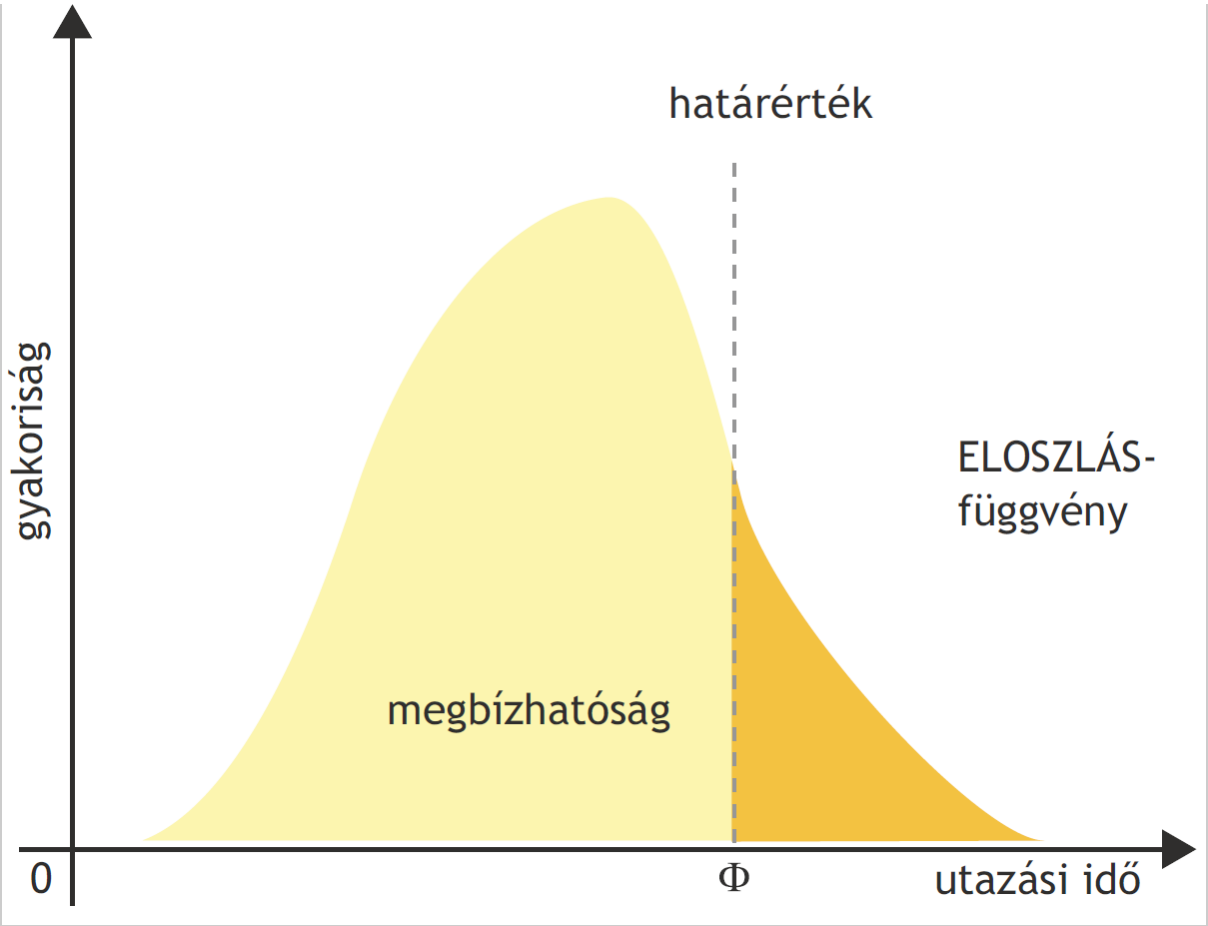
A hagyományos forgalomirányítással összevetve az infokommunikációs eszközökkel összekapcsolt járművek irányítása lehetővé teszi a forgalmi információ valós idejű megosztását a járművek közötti valamint a jármű és az út infrastruktúra közötti kommunikációban, melyek hatékony eszközök az irányítás hatásának javítására az úthálózaton. Lee and Park [9] baleseti helyzetek szimulációjával elemezte az irányítás teljesítményét, eredményeik szerint az irányított járművek részvételi aránya jelentős befolyással bír az irányítás hatására. Yang et al. [25] kimutatta, hogy a teljes utazási idő, az átlagos utazási idő és az átlagos járműkésés egy irányított járműves környezetben lényegesen kisebb, mint hagyományos forgalmi körülmények esetén. Noori and Valkama [26] szintén azt találta, hogy egy irányított járműves technológián alapuló dinamikus útválasztási és irányítási stratégia az utazási időt 52%-kal, az üzemanyag fogyasztást 48%-kal csökkentheti. Nie [27] a járművek közötti kommunikáció hatását vizsgálta a forgalmi folyamban, eredményei szerint a járművek közötti kommunikáció csökkentheti az átlagos utazási időt. Végezetül Paikari et al. [28] a követési arány hatását elemezve arra a következtetésre jutott, hogy a járművek közötti kommunikáció nem csak az irányítási eszközzel felszerelt járművek utazási idejét mérsékelheti, hanem az ilyen eszközzel nem rendelkező járművekét is.

Általánosságban elmondható, hogy az irányított járműveket jellemző változók, mint a részvételi arány és a követési arány egy irányított járműves környezetben jelentős hatást gyakorolnak az úthálózati utazási idő megbízhatóságára [29, 30]. Rendkívül lényeges az irányított járműveket jellemző változók megfelelő megválasztása, és ezeknek a jellemző változóknak a vizsgálatával az úthálózati utazási idő megbízhatóságára gyakorolt hatás kimutatása.

3. Módszertan

3.1. Az utazási idő megbízhatóságának meghatározása

A hozzáférhető kutatások alapján az utazási idő megbízhatóságának definíciója az a valószínűség, amely szerint az utazó egy – a jelen tanulmányban meghatározott – időn belül sikeresen teljesíti az utazását, amint azt az 1. ábra mutatja.



1. ábra
Az utazási idő megbízhatóság meghatározása.

A meghatározásnak megfelelő utazási idő megbízhatóság képlet:

$$R(t) = P_r \cdot \{t_i \leq \Phi\} \tag{1}$$

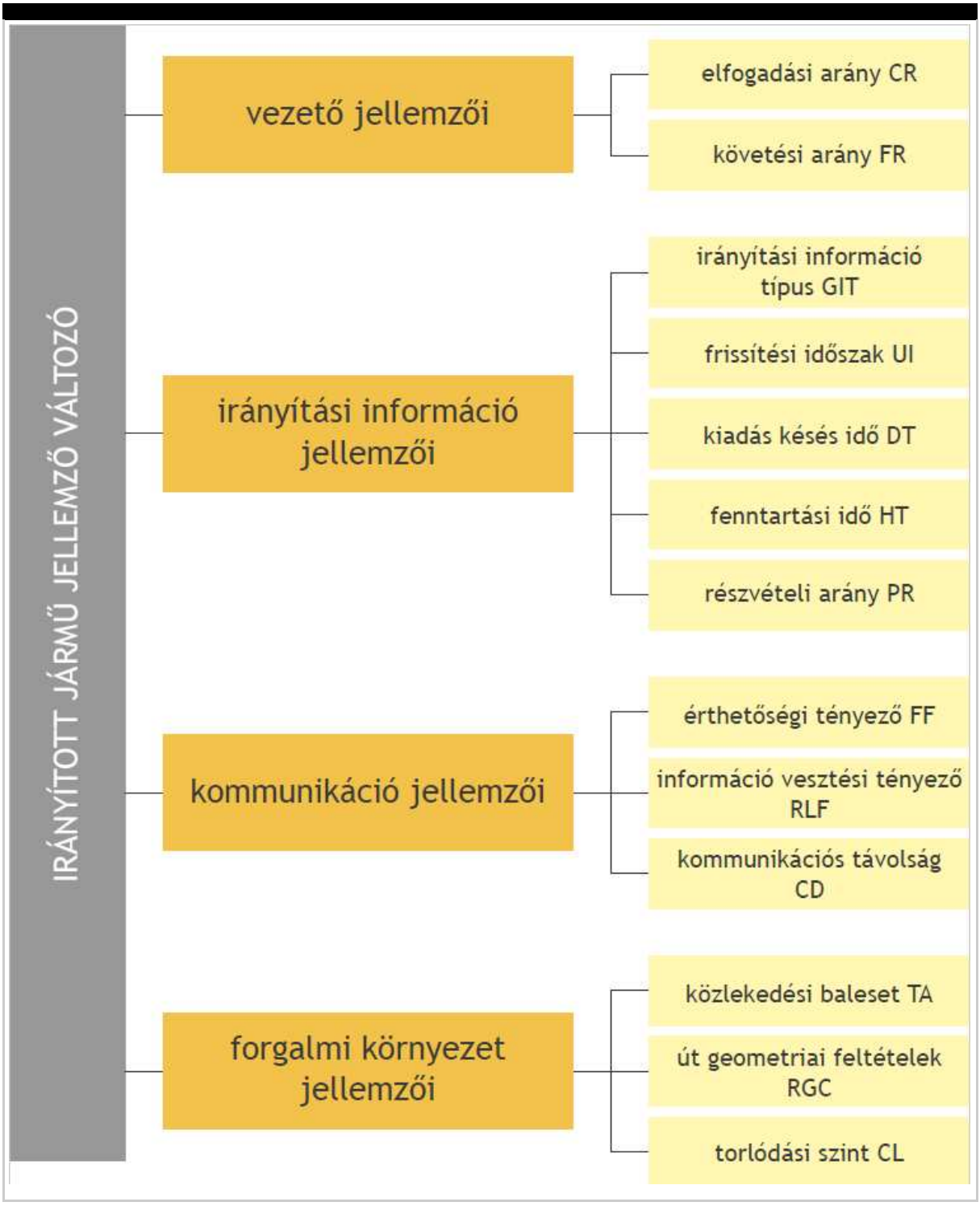
(1)
ahol Φ az utazási időhatár (mp), amely a szolgáltatási szinthez kapcsolódik. Az utazási időhatár Φ számítása:

$$\Phi = t_a \times l_a \tag{2}$$

(2)
ahol t_a az utazási idő az a egység távolságon (mp), amelynek értékeit a HCM (Highway Capacity Manual, az USA-ban kiadott közúti kapacitási kézikönyv) tartalmazza, l_a az a útvonal hossza (km).

3.2. Az irányított járműveket jellemző változók

Az említett referenciák alapján az irányított járműveket jellemző változók hatással lesznek az úthálózati utazási idő megbízhatóságára egy irányított járműves környezetben. A jellemző változók hatásainak értékeléséhez először fel kell venni a jellemző változók rendszerét a 2. ábrának megfelelően.



2. ábra

Az irányított járműveket jellemző változók rendszere.

Ebben a cikkben a jellemző változók utazási idő megbízhatóságára gyakorolt hatásának elemzése érdekében a következő jellemző változókat választották ki: az elfogadási arány (compliance rate, CR), a követési arány (following rate, FR), a részvételi arány (penetration rate, PR) a kiadás késési idő (delay time, DT) és a torlódási szint (congestion level, CL).

Az elfogadási arány az útvonalajánlást elfogadó, irányítási eszközzel felszerelt járművek aránya az összes irányítási eszközzel felszerelt járműhez viszonyítva. A

követési arány az irányítási eszköz nélküli, de az elöl haladó irányított járművet követve az útvonalajánlást elfogadó járművek aránya az összes irányítási eszköz nélküli járműhez viszonyítva. A részvételi arány az irányítási eszközzel felszerelt járművek aránya az összes járműhez viszonyítva. A kiadás késési idő a forgalmi információ keletkezésétől annak a jármű általi fogadásáig eltelt idő. A torlódási szint az úthálózat forgalmi állapotának értékelésében fontos jellemző változó, amely mellett a cikkben a baleset által okozott torlódás időtartamát is használják alternatív változóként.

3.3. Utazási idő megbízhatóság modell

Egy úthálózat több útvonalból tevődik össze, ezért egy útvonalválasztó modellt kellett létrehozni az úthálózati utazási idő megbízhatóság modell tervezésekor. Az útvonalválasztó modell felállításhoz a többváltozós logisztikus regresszió módszert alkalmazták.

Tegyük fel, hogy az RS eredet-cél párok között k útvonal lehetséges az irányított járműves környezetben, ahol az említett ötféle, az irányított járműveket jellemző változót választották ki magyarázó változókként, az m útvonal a referencia útvonal, és az i útvonal hasznossági függvénye az m referencia útvonalhoz viszonyítva:

$$U_i^{RS} = ln\left(\frac{P_i^{RS}}{p_m^{RS}}\right) = \beta_{i,0}^{RS} + \sum_{j=1}^{5} \beta_{i,j}^{RS} \cdot x_j \qquad (3)$$

(3)
ahol U_i^{RS} az i útvonal választásának hasznossága az m útvonalhoz képest, $i \neq m, 1 \leq i \leq k, P_i^{RS}$ és p_m^{RS} az i illetve az m útvonal választásának valószínűségei, $\beta_{i,0}^{RS}$ az i útvonal választása hasznossági függvényének állandója, x_j az irányított járműveket jellemző $j - edik$ változó, $\beta_{i,j}^{RS}$pedig az x_j együtthatója az i útvonal esetén.
Legyen $y = \sum_{i=1}^{k-1} exp(U_i^{RS}) = \sum_{i=1}^{k-1}(p_i^{RS}/p_m^{RS})$, ekkor az i útvonal választásának valószínűsége az RS eredet-cél párok között:

$$p_i^{RS} = \frac{e^{U_i^{RS}}}{1+y} \qquad (4)$$

(4)
Az RS eredet-cél párok között az utazási idő megbízhatósága a súlyozott módszerrel számítható, melynek képlete:

$$R^{RS} = \sum_i R_i^{RS} \cdot p_i^{RS} \qquad (5)$$

(5)

Ahol R^{RS} az RS eredet-cél párok között az utazási idő megbízhatósága és R_i^{RS} az RS eredet-cél párok közötti i útvonalon az utazási idő megbízhatósága.

A teljes úthálózaton az utazási idő megbízhatósága az egyes eredet-cél párok közötti utazási idő megbízhatóságokon alapul, és az úthálózati utazási idő megbízhatóságának az úthálózat összes eredet-cél párja közötti utazási idő megbízhatóságok súlyozott átlaga tekinthető. Az úthálózati utazási idő megbízhatóság jelen cikkben megalkotott modellje irányított járműves környezetben a következő:

$$R_{CV} = \sum_R \sum_S \sum_i (R_i^{RS} x p_i^{RS}) \times \left(\frac{q^{RS}}{\sum R \sum S q^{RS}} \right) \tag{6}$$

$$= \sum_R \sum_S \sum_i \left(F_i^{RS}(\Phi_i^{RS}) \times \frac{e^{U_i^{RS}}}{1+y} \right) \times \left(\frac{q^{RS}}{\sum R \sum S q^{RS}} \right) \tag{7}$$

(6)

ahol R_{CV} az úthálózati utazási idő megbízhatóság, q^{RS} az RS eredet-cél párok közötti forgalom (egységjármű/óra), $F_i^{RS}(\cdot)$ az RS eredet-cél párok közötti i útvonal utazási idő eloszlási függvénye és Φ_i^{RS} az utazási időhatár az RS eredet-cél párok közötti i útvonalon.

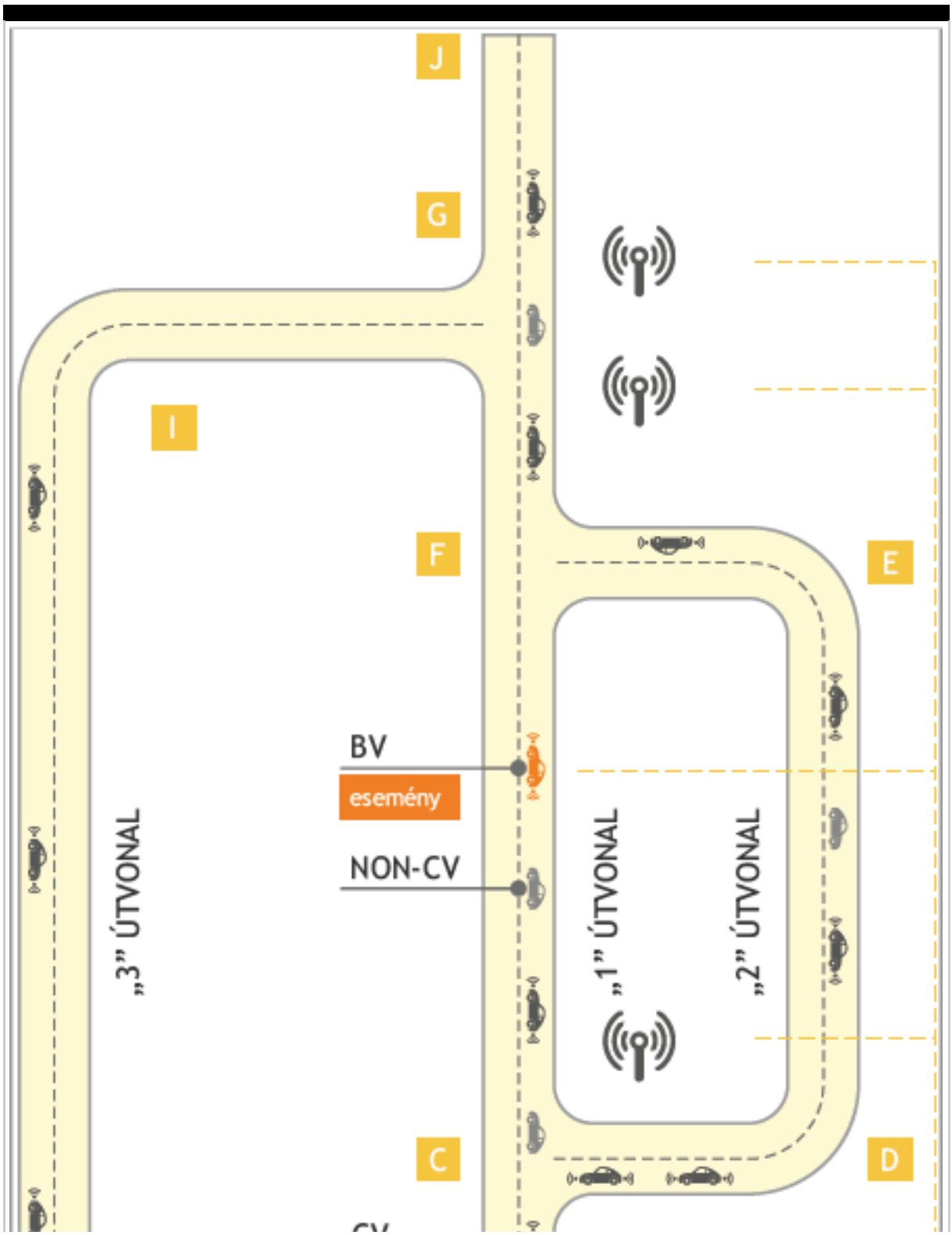
4. Szimulációs szcenárió

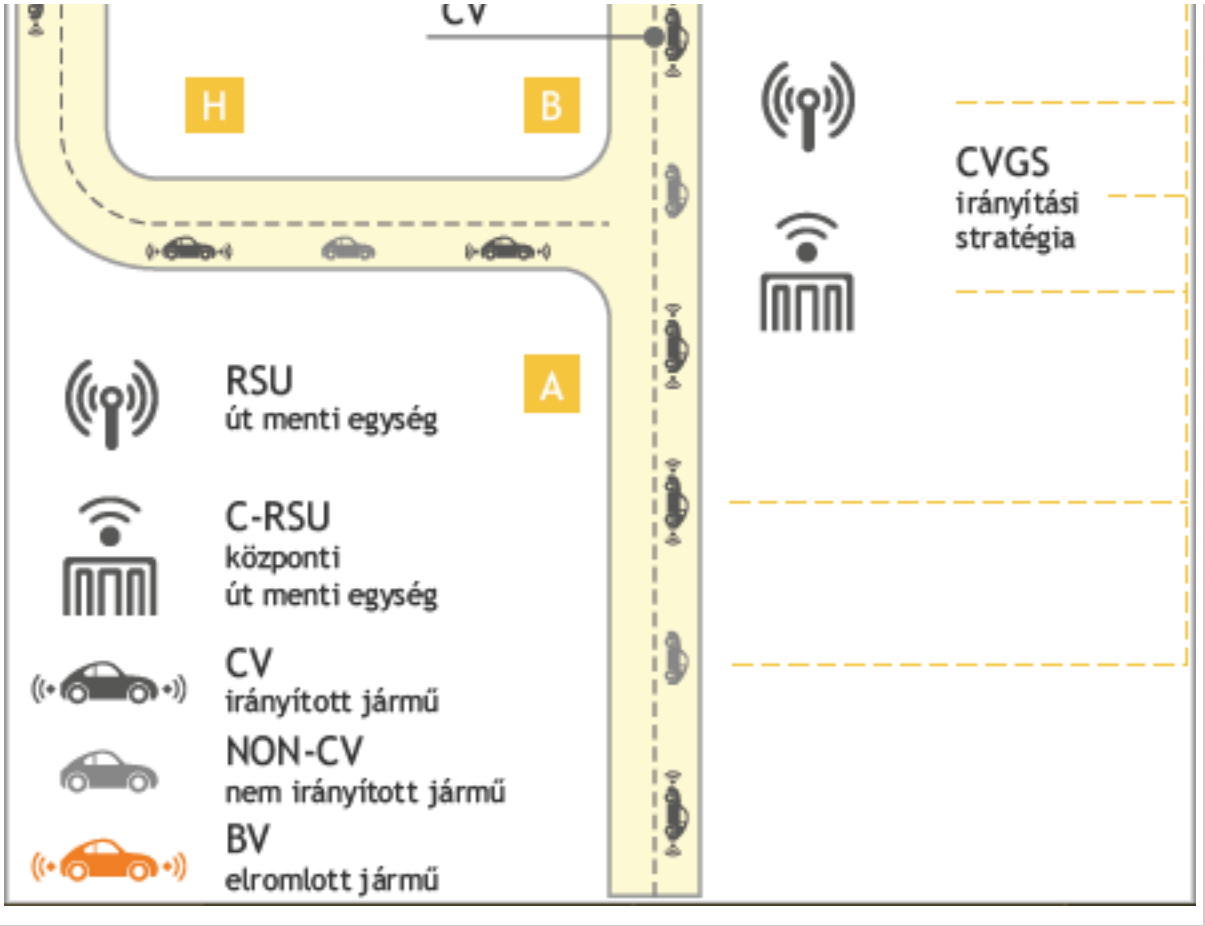
4.1. Kísérleti színhely

Az utazási idő megbízhatóság modell értékelése egy három útvonalat tartalmazó egyszerű úthálózaton történt, mint kísérleti színhelyen, mely a 3. ábrán látható. Az inicializálási szakaszban az úthálózaton irányítási eszközzel felszerelt járműveket és irányítási eszköz nélküli járműveket generálnak. Egy jármű-szervező egység szabályozza a járművek viselkedését a forgalomban, például a járműkövetést és a sávváltást, melynek programozását az EstiNet eszközzel végezték. Egy út menti egység (roadside unit, RSU) a csomópontokban gyűjti a belépő járművek számát, és azt valós időben továbbítja egy központi út menti egységnek (central-roadside unit, C-RSU). A központi út menti egység felelőssége a csomóponti forgalomnagyságok ismeretében a legrövidebb útvonal kiszámítása a Bureau of Public Roads (az USA Központi Útügyi Hivatala) ellenállás függvényének alkalmazásával.

A forgalmi torlódás szimulációja érdekében egy elromlott jármű kerül az „1” útvonalra. A szimulációs szakaszban minden jármű, az irányítási eszközzel felszerelt és az irányítási eszköz nélküli járművek egyaránt a legrövidebb útvonalat választják a valós

idejű forgalmi információtól függően, melyet a járművek közötti valamint a jármű és az út infrastruktúra közötti kommunikáció közvetít. A szimuláció kezdetekor az elromlott jármű információt küld állapotáról a központi út menti egységnek. A központi út menti egység közben folyamatosan adja az irányítási információt az összes jármű számára. Az irányítási eszközzel felszerelt járművek az irányítási információ alapján választják a legrövidebb útvonalat, míg az irányítási eszköz nélküli járművek útvonalválasztása egyedi döntésükön alapul. Előfordulhat, hogy egy irányítási eszköz nélküli jármű az elöl haladó járművet követve választja meg az útvonalát a követési aránytól függően.



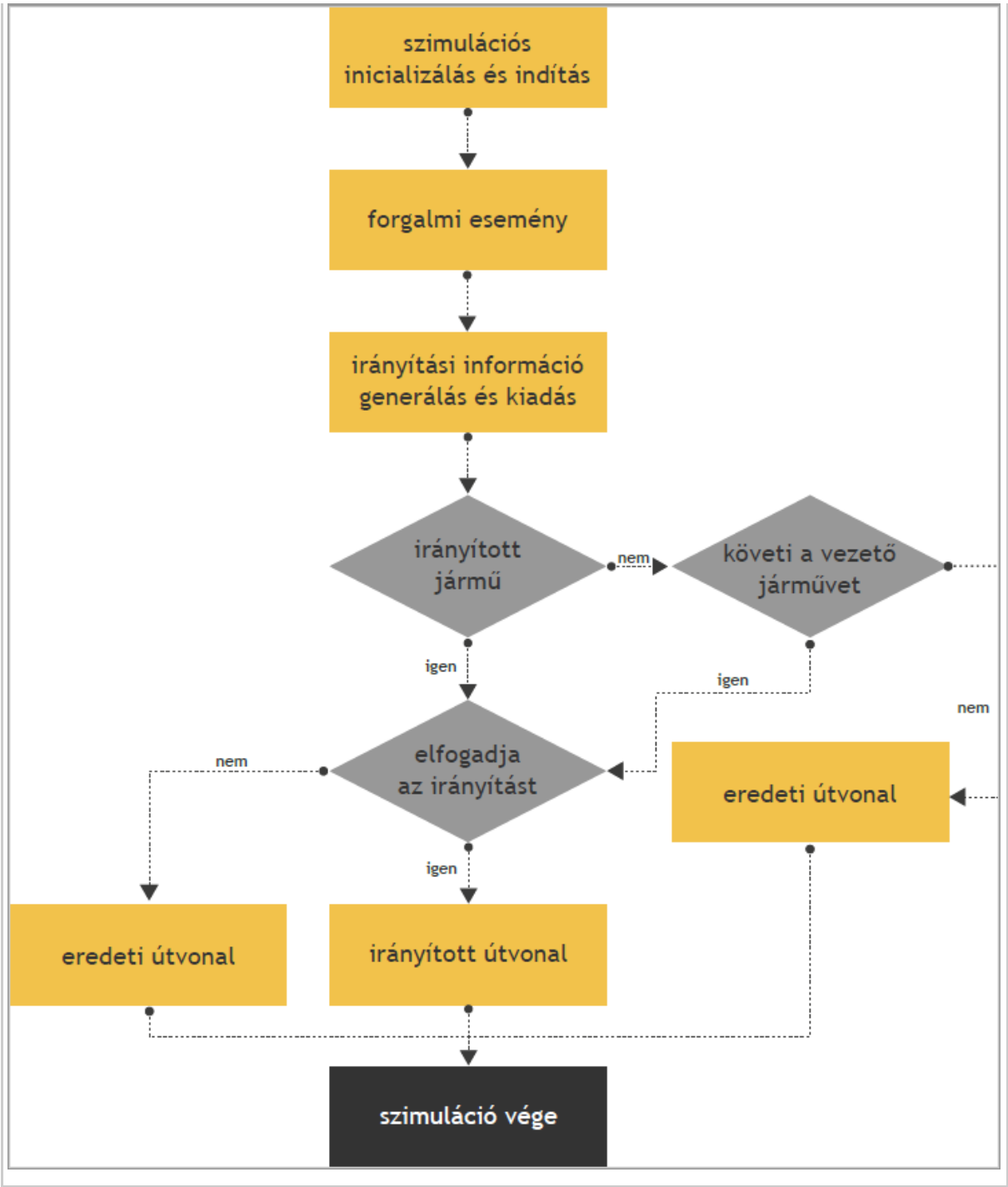


3. ábra
Az úthálózat szerkezete.

A három útvonal fő jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.
A javasolt irányított járműves környezet szcenárióban egy irányítási stratégiát terveztek meg, melynek folyamatábráját a 4. ábra mutatja.

Útvonal száma	Útvonal csomópontok	Keresztezett csomópontok	Hossz	Sávok száma	Sávszélesség
1	A-B-C-M-F-G-J	B, C, F, G	15.74 km	2	3.5 m
2	A-B-C-D-E-F-G-J	B, C, F, G	15.94 km	2	3.5 m
3	A-B-H-I-G-J	B, G	16.14 km	2	3.5 m

1. táblázat
Paraméter beállítások.



4. ábra

A forgalomirányítási stratégia folyamatábrája.

A szimuláció elején minden jármű, az irányítási eszközzel felszerelt és az irányítási eszköz nélküli járművek egyaránt, a számára megfelelő legrövidebb útvonalon halad. Amikor az esemény bekövetkezik az „1” útvonalon, a központi út menti egység újraszámolja a legrövidebb útvonalakat a Bureau of Public Roads ellenállás függvényének alkalmazásával, és minden jármű részére elküldi az irányítási információt. Mind az irányítási eszköz nélküli, mind az irányítási eszközzel felszerelt járművek újratervezik az útvonalukat a jellemző változók, mint az elfogadási arány és a követési arány értékétől függően.

4.2. Kísérleti terv

A torlódási szint (CL), a részvételi arány (PR), az elfogadási arány (CR), a követési arány (FR) és a kiadás késési idő (DT) a kiválasztott befolyásoló változók a kísérleti tervezésben. Minden útvonalon az utazási időt a szimulációs folyamat határozza meg. Az irányított járművek jellemzői és az egyéb paraméter beállítások a 2. táblázatban találhatók.

Paraméter	Érték
Szimuláció ideje (mp)	1800
Legnagyobb sebesség (m/s)	18
Gyorsulás (m/s2)	−4~1
Torlódási szint CL (s)	300 / 500
Részvételi arány PR (%)	0 / 25 / 50 / 75 / 100
Elfogadási arány CR (%)	25 / 50 / 75 / 100
Követési arány FR (%)	0 / 10 / 20 / 30
Kiadás késési idő DT (mp)	0 / 120 / 180
Tesztjárművek száma	100
Antenna magasság (m)	1.5
Épületek átlagos magassága (m)	10
Épületek átlagos távolsága (m)	80
Kommunikációs protokoll	802.11p
Jelerősség csökkenés (dbm)	5
Frekvencia (GHz)	10
Kommunikációs távolság (m)	1000
Jel interferencia tartomány (m)	550

2. táblázat
Irányított járműveket jellemző változók és paraméter beállítások.

A különböző kísérleti szcenáriók érdekében az irányított járműveket jellemző öt változó különböző értékeket kapott. Amikor a részvételi arány 0, akkor 24 szcenárió lehetséges (2CL × 1PR × 4CR × 1FR × 3DT = 24). A részvételi arány 0-tól eltérő értékeivel 288 lehetséges szcenárió kapható (2CL × 3PR × 4CR × 4FR × 3DT = 288). Minden lehetséges kísérleti szcenárióra elvégezték a szimulációt, és ezek

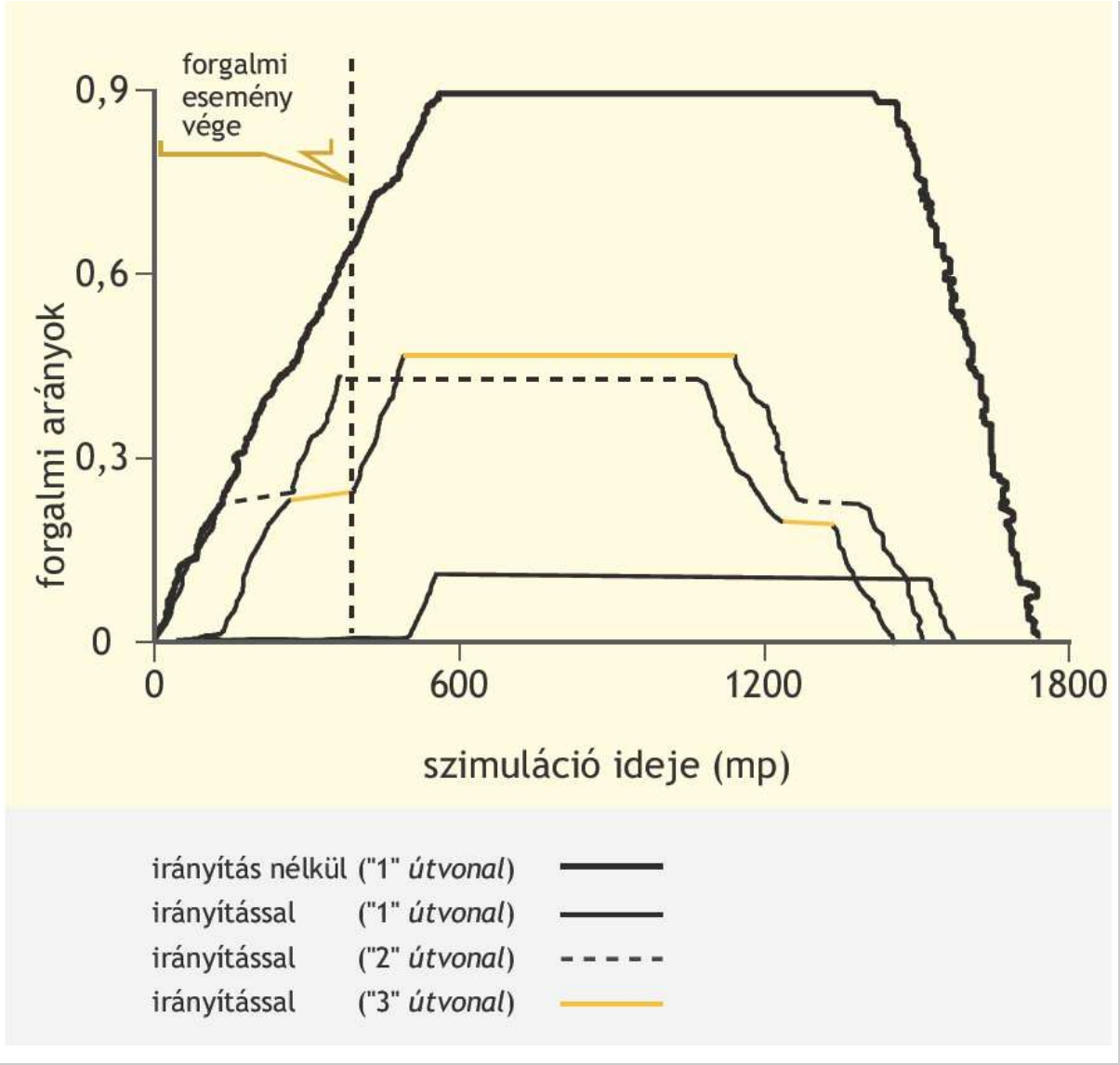
közül 200 kísérleti szcenário adatait a modell kalibrálására használtak fel. A fennmaradó 112 kísérleti szcenáriót használták fel az útvonal előrebecslésre.

5. Az eredmények elemzése

5.1. Paraméter kalibrálás

A modell kalibrálása előtt megvizsgálták az irányítási stratégia hatékonyságát. Az irányított járműves környezet szcenário fogalmi jellemzői a következő értékeket kapták: CL = 500 mp, PR = 100%, CR = 100%, FR = 0 és DT = 120 mp. A forgalmi arányokat az egyes útvonalakon az 5. ábra szemlélteti.

Az 5. ábrán látható, hogy a járművek kezdetben a legrövidebb „1” útvonalat választják. Amikor egy elromlott jármű jelenik meg az „1” útvonalon, ott torlódás alakul ki, amely megnöveli az „1” útvonal ellenállását. A torlódási információ valós időben eljut az érkező járművekhez a járművek közötti valamint a jármű és az út infrastruktúra közötti kommunikáció által. A központi út menti egység újratervezi az útvonalakat a három útvonal ellenállásainak összevetésével, az irányítási információ figyelembe vételével. A járművek így a „2” vagy a „3” útvonalat fogják választani. A forgalomnagyságok megoszlása az irányított járműves környezetben a „2” és „3” útvonalakon fokozatosan kiegyensúlyozódik a két útvonal ellenállásainak megfelelően.



5. ábra
Az úthálózat forgalmi körülményei.

A kalibrációs mintákat felhasználva és referencia útvonalként a „3” útvonalat kiválasztva a kalibrált eredmények a következők:

$$U_1^{RS} = ln\left(\frac{p_1^{RS}}{p_3^{RS}}\right) \tag{8}$$

$$= 7,600 - 0,002CL - 3,14PR - 3,491CR - 3,739FR + 0,003DT \tag{9}$$

$$U_2^{RS} = ln\left(\frac{p_2^{RS}}{p_3^{RS}}\right) \tag{10}$$

$$= 4,089 - 0,002CL - 1,534PR - 1,483CR - 1,860FR + 0,001DT \quad (11)$$

(87)

Az útvonalválasztó modellnek megfelelően az egyes útvonalak választási valószínűsége a következő módon adható meg:

$$p_1^{RS} = \frac{e^{U_1^R S}}{1 + e^{U_1^{RS}} + e^{U_2^{FS}}} \quad (12)$$

$$p_2^{RS} = \frac{e^{U_2^R S}}{1 + e^{U_1^{RS}} + e^{U_2^{FS}}} \quad (13)$$

$$p_3^{RS} = \frac{1}{1 + e^{U_1^{RS}} + e^{U_2^{FS}}} \quad (14)$$

(8)

ahol p_1^{RS}, p_2^{RS} és p_3^{RS}az „1”, a „2” és a „3” útvonal választásának valószínűsége a szimulációban.

A kalibrált útvonalválasztó modell alapján az egyes útvonalak választásának valószínűsége rendelkezésre áll, és a kísérleti adatoknak megfelelően az úthálózati utazási idő megbízhatóság meghatározható.

$$R_{CV} = \sum_{i=1}^{3} R_i^{RS} \times p_i^{RS} \quad (15)$$

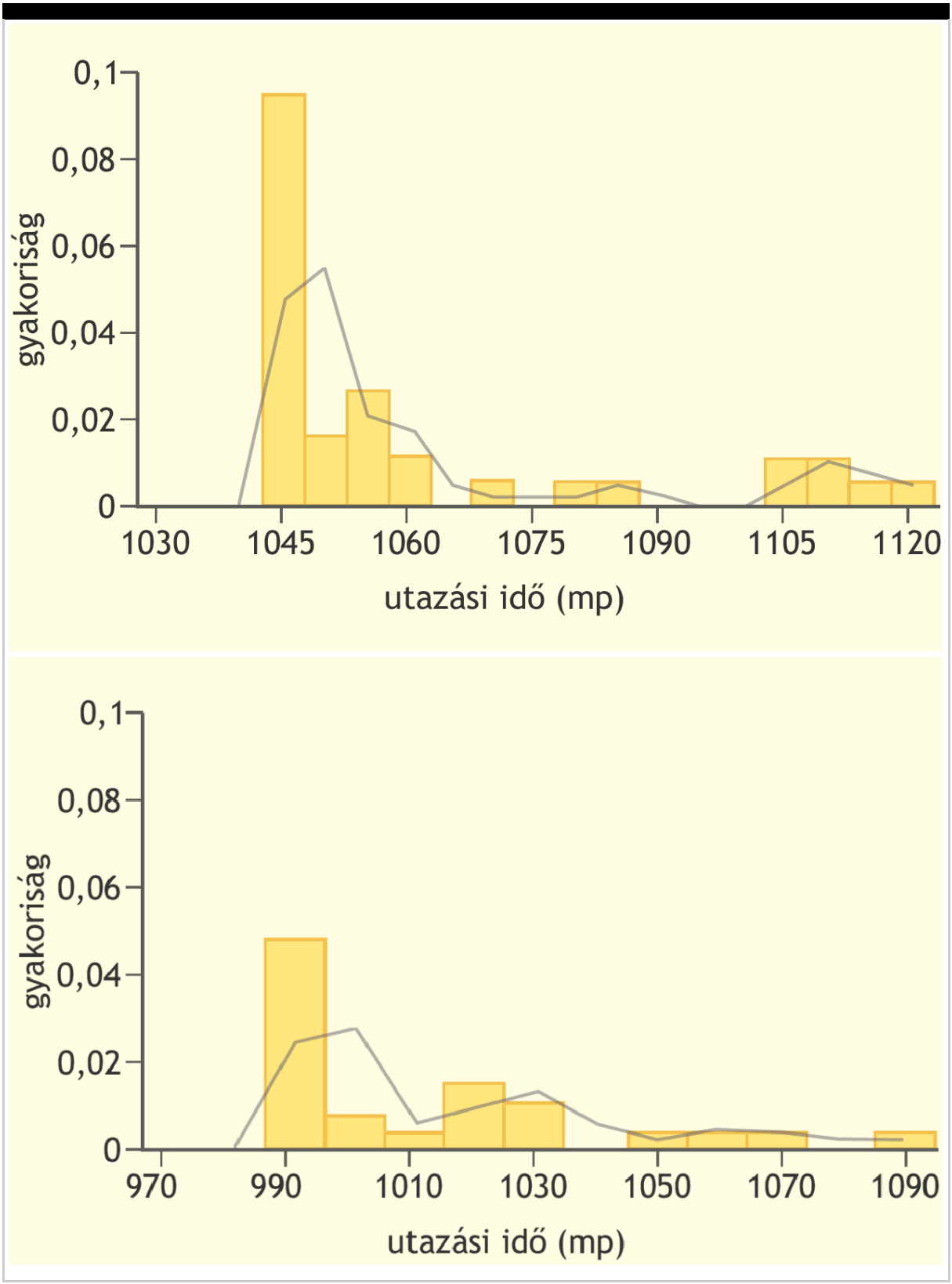
(9)

ahol R_{CV} az úthálózati utazási idő megbízhatóság előrebecsült értéke és R_1^{RS} az i-edik útvonal utazási idő megbízhatósága, i = 1, 2, 3.

5.2. Modell előrebecslési pontosság

Az úthálózati utazási idő megbízhatóság számításához először meg kell határozni az egyes útvonalakon az úthálózati utazási idő megbízhatóságát. Az (1) képlet segítségével az egyes útvonalak utazási idő megbízhatósága számítható az utazási idő eloszlás ismeretében. Ezért az egyes útvonalakon a járművek utazási idejének eloszlását elemezték a következő 6. ábra szerint.

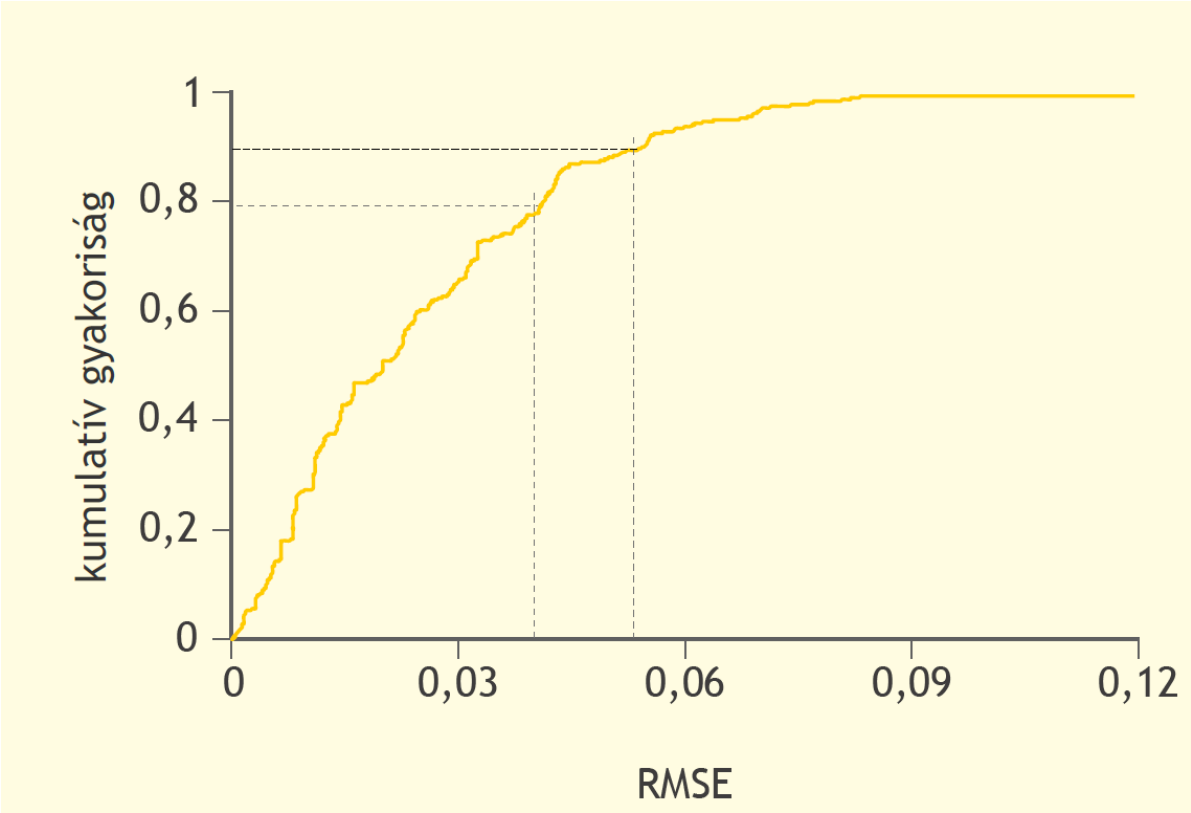
A 6 (a) és a 6 (b) ábrák mutatják a „2” és a „3” útvonalon a járművek utazási idejének eloszlását a szimuláció folyamán. Az egyes útvonalak utazási idő megbízhatósága az (1) és (2) képletekkel számítható, majd az úthálózati utazási idő megbízhatóság meghatározható a (8) és (9) képletek segítségével. Ezen a módon az utazási idő megbízhatóságának előrebecslési pontossága megállapítható.



6. ábra

A járművek utazási idő eloszlása. (a)”2" útvonal (b) “3” útvonal

A négyzetes középhiba (root mean square error, RMSE) kumulatív valószínűség eloszlási görbéje a 7. ábrán látható.



7. ábra
A négyzetes középhiba kumulatív valószínűség eloszlási görbéje.

Az eredmények szerint a négyzetes középhiba 80%-a a 0 és 0,0412 közötti tartományba esik. Levonható tehát az a következtetés, mely szerint a javasolt utazási idő megbízhatóság modell jó előrebecslő képességgel rendelkezik, és leírja az úthálózati utazási idő megbízhatóságot egy irányított járműves környezetben.

5.3. Az utazási idő megbízhatóság érzékenységvizsgálata.

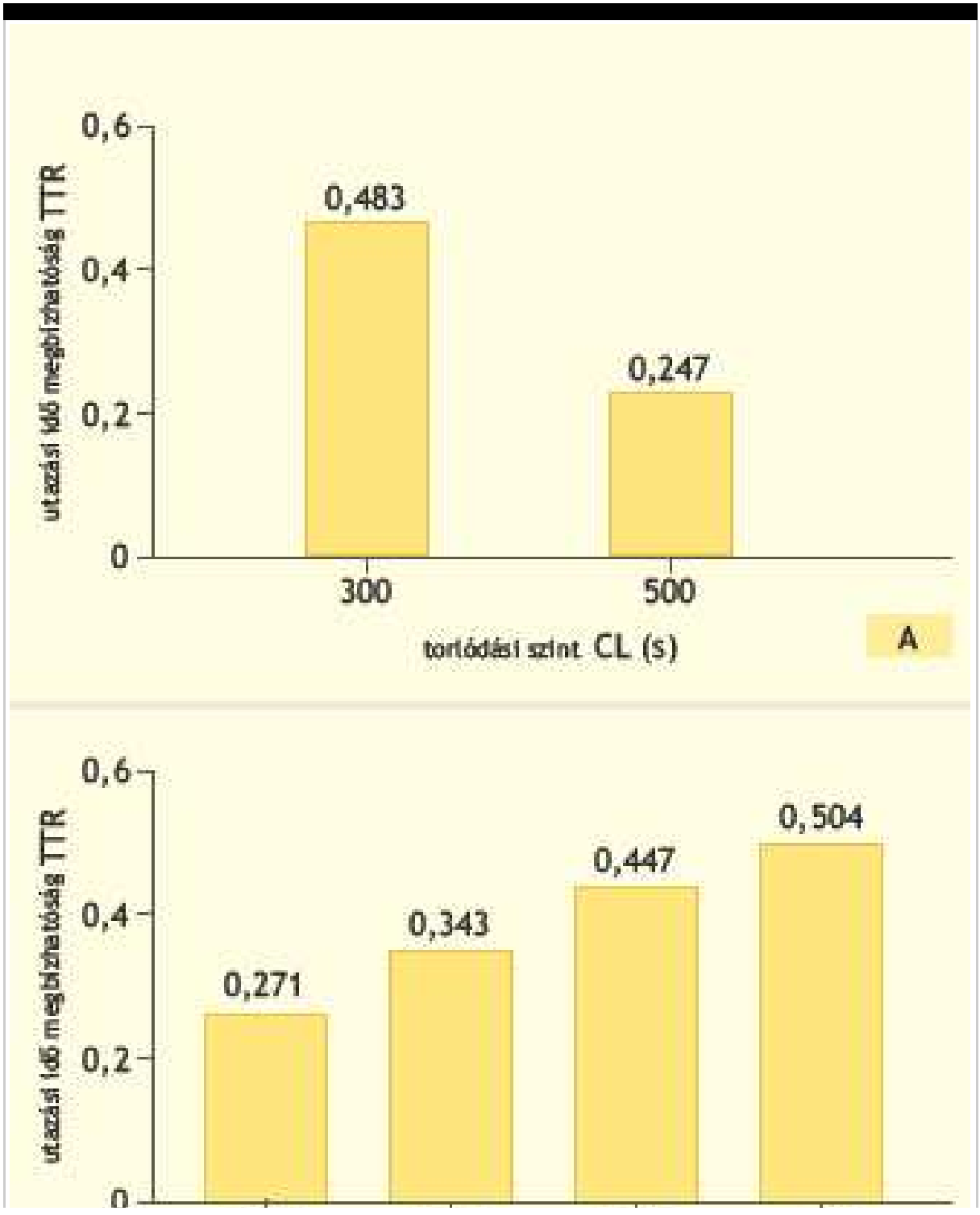
A 312 kísérleti adatkészlet segítségével korreláció-elemzést végeztek, melynek eredményét a 3. táblázat tartalmazza.

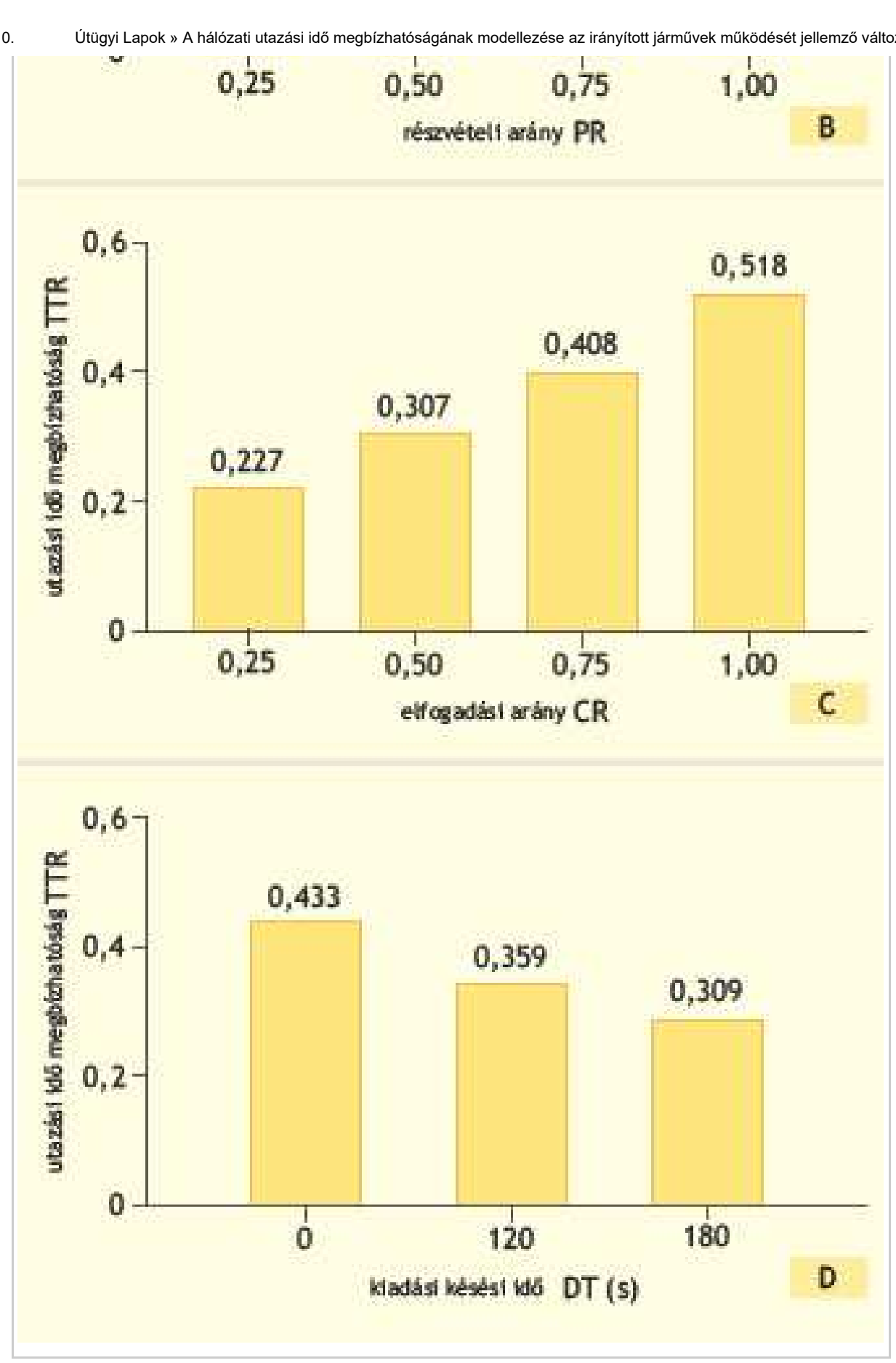
Tényező	Szabadság-fok Csoportok között	Szabadság-fok Csoporton belül	Négyzetes átlag Csoportok között	Négyzetes átlag Csoporton belül	*F*	Szignifikancia szint
CL	1	310	4.320	0.027	157.407	0.000
PR	3	308	0.669	0.035	19.029	0.000
CR	3	308	1.238	0.030	41.846	0.000
FR	3	308	0.117	0.041	2.879	0.036

DT	2	309	0.449	0.039	11.638	0.000

3. táblázat
A korreláció elemzés eredménye.

Amint az a 3. táblázatból látható, a torlódási szint (CL), a részvételi arány (PR), az elfogadási arány (CR) és a kiadás késési idő (DT) gyakorolt szignifikáns hatást az utazási idő megbízhatóságra 0,01 szignifikancia szinten. Az említett négy tényező utazási idő megbízhatóságra gyakorolt hatásának részleteit tisztázandó egy érzékenységvizsgálatot végeztek, melynek eredményét a 8. ábra szemlélteti.





8. ábra

A négy jellemző változó hatása az utazási idő megbízhatóságára (TTR).

A 8 (a) ábra bemutatja, hogy a magasabb torlódási szinthez alacsonyabb utazási idő megbízhatóság tartozik, ami megfelel az általános szemléletnek. Amikor a torlódási szint igen kedvezőtlen, az utazási idő megbízhatóság még irányított járművek esetén is csökken. A 8 (b) ábra szerint az utazási idő megbízhatóság növekszik, ha a részvételi arány emelkedik. Ennek oka az, hogy több jármű jut hozzá az irányítási információhoz, következőleg több jármű választja az alternatív útvonalakat. A részvételi arány 0-ról 100%-ra emelkedésével az utazási idő megbízhatósága 20,03%-tól 134,04%-ig terjedően javulhat az irányítási információ használata esetén. A 8 (c) ábrán látható, hogy az elfogadási arány utazási idő megbízhatóságra gyakorolt hatása hasonló a részvételi arányéhoz. Az utazási idő megbízhatóság fokozatosan növekszik, ahogyan az elfogadási arány egyre nagyobb lesz, de a növekedés trendje lassuló. Ennek oka az, hogy az elfogadási arány növekedésével egyre több jármű fogadja el az irányítási információt, melynek következtében egyre több jármű választja a kisebb ellenállású útvonalat. Amikor az elfogadási arány 25%-ról 100%-ra emelkedik, az utazási idő megbízhatósága 11,08%-tól 135,31%-ig terjedően javul. Végül a 8 (d) ábra alapján elmondható, hogy a kiadás késési idő növekedése az utazási idő megbízhatóság fokozatos csökkenését eredményezi. Ennek oka pedig az, hogy minél nagyobb az irányítási információ átadásban a késés, annál kevesebb jármű képes időben útvonalat változtatni, amely tény kihat az utazási idő megbízhatóságára.

6. Következtetések

A cikk egy irányított járműves környezetben működő utazási idő megbízhatóság modell fejlesztését mutatja be, elemezve a javasolt modell előrebecslési pontosságát, valamint a modell és az irányított járművek működését jellemző öt kiválasztott változó korrelációját. Az eredmények szerint a modell előrebecslési pontossága jó, és néhány, a hatásokra vonatkozó megállapítás összegezhető. (1) Az öt jellemző változó közül a torlódási szint, a részvételi arány, az elfogadási arány és a kiadás késési idő hatása az utazási idő megbízhatóságára egyaránt szignifikáns. (2) A részvételi arány és az elfogadási arány pozitív hatást gyakorol az utazási idő megbízhatóságára, és e változók növekedése átlagosan 77,03% illetve 73,20% átlagos javulást eredményezett. (3) A torlódási szint és a kiadás késési idő az utazási idő megbízhatóságára negatív hatással bír, ahol a kiadás késési idő 0-ről 180 mp-re növekedése az utazási idő megbízhatóságát 31,21%-kal csökkentette.

A cikk korlátai közé tartozik, hogy csak öt jellemző változót vizsgáltak. A jövőbeni kutatások során több jellemző változó kiválasztása indokolt annak érdekében, hogy feltárják a jellemző változók hatását az úthálózati utazási idő megbízhatóságra. A szimulációk kiterjesztése célszerű, további részletes összehasonlítások elérésére.

7. Érdekütközés

A szerzők kijelentik, hogy jelen cikk publikálása semmiféle érdekbe nem ütközik.

8. Köszönetnyilvánítás

A munkát pénzügyileg támogatta a National Natural Science Foundation of China (Grant nos. 61473028, 71621001), a Beijing Municipal Natural Science Foundation (Grant no. 8162031), és a National High Technology Research and Development Program of China (“863” Program, Grant no. 2015AA124103).

9. Hivatkozások

[1] J. Ma, X. Li, F. Zhou, J. Hu, and B. B. Park, “Parsimonious shooting heuristic for trajectory design of connected automated traffic part II: computational issues and optimization,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 95, pp. 421–441, 2017.

[2] F. Zhou, X. Li, and J. Ma, “Parsimonious shooting heuristic for trajectory design of connected automated traffic part I: theoretical analysis with generalized time geography,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 95, pp. 394–420, 2017.

[3] L. Du, L. Han, and S. Chen, “Coordinated online in-vehicle routing balancing user optimality and system optimality through information perturbation,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 79, pp. 121–133, 2015.

[4] Y. Asakura and M. Kashiwadani, “Road network reliability caused by daily fluctuation of traffic flow,” in Proceedings of the 19th PTRC Summer Annual Meeting, University of Sussex, Brighton, UK, 1991.

[5] A. Tavassoli Hojati, L. Ferreira, S. Washington, P. Charles, and A. Shobeirinejad, “Modelling the impact of traffic incidents on travel time reliability,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 65, pp. 49–60, 2016.

[6] J. Q. Leng, Travel Time Reliability of Urban Road Network under Ice and Snowfall Conditions, Harbin Institute of Technology, 2010.

[7] L. Wu, X.-H. Li, J. Wang, and Z.-B. Liu, “Reliability evaluation on travel time in freeway network under fog environment influence,” Journal of PLA University of Science and Technology, vol. 11, no. 2, pp. 233–238, 2010.

[8] J. Wang, J. He, and L. Wu, “Evaluating approach of travel time reliability for highway network under rain environment,” Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, vol. 11, no. 6, pp. 117–123, 2011.

[9] J. Lee and B. Park, “Evaluation of route guidance strategies based on vehicle-infrastructure integration under incident conditions,” Transportation Research Record,

no. 2086, pp. 107–114, 2008.

[10] X. Ma, Y.-J. Wu, and Y. Wang, “DRIVE net: E-science transportation platform for data sharing, visualization, modeling, and analysis,” Transportation Research Record, no. 2215, pp. 37–49, 2011.

[11] X. L. Ma, Z.M. Tao, Y. H. Wang, H. Y. Yu, and Y. P. Wang, “Long short-term memory neural network for traffic speed prediction using remote microwave sensor data,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 54, no. 1, pp. 187–197, 2015.

[12] S. Wang and X. Qu, “Station choice for Australian commuter rail lines: equilibrium and optimal fare design,” European Journal of Operational Research, vol. 258, no. 1, pp. 144–154, 2017.

[13] Y. Iida, “Basic concepts and future directions of road network reliability analysis,” Journal of Advanced Transportation, vol. 33, no. 2, pp. 125–134, 1999.

[14] H. X. Liu, L. Bu and Y. Pu, “Travel time reliability on stochastic road network,” China Civil Engineering Journal, vol. 37,no. 8, pp. 102–105, 2004.

[15] J. Y. T. Wang, M. Ehrgott, and A. Chen, “A bi-objective user equilibrium model of travel time reliability in a road network,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 66, pp. 4–15, 2014.

[16] Y. L. Pei and C. Y. Gai, “Study on operation reliability of highway network,” Journal of. Highway and Transportation Research and Development, vol. 22, no. 5, pp. 119–123, 2005.

[17] J. S. Chang, “Assessing travel time reliability in transport appraisal,” Journal of Transport Geography, vol. 18, no. 3, pp. 419–425, 2010.

[18] H. Tu, H. Li, H. van Lint, and H. van Zuylen, “Modeling travel time reliability of freeways using risk assessment techniques,” Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 46, no. 10, pp. 1528–1540, 2012.

[19] K. Chen, Models and Algorithms for Travel Time Reliability Assessment of Urban Road Networks Based-on Moving Source Data, Jiaotong University, Beijing, China, 2008.

[20] M. Bell, C. Cassir, Y. Iida et al., “A sensitivity based approach to network reliability assessment,” in Proceedings of the 14th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 1999.

[21] X. Qu, S. Wang, and J. Zhang, “On the fundamental diagram for freeway traffic: a novel calibration approach for single-regime models,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 73, pp. 91–102, 2015.

[22] X. Qu and S. Wang, “Long-distance-commuter (LDC) lane: a new concept for freeway traffic management,” Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering,

vol. 30, no. 10, pp. 815–823, 2015.

[23] X. Qu, Y. Yang, Z. Liu, S. Jin, and J. Weng, “Potential crash risks of expressway on-ramps and off-ramps: a case study in Beijing, China,” Safety Science, vol. 70, pp. 58–62, 2014.

[24] Y. Asakura, “Reliability measures of an origin and destination pair in a deteriorated road network with variable flows: transportation networks: recent methodological advances,” in Proceedings of the 4th Meeting of the EURO Working Group in Transportation, pp. 273–287, Pergamon Press, Helsinki, Finland, 1999.

[25] F. Yang, M. P. Yun, and X. G. Yang, “Single lane microscopic traffic flow model based on multi-agent in CVIS circumstance,” Journal of Tongji University (Natural science), vol. 40, no. 8, pp. 1189–1196, 2012.

[26] H. Noori and M. Valkama, “Impact of VANET-based V2X communication using IEEE 802.11p on reducing vehicles traveling time in realistic large scale urban area,” in Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE ’13), pp. 654–661, December 2013.

[27] S. Nie, Simulation on the Interaction Relationship between Information Flow and Traffic Flow in the Inter-Vehicle Communication Scenario, Beijing Jiaotong University, 2013.

[28] E. Paikari, S. Tahmasseby, and B. Far, “A simulation-based benefit analysis of deploying connected vehicles using dedicated short range communication,” in Proceedings of the 25th IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV ’14), pp. 980–985, Dearborn, Mich, USA, June 2014.

[29] M.W. Ng, W. Y. Szeto, and S. Travis Waller, “Distribution-free travel time reliability assessment with probability inequalities,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 45, no. 6, pp. 852–866, 2011.

[30] M. Zhou, X. Qu, and S. Jin, “On the impact of cooperative autonomous vehicles in improving freeway merging: a modified intelligent driver model-based approach,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 99, pp. 1–7, 2016.

Adatok

Megjelent itt

10. szám

2017. ősz

Szerző

Jiangfeng Wang
MOE Key Laboratory for Transportation Complex Systems Theory and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China. E-mail: wangjiangfeng@bjtu.edu.cn

Chao Wang

Jiarun Lv

Zhiqi Zhang

Cuicui Li

Témakörök
Közlekedésbiztonság • Városi közlekedés

Kulcsszavak
utazási idő megbízhatósága; irányított járművek; úthálózati hatékonyság

Befogadva
2017. december 3.

Hozzászólás

Hozzászólás

* Név

* E-mail cím

Honlap

Hozzászólás elküldése

Bejegyzések

Galéria

Impresszum

Interjúk

Könyvajánló

Nemzetközi szemle

Szakolvasó

Témakörök

© Copyright Útügyi Lapok 2019 • *Minden jog fenntartva.*

Az Útügyi Lapok félévente elektronikus formában megjelenő, online szabadon elérhető kiadvány, erre tekintettel jelenleg nem előfizethető. Alkalmanként azonban papíralapon is megjelenik, amennyiben szeretne a papír alapú megjelenésről értesítést illetve példányt kapni, kérjük érdeklődési szándékát az alábbi címen jelezze: utugyilapok@makadam.hu. *A lapban megjelent cikkek a szerzőik személyes véleményét fejezik ki és nem feltétlenül egyeznek meg a szerkesztők véleményével illetve ismereteivel.*