

LXXII. ÉVFOLYAM 1. SZÁM
2022. FEBRUÁR

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE



A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA
ALAPÍTVÁ 1951-BEN

HealthBuddy+
az online Covid19 szakértő.

**Mi is ezt ajánljuk!
Tájékozódj hiteles
forrásból!**

Dr. Vájer Péter
házi orvos

Prof. Dr. Széll Márta
kutató

Dr. Palcsó Barnabás
gyógyterapeuta

Vankó Annamária
védőnő

Available on the
App Store

GET IT ON
Google Play

**Töltsd le most
az applikációt!**

KATB
HUNGARIAN GOVERNMENT
EUROPEAN COMMISSION
EUROPEAN UNION
World Health Organization
Europe



INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM

DR. MOSÓCZI LÁSZLÓ
KÖZLEKEDÉSPOLITIKÁÉRT FELELŐS ÁLLAMTITKÁR

Iktatószám: [KSZFO/122610-2/2021-ITM](#)

Dr. Fónagy János úr részére
elnök

Közlekedéstudományi Egyesület

Budapest,
Teréz körút 38.
1066

Tárgy: tájékoztatás a HealthBuddy+ applikációt népszerűsítő plakát közösségi közlekedési eszközökön és utasforgalmi létesítményekben történő kihelyezésével kapcsolatban

Tisztelt Elnök Úr!

A tárgyban Prof. Dr. Palkovics László miniszter úr részére írt levelét köszönettel megkaptam, melyre illetékességből az alábbi választ adom:

Köszönettel vettem a koronavírus humán világjárvány megfékezése érdekében tett erőfeszítéseiket, a WHO Magyarországi Irodája által kezdeményezett HealthBuddy+ nevű alkalmazást népszerűsítő programban történő részvételüket.

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium elkötelezett a koronavírus humán világjárvány megfékezése mellett és támogat minden erre vonatkozó, egészségmegőrző kezdeményezést.

A levélben bemutatott, a lakosság széles köre számára naprakész és hiteles információkat biztosító HealthBuddy+ nevű applikációt népszerűsítő plakátok közösségi közlekedési eszközökön és utasforgalmi létesítményekben történő kihelyezését támogatom, egyben hozzájárulok az ITM logójának plakáton történő megjelenítéséhez.

Figyelemmel a járvány elhúzódó jellegére, bízom a program által fontos népegészségügyi üzenetet eljuttató kampány sikerességében, és abban, hogy a közösségi közlekedési vállalatok széles köre csatlakozik majd a kezdeményezéshez.

Budapest, 2021. november 23.

Üdvözlettel:


Dr. Mosóczi László



TARTALOM

Lévai Zsolt – Albert Gábor

Vasúti infrastruktúra beruházások tervezése
a kritikus infrastruktúra védelem szempont-
jainak figyelembevételével 5

Gressai Mánuel - Tettamanti Tamás

Varga István

Körforgalmak honnan-hová forgalmainak
becslése állapottér-elméleti módszerekkel 20

Herceg András – Tóth Csaba

Primusz Péter – Kalicz Péter

Gribovszki Zoltán

Hazai bitumenek viselkedési fokozatának
meghatározása egy soproni tesztparcella
meteorológiai adatai alapján 32

Dr. Simon István

A légitársaság üzemi eredménye és
a fő teljesítménymutatók 48

Lévai Emese – Ficzer Péter

Additív gyártási technológia alkalmazása
a hajózásban 58

Melléklet

Közlekedésbiztonság -

Közlekedési környezetvédelem

Ing. Richard Lisický

A közúti közlekedés biztonságának optimali-
zálása Eye Tracker technológiával 65

Tisztelt Előfizető! Tisztelt Olvasó!

A Közlekedéstudományi Szemle nem csak nyomtatott, ha-
nem digitális változatban olvasható. Digitális változat meg-
rendelése csak egyéni előfizetőknek lehetséges a Közlekedés-
tudományi Szemle szerkesztőségénél (szemle@ktenet.hu).
A nyomtatott változat 8280 Ft-os előfizetési díjával szemben
a digitális változat előfizetési díja csak 6000 Ft évente, KTE
egyéni tagnak 4140 Ft. A könnyebb elérhetőség és az elő-
fizetők jobb kiszolgálását biztosítandó, egyszerűsítettük az
eddig terjesztési formát. Így a jövőben az aktuális lapszá-
mokat már a nyomtatott változat megjelenés előtt elküldjük
előfizetőink e-mail címére pdf formátumban.

Reméljük, hogy hamarosan üdvözölhetjük Önt is a digitális
előfizetőink között.

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE

A közlekedési szakterület tudományos lapja
VERKEHRSWISSENSCHAFTLICHE RUNDschau
Zeitschrift des Ungarischen Verein für Verkehrswissenschaft
REVUE DE LA SCIENCE DES TRANSPORTS
Revue de la Société Scientifique Hongroise des Transports
SCIENTIFIC REVIEW OF TRANSPORT
Publication of the Hungarian Society for Transport Sciences

Megjelenik kéthavonta
www.ktenet.hu

ALAPÍTOTTA:
a Közlekedéstudományi Egyesület

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG:
Kövesné Dr. Gilicz Éva elnök
Dr. Katona András főszerkesztő
Barlog Károly
Dr. Békési István
Berta Tamás
Bretz Gyula
Horváth Lajos
Mészáros Tibor
Dr. Prileszky István
Somogyi Marcell
Szűcs Lajos
Dr. Tanczos Lászlóné
Dr. Tóth János
Dr. Tóth László

SZERKESZTŐSÉGI TITKÁR:
Ráczné dr. Kovács Ágnes
Tel./Fax: 353-2005, 353-0562
E-mail: szemle@ktenet.hu
DOI szerkesztő: dr. Török Ádám

SZERKESZTŐSÉG:
1066 Budapest, Teréz krt. 38. II. 235.

FELELŐS KIADÓ:
Dr. Tóth János,
a Közlekedéstudományi Egyesület főtítkára

KIADJA:
Közlekedéstudományi Egyesület
1066 Budapest, Teréz krt. 38. II. 235.
www.ktenet.hu

MEGBÍZOTT KIADÓ:
Press GT Kft.
1139 Budapest, Úteg u. 49.
Tel.: 349-6135
E-mail: info@pressgt.hu

NYOMDAI KIVITELEZÉS:
Informax Millenium kft.
Felelős nyomdavezető: Bocskay Endre

TERJESZTŐ:
Magyar Posta Zrt. Központi Hírlap Iroda
Előfizethető a Közlekedéstudományi Egyesületnél
Egy szám ára: 1380 Ft, Éves előfizetés: 8280 Ft
Egyéni KTE tagnak tagdíjjal: 5140 Ft
Nyugdíjas és diák KTE tagnak tagdíjjal 4640 Ft

ISSN 0023 4362

A folyóiratunkban megjelenő cikkek egy év embargót
követően nyíltan hozzáférhető digitális irodalomnak
tekinthetők. A cikkeket a szerkesztőség az EPA-
ban és a REAL-ban online elérhetővé teszi.



A cikkek tartalma nem minden esetben egyezik
a szerkesztőség véleményével.
Kéziratot nem őrzünk meg.

Vasúti infrastruktúra beruházások tervezése a kritikus infrastruktúra védelem szempontjainak figyelembevételével

A nagyértékű vasúti infrastruktúra beruházások élettartama több évtized. Ez idő alatt védenünk kell azokat az olyan hatásoktól, amelyek üzemüket megakadályozhatják. A védelem kialakítását már a létesítmények tervezésekor el kell kezdeni, mert így a biztonsági elemek beépítése kevesebb költséggel és akadályoztatással jár.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.1.1>

Lévai Zsolt¹ – Albert Gábor

szenior kutató vezető kutató

KTi Közlekedéstudományi Intézet

Nonprofit Kft.

¹NKE HHK Katonai Műszaki Doktori Iskola

e-mail: levai.zsolt@kti.hu, albert.gabor@kti.hu

1. BEVEZETÉS

Globalizált világunkban a közlekedésnek kiemelt szerepe van: a mindennapi életben a helyváltoztatások és a szállítási igények kielégítésének eszköze. A közlekedési rendszerek nélkül a világ nem működne, mert ezeket az igényeket más rendszer nem tudja kielégíteni, ezért a közlekedést a globalizáció szükséges feltételének tekinthetjük. Ugyanakkor a világ fejlődése hatással van a közlekedés fejlődésére is, sőt a végbemenő társadalmi-gazdasági fejlődés megköveteli a közlekedés fejlesztését. A közlekedésfejlesztési beruházások szinte minden ember számára hasznosak, így ennek megfelelően kiemelt értéket jelentenek a társadalom számára. A társadalmi hasznosság mellett a gazdaság is profitál a közlekedés fejlesztéséből, ezért az ágazat üzemelése és üzemeltethetősége kiemelt szerepet bír.

A társadalom és a gazdaság működéséhez fontos, hogy a közlekedési infrastruktúra képes legyen az előbb említett szerep betöltésére. Ehhez az kell, hogy az ágazat működőképessége megbízható legyen. Ezt a rendszer kritikus infrastruktúra-elemeinek védelmével lehet elérni. Azokat az infrastruktúra-elemeket (és itt nem csak a közlekedésről van szó), amelyek kiesése, rombolása jelentős emberi, anyagi és társadalmi károkat okoz, kritikus vagy másnéven létfontosságú infrastruktúráknak nevezzük [1]. A közlekedési rendszer fontosabb elemeinek (például nagy forgalmú vasútállomások, repülőterek, nagyfolyami közúti és vasúti hidak, alagutak, stb.) nagyobb sérülései képesek a közlekedési folyamatok megakasztására, így hatásuk a társadalmi folyamatokra jelentős. Ezek az infrastruktúra-elemek nagy értékűek, így a rombolás valóban tekintélyes anyagi kárt okoz, amihez hozzáadódnak a használhatatlanság miatt kiesett közlekedési tevékeny-

ségből származó bevételek (például fuvardíj, pályahasználati díj). Amennyiben a rombolás használat közben történik, a támadással jelentős áldozatszám is jár. Ezért a közlekedési infrastruktúrák egyes elemei joggal sorolhatók a kritikus infrastruktúra-elemek közé.

A közlekedési rendszer fejlesztésével értéket teremtünk, így jogos igényként merül fel annak védelme. A fentiek szerint egy nagyobb volumenű beruházással megvalósuló fejlesztés értéke és fontossága miatt felmerülhet a kérdés, hogy az új elem része lesz-e a kritikus infrastruktúra-hálózatnak és mint ilyennek, hogyan kell gondoskodni a védelméről. Kutatási hipotézisként feltételezzük, – megfelelő vizsgálattal eldönthető –, hogy egy újonnan tervezett vagy felújított infrastruktúra-elem a kritikus infrastruktúra-hálózat részének tekinthető-e és a tervezését ennek megfelelően, a védelmi elemek beépítésével kell-e végezni? Ennek érdekében egy szempontrendszert mutatunk be, amely segítségével a hipotézisben megfogalmazott kérdés eldönthető.

A kritikus infrastruktúrák védelmének kérdéseivel a téma nagysága és jelentősége miatt tudományos kutatóintézetek és kormányzati szervezetek is foglalkoznak. A rendelkezésre álló szakirodalom nagyon bő, melynek feldolgozása során megállapítottuk, hogy a kritikus infrastruktúrák tervezésének kérdéseivel foglalkozó kutatások zömmel a kritikus elemek, illetve az azokat tartalmazó rendszerek védelmére, robusztusságának növelésére összpontosítanak, illetve vizsgálják az ilyen szempontok belső összefüggéseit [2, 3]. Ugyanakkor Horváth A. [4] rámutat a védelem komplex értelmezésének szükségességére.

Egyelőre kevés kutatás foglalkozik a védelmi szint növelésének a funkcionalitásra gyakorolt hatásával. Ebbe a körbe tartozik H. Martin és L. Ludek 2012-es előadása [5], ahol a zavartűrő képességnek egy olyan indikátorát mutatják be, amely figyelembe veszi azt is, hogy mi az ellenálló képesség növelésével együtt járó funkcióvesztés elfogadhatóságának határa. A kidolgozott matematikai modell alkalmazását a Cseh Köztársaság egy kiválasztott térségének kritikus elemein mutatták be.

Magyarországon Horváth Attila a közlekedési rendszer jellemzőinek és katonai célokra igénybe vehetőségének vizsgálatához mutatót be szempontokat [6], ezek azonban értelemszerűen nem foglalkoznak a fejlesztések tervezési kérdéseivel, bár felhívja a figyelmet a polgári és katonai közlekedési szervek, szervezetek együttműködésére irányuló kutatások szükségességére [6, p. 246]. Összefoglaló tanulmányában pedig az ellátási láncok és a kritikus infrastruktúra védelem kapcsolatát vizsgálja [7].

2. A SZÁLLÍTÁSI LÁNCOK ÉS A KRITIKUS INFRASTRUKTÚRA VÉDELEM KAPCSOLATA

A szállítási lánc az ellátási lánc része, összetett, több elemből, azaz különálló logisztikai szolgáltatásokból álló szállítási folyamat, jellemzően az áruszállítás körében értelmezve. Maga az ellátási lánc termelési és logisztikai folyamatok összessége, amelynek feladata a vevői igények kielégítésére alkalmas termékek vagy szolgáltatások előállítása [8].

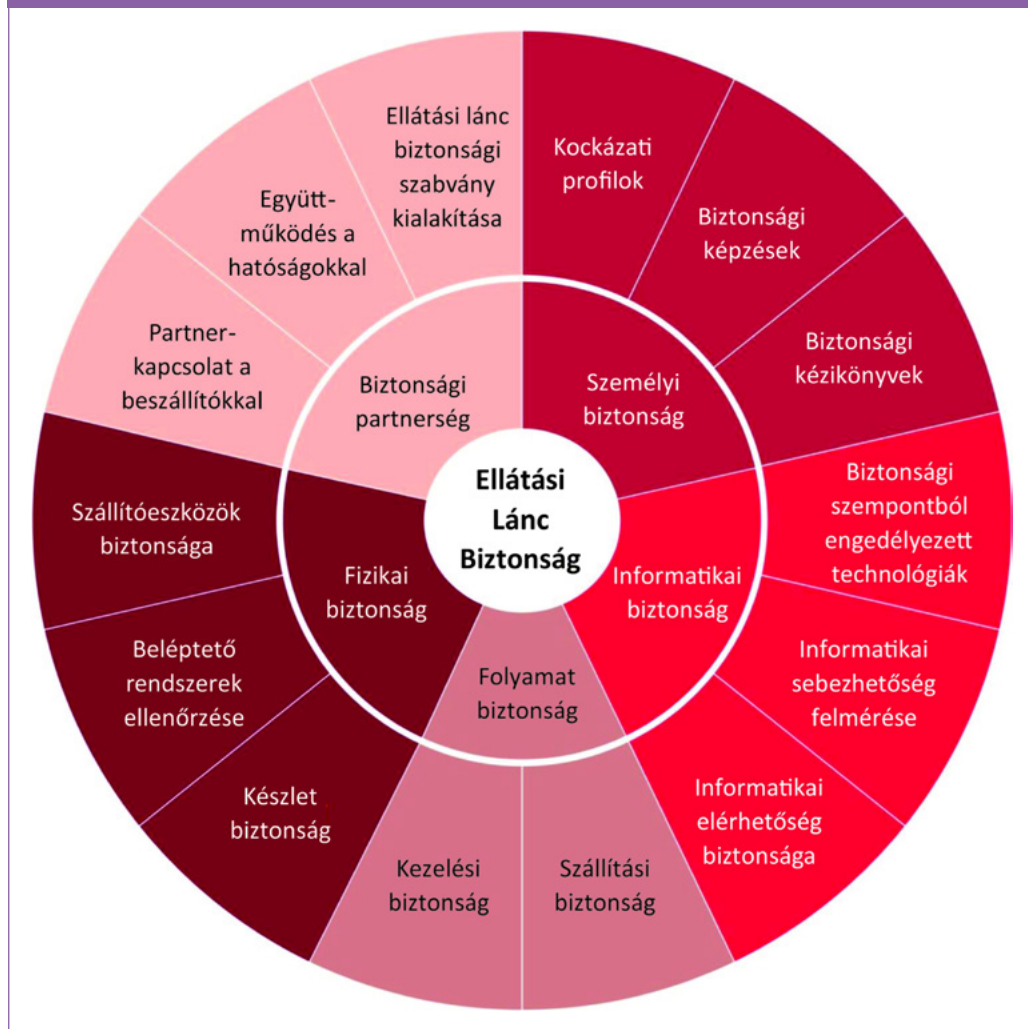
A szállítási láncok összetételét több tényező határozza meg:

- az elszállítani kívánt áru esetleg sajátos szállítási igényei,
- a szállítás feladási és rendeltetési helye,
- a rendelkezésre álló szállítási eszköz és kapacitás,
- a szállítató elvárásai és lehetőségei.

A szállítás feladási és rendeltetési helye több szempontból is döntő jelentőségű. Egyrészt meghatározza a szállítás távolságát, amely általános esetben orientációt jelent a gazdaságos szállítási mód kiválasztásában. Másrészt, amennyiben a két helyszín között jelentős elválasztó hatású topográfiai elemek (például nagyobb folyó, hegység, tengerek és óceánok, stb.) találhatók, akkor ezek jellemzően korlátozzák mind a szóba jöhető szállítási módokat, mind az útvonal választási lehetőségeket, azaz ezeken keresztül a helyettesíthetőséget.

A szállítási eszköz megválasztását befolyásolja a kiindulási és végpont abban, hogy az adott térségben milyen szállítási mód áll rendelkezésre.

1. ábra: Az ellátási láncok biztonsági tényezői (forrás: [10], a szerzők fordítása)



zésre. A közúti szállítás gyakorlatilag mindenütt elérhető, a vasúti jóval kevesebb helyszínen (707 szolgálati hely van Magyarországon megnyitva az árufeladás és -leadás céljára [9]). A szállítási mód választást ezen túlmenően befolyásolja, hogy a választani szándékozott módnál biztosítható-e a szükséges kapacitás. Korlátot egyaránt jelenthet a jármű (teherbírás, méret, mennyiség), a pálya (teherbírás, továbbítási sebesség), de a módváltási helyek (átrakási lehetőség, kapacitás) és a nyújtott szolgáltatások is (például informatikai támogatás, tárolás).

A szállítató elvárásai sokrétűek lehetnek, irányulhatnak a szállítási időre, a biztonságra, az átrakások számának csökkentésére, de a költségek minimalására is. Az ellátási láncok biztonsági tényezőit a PricewaterhouseCoopers multinacionális elemző és tanácsadó vállalat Transportation & Logistics 2030 Volume 4: Securing the supply chain című tanulmányában [10] az 1. ábra szerint foglalja össze.

Az 1. ábra alapján a szállítási láncok biztonsága a folyamatbiztonságon belül értelmezett tényező, ugyanakkor az igénybe vett közleke-

dési infrastruktúra biztonsága nem szerepel a védendő folyamatlemek között. Véleményünk szerint azonban a közlekedési infrastruktúra védelme hasonlóan kiemelt jelentőségű, ugyanis a szállítási lánc tényezői jelentős hatással vannak a közlekedés útvonalának kiválasztására, amit az is befolyásol, hogy az áthalad-e kritikus infrastruktúra-elemen. A szállítási láncok működése során elengedhetetlen, hogy a közlekedési infrastruktúra rendelkezésre álljon, ezért a biztonság a szállítási lánc közlekedési elemeinek kiválasztása esetében döntő szempont. Ebben az esetben az infrastruktúra megfelelő védelme pozitív visszacsatolást mutat. Minél magasabb színvonalú a védelem, annál több ilyen kritérium mellett szervezett szállítási lánc érintheti az adott elemet, ezzel tovább növelve annak védelmi igényét. Egy lengyel tanulmány megállapítása szerint a szállítási láncok működésében kulcsszerepe van a szektor kockázatainak és biztonsági követelményeinek megfelelő meghatározásának [11].

Az ellátási láncok biztonsága Domboróczky Zoltán kutatásai alapján többek között azt jelenti, hogy a rendszer képes legyen [12]:

- a szállítási kínálat biztosítására,
- a szállítási készenlét biztosítására,
- a szállítás sebezhetőségének megakadályozására.

A kutatás eredményei is megerősítenek bennünket abban a meggyőződésben, hogy a közlekedési infrastruktúrák védelme biztosíthatja a fenti követelményeket, így kimutatható kapcsolat a szállítási láncok és a kritikus infrastruktúra védelem között.

3. A KRITIKUS INFRASTRUKTÚRA VÉDELEM VASÚTI ÉRTELMEZÉSE

A vasúti közlekedési alágazat a szállítási láncok közlekedési igényeinek egyik megfelelő eszköze. Infrastruktúrájának akár csak egy országban is számtalan eleme van. A védelem szempontjából ezek mindegyikét nem lehet és nem is kell kritikus infrastruktúra-elemnek tekinteni, hanem szükséges a létfontosságú rendszerelemek azonosítása a kockázatok elemzésével.

A terrorizmus elterjedése óta a kritikus infrastruktúrák esetében lehetséges kockázatok számbavételének és elemzésének módja bővült [13]. A kockázatok meghatározásánál figyelembe kell venni a fenyegetettséget, az adott rendszer, elem sérülékenységének összetevőit, valamint a rendkívüli események esetleges bekövetkezésének várható következményeit.

A [14] szakirodalom definiálja a kritikus vasúti infrastruktúra fogalmát, amit megerősítenek az újabb tanulmányok által bemutatott módszertanok is [15]. Az Európai Unió [16] és az Amerikai Egyesült Államok [17] szintén meghatározta mit ért kritikus (vasúti) infrastruktúra alatt. Ezek alapján az alágazat infrastruktúrája alapvetően a következő elemekből épül fel:

- vasútállomások (beleértve minden, az állomáson megtalálható építményt, például vontatási telepet),
- a vasútállomások közötti nyíltvonal (két szomszédos állomás bejáratú jelzője közötti vágányszakas);
- saját célú vasúti pályahálózat (iparvágányok),
- a vasút működését biztosító egyéb infrastruktúra (például villamos alállomás).

A vasútállomások tekintetében az állomások egyes elemei (például vágányok, kitérők, gurítódomb) nem tekinthetők külön-külön kritikus infrastruktúra-elemnek, csak az állomásnak vagy csomópontnak a kiiktatása jelenti a kockázatot, ezért az egész állomást tekintjük a kritikus infrastruktúra-elemnek (például a budapesti fejpályaudvarokat).

A vasúti pályáknak, mint közlekedési infrastruktúráknak vannak olyan pontjai, amelyek megsemmisülése vagy sérülése jelentős károkat okoz egy ország életében. Magyarországon ilyenek a jelentős nagyfolyami hidak (például Déli Vasúti Összekötő-híd, Szolnok – Szajol Tisza-híd), alagutak (például a Kelenföld – Déli pályaudvar közötti alagút, a Mecsek-hegység alagútjai), illetve egyes állomásközpontok, ahol a vasúti pálya megrongálása jelentős forgalmi korlátozással járhat, ami miatt a vasúti pálya átbocsátóképessége nagyon nagy mértékben lecsökkenhet vagy akár meg is szűnhet.

A saját célú pályahálózat megtámadásakor olyan iparvágányok elleni akciókról beszélhetünk, amelyek az adott üzem munkáját béníthatják meg. Az egyéb infrastruktúra elleni támadások ugyan kárt tehetnek a vasúti infrastruktúrában, de teljesen nem tudják meggátolni a forgalom lebonyolítását.

4. A VASÚTI ALÁGAZATTAL SZEMBEN TÁMASZTOTT JELENKORI VÉDELMI KÖVETELMÉNYEK

A kritikus infrastruktúra-elemek védelméről az ország védelmi felkészítésének keretében kell gondoskodni. A védelmi felkészítés egyrészt jelenti a meghatározott védelmi követelmények teljesítését, másrészt az infrastruktúra-elemek helyettesíthetőségét.

Egy ország védelmi felkészültségét meghatározza a közlekedési rendszer fejlettsége [18]. A közlekedési rendszernek képesnek kell lennie a védelmi szempontú katonai mozgatási-szállítási feladatok végrehajtására. Különösen igaz ez a különleges jogrendi időszakokban jelentkező feladatokra. A globális szembenállás időszakában ezek a feladatok elsősorban a haderő felvonulási, utánpótlási és a hadiipar szállítási igényeinek, a NATO¹-hoz való csatlakozásunk után pedig a szövetségi és a BNT² feladatokból adódó szállítási igények kielégítését jelentették [19].

Védelmi igények azonban normál jogrendi állapotban is jelentkeznek. Ezek azonban leginkább a békeidőszak katonai szállítási feladataival, az ország védelmi felkészítésével, a katasztrófaelhárítással és a terrorizmus elleni harccal függnek össze. Ezek alapján meghatározhatók olyan követelmények, amelyek képessé teszik az alágazatot a védelmi feladatok ellátására. A követelményeket a vasúti alágazati szereplők felosztása szerint részletezzük.

A vasúti infrastruktúrával összefüggő követelmények (infrastruktúrakezelő részére támasztott követelmények) [14, 20, 21]:

- a fő közlekedési irányokban napi 15-30 katonavonat közlekedtetése akár a többi vonat rovására,
- rakodókapacitás fenntartása az országhatártól 30-40 km távolságra,
- vasútállomások épületeinek, ingatlanjainak és infrastruktúrájuknak igénybevehetősége,
- tárolókapacitás kialakítása a meghatározott állomásokon,
- közúti átjárók nagy teherbírású kialakítása,
- űrszelvények biztosítása a vasútvonalak teljes hosszában,
- megfelelő helyreállító képesség biztosítása,
- a katonai vasúti szállítások biztosítása érdekében megtartandó mellékvonalak kijelölése,
- az ilyen mellékvonalak felkészítése,
- nagyfolyami hidak helyettesíthetőségének megoldása,
- a fő vonalakon 225 kN tengelyterhelés biztosítása,
- a vasúti objektumok megfelelő őrzés-védelmének és oltalmazásának biztosítása,
- Budapest vasúti elkerülhetőségének biztosítása,
- a vasúti irányítási és informatikai rendszerek védelmének biztosítása,
- rendkívüli helyzetben a szükséges vonatok forgalomba helyezése és leközlekedtetése a menetvonal megrendelése nélkül.

A vasútvállalatokkal szemben támasztott követelmények:

- a nehéz technikai eszközök szállítására alkalmas pőrekocsipark biztosítása,
- a személyi állomány szállítására alkalmas személykocsipark biztosítása,
- a megfelelő vontatási kapacitás.

Új tételként jelentkeznek a vasúti pályakapacitáselosztó szervezettel szemben támasztható követelmények:

- a szükséges katonai és a különleges jogrend időszakában felmerülő szállítások

1 NATO – North Atlantic Treaty Organisation – Észak-atlanti Szerződés Szervezete

2 BNT – Befogadó Nemzeti Támogatás

lebonyolíthatósága érdekében kapacitás-tartalékok képzése,

- a vasúthálózat kapacitáskihasználtsági adatainak gyűjtése, a túlterhelt infrastruktúra elkerülése érdekében szükséges intézkedések³ megtétele.

A vasútvonalak helyettesíthetőségének vizsgálata gráfelméleti modellek segítségével történhet [22, 23]. A felállított modell használatával a zavarok bekövetkezésekor egyértelműen megállapítható a helyettesítő útvonal. Alapvetően kétféle megközelítés használható:

- az útvonalhossz minimális növekedése,
- az eljutási idő minimális növekedése.

Mindkét módszer tartalmazza a kerülő út-irányok kapacitásvizsgálatát abból a szempontból, hogy a terelni kívánt forgalom a helyettesítő útvonalon leközlkedtethető-e. Amennyiben nem, szükségessé válhat a vasúti forgalom más alágazatra terelése, végső esetben korlátozása.

5. A VASÚTI BERUHÁZÁSOK TERVEZÉSÉNEK VÉDELMI SZEMPONTÚ VIZSGÁLATA

A kritikus közlekedési infrastruktúra védelmében kiemelt szempont, hogy a jövő beruházásai már el legyenek látva olyan védelmi berendezésekkel, amelyek képesek lehetnek ártó szándékú cselekedetek és más (például természeti jelenségek) hatások tompítására és esetleges megakadályozására.

5.1. A közlekedésre ható veszélyek

Az ártó szándékú cselekedetek, de akár az emberi hibák általában nagy nyilvánosságot kapnak, ezért itt nem kell bemutatni azokat. Ugyanakkor szélsőséges természeti jelenségek is lehetnek hasonlóan romboló hatásúak. Ide sorolhatók az árvizek, amelyekkel kapcsolatosan a vasúti pálya vezetése különös jelentőséget ad, minthogy rendszeresen alkalmazzák árvízvédelmi töltésnek is. Ilyen szerepet tölt be ma is a Duna mellett az 1. sz.

vonal pályája Komárom és Szőny között, a 4. sz. vonal több szakasza Dunaalmás és Nyer- gesújfalu között, de ez volt az egyik funkciója az Alföld-Fiumei Vasút Szegedtől északra hú- zódó szakaszának. Ennek 1879. március 12-i átszakadása nem csak a vasúti forgalmat le- hetetlenítette el hónapokra, de megpecsételte a város sorsát is [36].

Hasonlóan pusztító hatásúak lehetnek az ál- talában nagy esőzéseket követő földcsuszam- lások. Ez történt 1914. május 11-én Balaton- akarattyánál [24], de 2020. június 17-én is a Budapest-Szob (70. sz.) vonalon [37]. Halá- los áldozatot egyik esemény sem követelt, de az első esetben közel egy évet, de a második esetben is több mint egy hónapot vett igénybe a helyreállítás, ez idő alatt a vasúti forgalom szünetelt. Hasonló esetek fordulnak elő a világ számos országában.

Nem kímélik a vasúthálózatot a földrengések sem, különösen, ha ezek tektonikai szempont- ból kockázatos térségekben épültek, mint pél- dául Japánban. Magyarországon ez a veszély kevésbé fenyeget.

A meteorológiai jelenségeket tekintve a vasúti közlekedési rendszerre az alábbiak lehetnek hatással [25]:

- hirtelen lehulló nagy mennyiségű csapa- dék,
- erősen viharos, orkán erejű szél (> 90 km/h),
- extrém hőmérsékletek (< -25°C, > +40°C).

A viharok, tájfunok, tornádók is pusztító ere- jűek lehetnek, s nem csak Amerikában. 1987. október 15-én éjjel hatalmas erejű vihar csap- ott le Dél-Angliára és Londonra, napokra megbénítva a vasúti közlekedést is. Bár az ilyen méretű légköri képződmények ritkák, s a Kár- pát-medencében az esélyük minimális, a vas- úti közlekedést hátráltató viharok hazánkban is gyakoriak. Ezek zöme csak kisebb-nagyobb késést okoz, de egyes esetekben a forgalom hosszabb szüneteltetése is bekövetkezhet [38]. Az extrém alacsony és magas hőmérsékletek is egyre gyakrabban fordulnak elő.

³ VPE Kft. Hálózati Üzletszabályzat 4.4.3 pontja szerint

Fontos jellemzője ezeknek az eseményeknek, hogy a kockázat növekedése többségében előre jelezhető. Ebbe a körbe tartoznak az árvizek, a földcsuszamlások, a szélviharok. Földrendéseknel az események időpontja csak az utórendéseknel becsülhető, de ismert, hogy mely területek milyen mértékben fenyegetettek, s ezt az infrastruktúra-tervezésben figyelembe is veszik.

Magyarország védelmi felkészítése szükségessé teszi, hogy a közlekedési rendszerelemek bármilyen veszélyhelyzet bekövetkezésekor megfelelő kapacitással álljanak rendelkezésre az elhárításkor felmerülő szállítási-mozgató feladatok elvégezhetősége érdekében. Az új beruházásokra, illetve a régebbi elemek felújítására azért kerül sor, hogy a szállítási kapacitás továbbra is rendelkezésre álljon, illetve növekedjék. A beruházások tervezésekor ezért célszerű a szükséges védelmi berendezések beépítését már ebben a fázisban mérlegelni.

Egy kritikus közlekedési elem kiesése vagy sérülése nem csak gazdasági (helyreállítási) költségekkel jár, de veszteségeket okoz társadalmi szinten is, amelynek szintén költségei vannak (például adott közlekedési ágban megrendült társadalmi bizalom visszaállítása).

5.2. Szempontok a védelmi követelmények és a vasúti beruházások tervezésének összehangolásához

Ebben a pontban szempontrendszert határozzunk meg annak érdekében, hogy a felsorolt védelmi követelményeknek a vasúti alágazat megfeleljen. A szempontrendszer alapján elvégzett vizsgálat a fejlesztések tervezésekor segít meghatározni, hogy adott beruházás mennyire felel meg a védelmi követelményeknek. A szempontrendszer alapján lefolytatott vizsgálat azonban nem helyettesíti a létfontosságú rendszerelemek kijelölési folyamatát.

Fontosnak tartjuk kiemelni az előzetes vizsgálat hasznosságát az alábbiak miatt:

- a védelmi berendezések korai betervezése megemeli ugyan a beruházási költségeket, de mindig alacsonyabb így az

össz költség, mintha utólagos beruházás lenne szükséges,

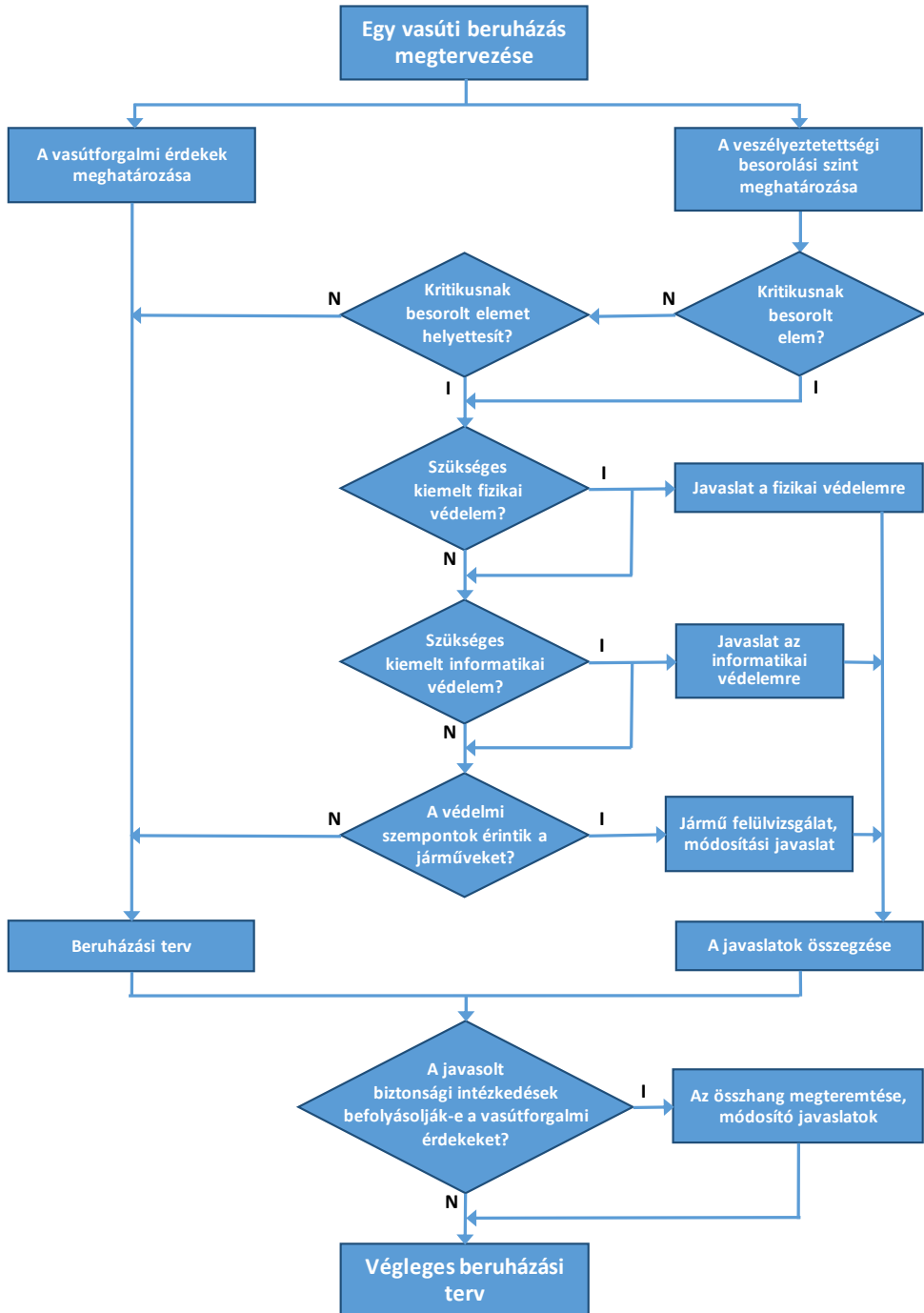
- a kritikus infrastruktúrák védelmi költségei alacsonyabbak, mint a kiesésük miatt elmaradó gazdasági bevételek,
- az utólagos beépítés minden esetben korlátozásokkal jár, így a használók költségei is növekednek (ezek lehetnek externális költségek is, például többlet utazási idő).

A szempontrendszert a 2. ábra szemlélteti.

A vasúti infrastruktúra beruházások elsődleges tervezési szempontja a vasútforgalmi érdekek figyelembevétele, vagyis a vonatforgalom lebonyolításának elősegítése. Ezzel párhuzamosan vizsgálni kell, hogy adott infrastruktúra-elemnek milyen a veszélyeztetettségi besorolási szintje. A kritikus elemek azonosítási eljárását a 2021. évi CLXVI. tv. [26] eljárási utasítása a 161/2019 (VII. 4.) Korm. rendelet [27] szabályozza. A törvény az azonosításhoz (kijelöléshez) ágazati és horizontális kritériumokat határoz meg. Az ágazati szempontok a rendszerelem kiesése által kiváltott hatásokra, míg a horizontális szempontok a rendszerelem kiesésekor bekövetkező veszteségekre (gazdasági, társadalmi, természeti, stb.) gyakorolt hatásokra vonatkoznak [1]. A létfontosságú rendszerelemek kijelölése két szinten történik: európai uniós és nemzeti szinten. Ennek megfelelően a kijelölési kritériumokat ezen a két szinten határozták meg. A két szint közötti különbség, hogy egy uniós létfontosságú infrastruktúra-elem kiesése több országban érezteti hatását, míg a nemzeti létfontosságú infrastruktúra esetében ez csak az adott országra igaz [28].

Amennyiben egy rendszerelem a fenti kritériumok alapján nem tekinthető önmagában a kritikus infrastruktúra részének, akkor a következő vizsgálati szempont annak eldöntése, hogy része-e egy kritikus infrastruktúra-elem helyettesítő útvonalának. Erre példaként említhetők egyes vasúti mellékvonalak, amelyek önmagukban nem tartoznak a létfontosságú vasúti infrastruktúra-elemek közé, ugyanakkor egyes fővonalak helyettesítő útvonalaként funkcionálhatnak. Az ilyen vonalak felújítását ennek a kritériumnak és ebből fakadóan a vé-

2. ábra: A védelmi szempontú tervezés folyamatábrája (forrás: saját szerkesztés)



delmi követelményeknek a figyelembevételével kell tervezni.

A kritikus infrastruktúra-elemek védelmét kiemelten kell kezelni. Sok esetben fizikai védelem kialakítása is szükségessé válhat, így a tervezéskor számolni kell ennek igényeivel (például nagyfolyami hídon örbódé kialakítása) és költségeivel.

A fizikai védelmet úgy kell kialakítani, hogy az ne akadályozza az infrastruktúra-elem használatát. A fizikai védelem kiterjedhet a vasúti infrastruktúrához történő fizikai hozzáférés megakadályozására (például kerítés kialakítása a vasúti pálya mentén), az utasok fizikai ellenőrzésére (például beléptetőkapuk telepítése vasútállomásokon, utasok ellenőrzése a vonatok fedélzetén), a vasúti közlekedési adatok fizikai védelmére (irányítóközpontokba történő illetéktelen behatolás megakadályozása), illetve az adattovábbítás fizikai védelmére (például az adattovábbító kábelek nehéz megközelíthetősége érdekében azok felsővezeték tartó oszlopokon történő elhelyezése).

Következő szempontként az informatikai védelem szükségességét kell vizsgálni. A vasúti informatikai adatvédelem legfőképpen azt jelenti, hogy az adatokat csak a jogosultak láthassák, azokat csak ők használhassák fel, és az adatok tárolásakor se férhessenek hozzá illetéktelenek, valamint az adatokat ne tudják módosítani vagy törölni [29]. A védelem kialakításakor a CIA-elv alkalmazását javasoljuk:

- bizalmasság (confidentiality),
- sértetlenség (integrity),
- rendelkezésre állás (availability).

A bizalmasság az ellenőrizetlen személyek információhoz jutásának megakadályozását, a sértetlenség az információk tartalmának illetéktelenek általi megváltoztathatatlanságát, a rendelkezésre állás a rendszer elérhetőségét és üzemzerű működésének biztosítását jelenti [30].

A járművek védelmi szempontú értékelésekor érdemes figyelmet fordítani arra, hogy terroristamadások bekövetkezésekor nagyon sok sé-

rülést és halálesetet okoznak a járművek kiálló alkatrészei, könnyen leszakadó és nagy tömegű elemei. Például az üvegezés megváltoztatásával (nem szétrobbanó üvegek), lekerekített formák használatával, valamint könnyebb és fix alkatrészek beszerelésével a sérültek és halottak száma is csökkenthető, ráadásul a könnyebb járművek miatt a kerekek és a sínnek élettartama is megnő. Az egységes dizájn kialakítása is segíthet a sérülések számának csökkentésében [31].

A szükséges védelmi szempontok számbavétele és a megfelelő javaslatok megtétele után rendelkezésre áll a tervezett infrastruktúra védelméhez szükséges eszközök, eljárások listája, amelyet össze kell vetni a vasútforgalmi érdekekkel. A védelmi berendezések és megoldások a biztonság megteremtése érdekében egyes esetekben lassíthatják a közlekedési folyamatokat (például az ellenőrzés időszükséglete megnöveli az eljutási időt). Ezért a közlekedésfejlesztés egyik célja, a folyamatok gyorsítása révén elérhető előnyök ellen hatnak. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy el kell hanyagolni azokat, hanem, ellenkezőleg: cél, hogy a beruházásokkal egyidőben olyan védelmi elemeket építsünk ki, amelyek megteremtik a megfelelő védelmet, ugyanakkor nem hátráltatják a vasúti versenyképesség növelését. Ezt minden beruházásánál megfelelően meg kell tervezni, helyes arányban alkalmazva a fizikai és az informatikai védelmi lehetőségeket. Alapvetően akkor járunk el helyesen, ha a vasúti beruházások által létrehozott infrastruktúra olyan, hogy valamely elem kiesésekor nem lesz az egész hálózat működésképtelen. Szükséges tehát a védelmi és a közlekedésfejlesztési tervezés összhangjának megteremtése a beruházások tervezésekor. Az összhang megteremtése után készülhet el a végleges beruházási terv, amely már számol a védelmi költségekkel is.

6. A VASÚTI INFRASTRUKTÚRA FEJLESZTÉS ÉS AZ ORSZÁGVÉDELMI ÉRDEKEK ÖSSZHANGJÁNAK BIZTOSÍTHATÓSÁGA

Ebben a fejezetben javaslatokat fogalmazunk meg annak érdekében, hogy az ország védel-

mi érdekei és közlekedésfejlesztési céljai biztosíthatók legyenek.

6.1. A vasúti kapacitáskorlátok feloldásának módjai (kapacitásnövelés)

A védelem egyik nagyon fontos szempontja a kritikus elemek minél versenykéesebb alternatívájának biztosítása. A pályát, mint a szállítási feltételrendszer legnehezebben módosítható elemét előtérbe helyezve kijelenthető, hogy a nehezen helyettesíthető elemek térségében meglévő kapacitáskorlátok feloldása, illetve a kapacitások bővítése egyértelműen ezt a célt szolgálja. A hazai vasúti pályák adottságainak ismeretében ezek legfontosabb, a fejlesztés körébe tartozó esetei az alábbiak:

- Budapest vasúti elkerülése (V0),
- kétvágányúsítás,
- deltavágányok építése,
- villamosítás,
- a széles nyomtávolságú vasúti pálya magyarországi továbbvezetése.

Budapest vasúti elkerülésére az utóbbi évtizedekben több vizsgálat is készült. A V0 gyűjtőnéven ismert változatok több lehetséges nyomvonalat tártak fel, a megvalósíthatósági tanulmányok (például az MLSZKSZ⁴ részére készített tanulmány [32]) részletesen mutatják be az elérhető előnyöket és a következményeket. Közös vonásuk, hogy a többi felsorolt lehetőségtől eltérően eddig nem létező kapcsolatot biztosítanak a Dunán keresztül, hatékony alternatívát adva a Déli Vasúti Összekötő-hídnak, amely az ország vasúti hálózatának egyik legkritikusabb eleme. Fontos körülmény, hogy ez a pozíciója részben megmarad a tervezett, a kelenföldi pályaudvart a Budapest-Nyugati pályaudvarral összekötő Duna alatti alagút megvalósulásakor is, minthogy ez utóbbi tehervonatok közlekedésére csak korlátozottan lesz alkalmas [33].

A magyar vasúthálózat számos eleme egyvágányú, még több fontos irányban is, mint például a Budapest és Pécs között húzódó 40-es vonal Pusztaszabolcstól délre. Sok eset-

ben ez a trianoni békediktátumra vezethető vissza, amelynek értelmében több szakaszon fel kellett szedni a második vágányt (például Békéscsaba – Lökösháza, Soroksár – Kiskunlacháza, Hatvan – Salgótarján) [34], illetve korlátozta a későbbi ilyen irányú fejlesztést. Mára ilyen hátráltató feltételek már nincsenek, de a kétvágányúsítás általában nem teljes körű, hanem menetrendi alapon tervezetten részleges. Ezek az egyvágányú szakaszok egy kritikus elem helyettesítésében csak korlátozottan, a forgalom jelentős zavarásával vesznek részt. Így kétvágányúsításuk jelentős kapacitásnövekedést eredményezne. Igaz, hogy ez a fejlesztés a jelenlegi menetrendi forgalom mellett nem, csak megváltozott forgalmi igények és vészhelyzet bekövetkezősekor hasznosulna.

A hazai vasúthálózaton a folyamatos fejlesztések mellett is hiányzik több deltavágány, amely lehetővé tenné a vonatok irányváltás nélküli közlekedését az adott térségben, amely nem csak a menetidő jelentős rövidülését eredményezné, de nem terhelné az adott állomás kapacitását nem oda irányuló kényszerforgalommal. Ezek a hiányok Tapolcánál, Komáromnál és Ferencvárosnál mutatkoznak. Sajnálatos körülmény, hogy ezek az elemek több esetben is a kedvezőtlen terep- és beépítési viszonyok következtében hiányoznak, azaz pótlásuk gyakorlatilag nem, vagy csak komoly áldozatok árán lehetséges.

A vasútvonalak villamosítása egyértelműen olcsóbb, gyorsabb vonattovábbítást eredményez, ami emeli az adott szakasz kapacitását, javítva helyettesítési pozícióit. Fontos, hogy egy ilyen beruházás a menetrendszerinti forgalomban is hasznosul, egyúttal csökkenti a vasút ökológiai lábnyomát.

Az Ukrainán keresztül érkező széles nyomtávolságú pálya jelenleg a záhonyi átrakóközvetben végződik. Gazdasági megfontolások indokoltá tehetik a széles nyomtávolságú vágányok továbbépítését olyan állomásokig (sőt, akár üzemekig), ahova Kelet felől jelentős mennyiségű áru érkezik. Ebben az esetben az átrakás idővesztése elmarad, ami gyorsabbá teheti a vasúti áru fuvarozást. Szüksé-

⁴ MLSZKSZ – Magyar Logisztikai Szolgáltató Központok Szövetsége

ges azonban kiemelni, hogy a kiépítés magas költsége (a pálya mellett például a biztosítóberendezést is ki kell építeni) és területigénye miatt (a normálnyomtáv mellé fektetett harmadik sínszál kiépítését nem javasoljuk) az esetleges végpont kiválasztása kiemelt jelentőséggel bírhat.

Összességében megállapítható, hogy a felvázolt kapacitásnövelő fejlesztések között a V0 a leghatékonyabb, mivel a hazai vasúthálózat legkritikusabb eleméhez nyújt alternatívát.

6.2. A NATO BNT vasúti közlekedési feladataiból adódó infrastruktúra-fejlesztési javaslatok

A „Bevezetésben” megfogalmaztuk, hogy a védelmi intézkedések a katonai célú közlekedési feladatok elvégeztetősége szempontjából is kiemelt jelentőséggel bírnak. Magyarország NATO tagorszádként részt vesz a szövetség műveleteiben, amelynek keretében BNT-t kell nyújtani. Ez kiterjed a NATO egységek részére nyújtandó közlekedési támogatásra, vagyis az egységek magyarországi mozgatási-szállítási feladatainak ellátására, ami csak fejlett és jól felkészített közlekedési infrastruktúrán lehetséges. Éppen ezért a vasúti fejlesztések tervezésekor javasoljuk azokat a követelményeket is figyelembe venni, amelyekkel a BNT feladatok elvégeztetők, és a feladatok lebonyolítása nem jár kapacitáskorlátozásokkal. A közlekedési támogatás kijelölési szakterületének keretében szükséges azoknak a vasútvonalaknak a meghatározása, amelyeken a főbb katonai szállítások lebonyolíthatók. Ezek elsősorban a TEN-T hálózat magyarországi vasúti elemei. Ezeket célszerű a NATO fuvarozás feltételeit megteremteni, amelyek a vonalak rekonstrukciójakor teljesíthetők. Ilyen feltételek a vasúti átjárhatóság megteremtése és a megfelelő tengelyterhelés biztosítása.

A nehéz haditechnika szállítása megköveteli a vasúti al- és felépítmények megfelelő terhebírási kialakítását. A mai korban elvárt a fővonalakon a 225 kN tengelyterhelés, és javasoljuk is mindenhol ennek kialakítását a fővonalak átépítéskor. Ugyanakkor megfontolásra érdemesnek tartjuk, hogy a legfonto-

sabb kerülő útirányokon szintén ilyen tengelyterhelés kerüljön kialakításra. A kijelölt kerülő útirányok megfelelő állapotban tartása rendkívül fontos, egy esetleges fővonal kapacitásszűkülés bekövetkezésekor a megfelelő állapotú kerülő útirány sokat segíthet a közlekedés fenntartásában.

6.3. A vasúti átjárhatóság javítása

A vasúti átjárhatóság kialakítása megteremti annak a feltételét, hogy egy vonat a berakási állomástól a kirakási állomásig egy vontatójárművel haladjon, és ne legyen szükséges a mozgonyok cseréje az egyes eltérő paraméterekkel rendelkező vonalszakaszok határain. Ilyen átjárhatóságot javító intézkedések lehetnek:

- ETCS⁵ kiépítése,
- a határok átjárhatóságának gyorsítása,
- adminisztratív intézkedések.

Az egységes európai vonatbefolyásoló rendszer kiépítése a jelenlegi vonalakon túl egyértelmű javaslatként fogalmazható meg a vasúti beruházások tervezésekor. A rendszer működése nagymértékben elősegítheti a vasútvonalak átbocsátóképességének növelését és ezen keresztül a vasúti árufuvarozás sebességének emelését.

A határok átjárhatóságának gyorsítása olyan infrastruktúra-beruházásokat jelent, amelyek lerövidíthetik a határtartózkodásokat. Ezek lehetnek a pályával kapcsolatosak (például: nyomtávvalto berendezés), illetve lehetnek informatikai beruházások, amelyek hatással vannak a határállomási adminisztrációra. A határállomási folyamatok digitalizációja gyorsíthatja az ügyintézés menetét, ezáltal elősegítve a vasúti közlekedési alágazat versenyképességét [35].

Az adminisztratív intézkedések nem infrastruktúra-beruházások, ugyanakkor szintén elősegítik a vasúti árufuvarozás versenyképességének emelését. Ilyen lehet a vasúti társaságok és a hatóságok közötti együttműködés fejlesztése annak érdekében, hogy a hatóságok

5 ETCS – European Train Control System – Egységes Európai Vonatbefolyásoló Rendszer

időben fel tudjanak készülni az ellenőrzési feladatok végrehajtására.

A vasútvállalatok számára ilyen lehet a bizalmi elv bevezetése. A rendszer bevezetésével elmaradhatnak a határállomási kocsiellenőrzési feladatok, így gyorsítható a határátlépés folyamata. Feltétel a TAF-TSI⁶ keretrendszer alkalmazása.

Ugyancsak vasútvállalati hatáskör a személyzetcsere kérdése. Ennek elmaradása és a több országban alkalmazható vasúti személyzet vezénylése ugyancsak kedvezően hat a határállomási tartózkodási idők csökkentésére. Az esetlegesen kialakítható megállás nélküli áthaladás esetében a szükséges pályaföldi (például Hegyeshalom határállomáson szükséges biztosítóberendezési átalakítások) és vasútvállalati (például többáramnemű mozdonyok alkalmazása) feltételeket meg kell teremteni.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A vasúti kritikus infrastruktúra-elemek megfelelő védelmének kialakíthatósága érdekében szükséges, hogy a javasolt védelmi intézkedések a vasútvonalak átépítésekor, illetve már az új beruházások tervezésekor számoljanak azzal, hogy a megfelelő védelmi szint elérése csak a szükséges költségekkel járjon, és ne kelljen az utólagos beépítés többletköltségeit is megfizetni.

A kritikus vasúti infrastruktúra-elemek azonosítása az adott új infrastruktúra európai és nemzeti kritériumok szerinti vizsgálatát jelent a tervezési jellemzők alapján. A vizsgálat eredményeire támaszkodva meg lehet határozni a tervezett beruházás helyét a kritikus infrastruktúrák rendszerében.

Bemutattuk azt a szempontrendszert, amelynek alkalmazásával a vasúti beruházások védelmi vizsgálata elvégezhető, és javaslatokat

tettünk, amelyekkel a védelmi követelmények és a vasútforgalmi érdekek összhangja megteremthető. Az általunk felállított szempontrendszer alátámasztja kutatási hipotézisünk feltevését, azaz hogy megfelelő vizsgálattal eldönthető, hogy egy újonnan tervezett vagy felújított infrastruktúra-elem a kritikus infrastruktúra-hálózat részének tekinthető-e és a tervezését ennek megfelelően, a védelmi elemek beépítésével kell-e végezni.

A védelmi értékeléskor szükséges elemezni, hogy az adott infrastruktúra-elem megfelelően védett lesz-e az ártó szándékú cselekedetek, vagy más, károkat okozó külső hatások ellen. A védelmi értékelésnek ki kell terjednie a fizikai és a kibervédelemre is. Az értékelést kockázatelemzéssel lehet elvégezni. Amennyiben egy adott előfordulható hiba esetében magas kockázattal kell számolni, akkor át kell térni egy, az adott hiba előfordulása szempontjából biztonságosabb berendezésre vagy hálózatra. A felmerült kockázatokat kezelni kell. A kockázatkezelés olyan intézkedések meghozatalát jelenti, amelyek minimalizálják a nem kívánt események bekövetkezésének esélyét vagy kimenetelének súlyosságát. Ugyanakkor a kockázat teljesen nem szüntethető meg, mivel a technikai fejlődés révén az elkövetők eszköztára is fejlődik, továbbá előfordulhat, hogy valamilyen kockázat ellen nem tervezzük védekezést, így maradványkockázattal minden esetben számolni kell [29].

Amennyiben a vizsgálat azt állapítja meg, hogy adott infrastruktúra-elem nem, vagy nem kellően védett a mai várható ártó szándékú cselekmények vagy kárt okozó külső hatások ellen, akkor tervezni kell a védelmi megoldásokat is. A tervezéskor a legújabb védelmi megoldásokat szükséges alkalmazni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen publikáció az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

⁶ TAF-TSI – Technical Specification for Interoperability relating to Telematics Applications for Freight Services – az áruszállítási rendszerek átjárhatóságát biztosító technikai szabályok

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bognár Balázs – Bonnyai Tünde (szerk.): Kritikus Infrastruktúrák védelme I., Dialóg Campus Kiadó, Budapest, 2019
- [2] Pederson, P. – Dudenhoefler, D. – Hartley, S. – Permann, M.: Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research, Idaho National Laboratory, Idaho Falls, Idaho, U.S., 2006
- [3] Petit, F. et al.: Analysis of Critical Infrastructure Dependencies and Interdependencies, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, U.S., 2015 DOI: <https://doi.org/hb43>
- [4] Horváth Attila: A kritikus infrastruktúra védelem komplex értelmezésének szükségessége. In Horváth Attila (szerk.): Fejezetek a kritikus infrastruktúra védelemből. Kiemelten a közlekedési alrendszer. Magyar Hadtudományi Társaság, Budapest, 2013, pp. 18-37.
- [5] Martin, H. – Ludek, L.: Conceptual design of the resilience evaluation system of critical infrastructure elements and networks in selected areas in Czech republic, 2012 IEEE Conference on Technologies for Homeland Security (HST), 2012, pp. 353-358, DOI: <https://doi.org/hb44>
- [6] Horváth Attila: Szempontok a katonai közlekedési rendszer védelemigazgatási és nemzetgazdasági kapcsolatrendszeréről, Hadmérnök, 24:különszám, 2016, pp. 245-266.
- [7] Horváth Attila: Az ellátási lánc, mint kritikus infrastruktúra (létfontosságú rendszerelem), In: Humánvédelem – békeműveleti és veszélyhelyzet-kezelési eljárások fejlesztése (Tanulmánygyűjtemény I. e-bok), Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2016
- [8] Chikán Attila: Vállalatgazdaságtan, Aula Kiadó, Budapest, 1999
- [9] Rail Cargo Hungária Zrt.: 1. sz. Kézikönyv: Áruforgalomra megnyitott állomások listája 2019. 12. 15.
- [10] PricewaterhouseCoopers: Transportation & Logistics 2030 Volume 4: Securing the supply chain, 2011
- [11] Witowski, K.: Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management, Procedia Engineering 182, 2017, pp. 763-769. DOI: <https://doi.org/ghc3g>
- [12] Domboróczky Zoltán: Ellátási láncok és logisztikai szolgáltatások biztonsági aspektusai, In: Horváth Attila – Bányász Péter (szerk.): Fejezetek a kritikus infrastruktúra védelemből I. Kiemelten a közlekedési alrendszer (Tanulmánykötet), Magyar Hadtudományi Társaság, Budapest, 2013, pp. 226-237.
- [13] Ronyecz Lilla: Létfontosságú rendszerek és létesítmények védelmével kapcsolatos kockázatelemzési módszertan szakirodalmának bemutatása, Védelem Tudomány, 3:3, 2018, pp. 112-132.
- [14] Szászi Gábor: A vasúti hálózati infrastruktúrával szemben támasztott újszerű védelmi követelmények kutatása, a továbbfejlesztés feltételrendszerének vizsgálata, Doktori (PhD) értekezés; Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2013.
- [15] Leitner, B. – Mócová L. – Hromada M.: A new Approach to Identification of Critical Elements in Railway Infrastructure, Procedia Engineering 187, 2017, pp. 143-149. DOI: <https://doi.org/hb45>
- [16] Az Európai Unió Tanácsának 2008/114/EK irányelve az európai kritikus infrastruktúrák azonosításáról és kijelöléséről, valamint védelmük javítása szükségességének értékeléséről, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0114&from=NL> (letöltve: 2021. 11. 16.)
- [17] Capra, G. S.: Protecting Critical Rail Infrastructure, Counterproliferation Paper No. 38, USAF Counterproliferation Center, Air Academy, Maxwell Air Force Base, Alabama, U.S., 2006
- [18] Horváth Attila: Közlekedési hálózat és az ország védelmi képesség kapcsolata (védelmi követelmények a közlekedésfejlesztésben), Biztonságpolitika, biztonságpolitikai szakportál, 2009, pp. 1-9.
- [19] Venekei József – Szajkó Gyula: Magyarország lehetséges szerepe a NATO RSOM-műveleteiben, Hadtudományi Szemle, 13:4, 2020, pp. 23-40.
- [20] Tóth Bálint – Helmeczi Gusztáv: Védelmi követelmények a Gazdasági és Közlekedési

- Minisztérium közlekedési szakterületén, Katonai Logisztika, 14:4, 2006, pp. 37-55.
- [21] Pócsmegyeri Gábor: A katonaföldrajzi tényezők hatása a Magyar Köztársaság közlekedési rendszerének védelmi célú előkészítésére, Doktori (PhD) értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2003
- [22] Tóth Bence: Állomások és állomásközpontok zavarának gráfelméleti alapú vizsgálata a magyarországi vasúthálózaton, Hadmérnök, 12:4, 2017, pp. 52-66.
- [23] Tóth Bence: Menetidő- és menetvonalhossz növekedés gráfelméleti alapú vizsgálata a magyarországi vasúthálózaton állomások és állomásközpontok zavara esetén, Hadmérnök, 13:1, 2018, pp. 118-132.
- [24] Molnár Zoltán: Hogyan mentette meg a hős masinista 180 utas életét egy okos fékezéssel?, online publikáció, 2019, <https://welovebalaton.hu/cikk/2019/11/21/hogyan-mentette-meg-a-hos-masinista-180-utas-eletet-egy-okos-fekezessel> (letöltve: 2021. 10. 26.)
- [25] Teknős László – Endrődi István: A szélsőséges időjárás hatása a magyarországi közlekedési rendszerekre – kiemelten a közút és vasút alágazatokra, In: Horváth Attila – Bányász Péter – Orbók Ákos (szerk.): Fejlesztések a létfontosságú közlekedési rendszer elemek védelmének aktuális kérdéseiről (Tanulmánykötet), Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2014, pp. 83-100.
- [26] 2012. évi CLXVI. törvény a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1200166.tv> (letöltve: 2021. 10. 26.)
- [27] 161/2019. (VII. 4.) Korm. rendelet a közlekedési létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1900161.kor> (letöltve: 2021. 10. 26.)
- [28] Horváth Attila – Lévai Zsolt: A magyarországi vasúthálózat létfontosságú elemeinek azonosítása, In: Földi László (szerk.): Szemlények a katonai műszaki tudományok eredményeiből I., Ludovika Egyetemi Kiadó, Budapest, 2021, pp. 131-146.
- [29] Lévai Zsolt – Üveges András József: A vasúti közlekedés informatikai adatvédelme, Felderítő Szemle, 19:2, 2020, pp. 103-139.
- [30] Samonas, Spyridon – Cross, David: The CIA Strikes Back: Redefining Confidentiality, Integrity and Availability in Security, Journal of Information System Security, 10:3, 2014, pp. 21-45.
- [31] Securing railway systems from terrorist activity, Counter Terror Business, 2015, online: <https://counterterrorbusiness.com/features/securing-railway-systems-terrorist-activity> (letöltve: 2019. 06. 09.)
- [32] V0 Magyarország Konzorcium: „V0” Budapestet délről elkerülő vasútvonal kialakítása, Műszaki Megvalósíthatósági Tanulmány, Budapest, 2012
- [33] Trenecon Kft. – Főmterv Zrt. – KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. konzorcium: Budapesti Agglomerációs Vasúti Stratégia, 2020, online: <http://bvs.hu/wp-content/uploads/2021/02/Strategia.pdf> (letöltve: 2021. 10. 26.)
- [34] Nagy Tamás: Trianon és a magyar vasút, In: Magyarország és Európa 1919-1939 (14), pp. 149-166, online: http://acta.bibl.u-szeged.hu/5481/1/belvedere_kk_014_149-166.pdf (letöltve: 2021. 10. 27.)
- [35] KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.: Áruforgalmi logisztikai koncepció kidolgozása Záhony és térségére (tanulmány), Budapest, 2021
- Internetes források:
- [36] http://www.ativizig.hu/vizugyimuzeum/arviz_1879.aspx (letöltve: 2021. 10. 26.)
- [37] <https://iho.hu/hirek/sarlavina-a-sineken-a-70-esen-200617> (letöltve: 2021. 10. 26.)
- [38] <https://iho.hu/hirek/elfujta-a-vihar-az-elovarosi-vonalakat-180723> (letöltve: 2021. 10. 26.)



Railway infrastructure investment planning taking into account critical infrastructure protection aspects

High-value rail infrastructure investments have a lifespan of several decades. During this time, they need to be protected from the effects that could hinder their operation. The design of the protection needs to be started as early as the design of the facilities, as this will reduce installation costs and barriers. The article presents a set of criteria for the development of protection planning, which is based on our research on the possibilities of the protection of critical transport infrastructures.



Investitionsplanung für die Bahninfrastruktur unter Berücksichtigung von Aspekten des Schutzes kritischer Infrastrukturen

Hochwertige Investitionen in die Bahninfrastruktur haben eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten. Während dieser Zeit müssen sie vor den Auswirkungen geschützt werden, die ihren Betrieb behindern könnten. Mit der Gestaltung des Schutzes muss bereits bei der Planung der Anlagen begonnen werden, da dadurch Installationskosten und Barrieren reduziert werden. Der Beitrag stellt einen Kriterienkatalog für die Entwicklung einer Schutzplanung vor, der auf unseren Recherchen zu den Möglichkeiten des Schutzes kritischer Verkehrsinfrastrukturen basiert.



E számunk lektorai

Barlog Károly ■ Horváth Lajos

Dr. Katona András ■ Tánczos Lászlóné dr. ■ Dr. Timár András

Dr. Tóth János ■ Dr. Török Ádám

Körforgalmak honnan-hová forgalmainak becslése állapotér-elméleti módszerekkel

A kutatás célja különböző eljárások vizsgálata a körforgalmak honnan-hová forgalmainak meghatározásához fordulási arányok becslése alapján.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.1.2>

Gressai Mánuel – Tettamanti Tamás – Varga István

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Közlekedésmérnöki- és Járműmérnöki Kar, Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

e-mail: gressai.manuel@edu.bme.hu, tettamanti.tamas@kjk.bme.hu, varga.istvan@kjk.bme.hu

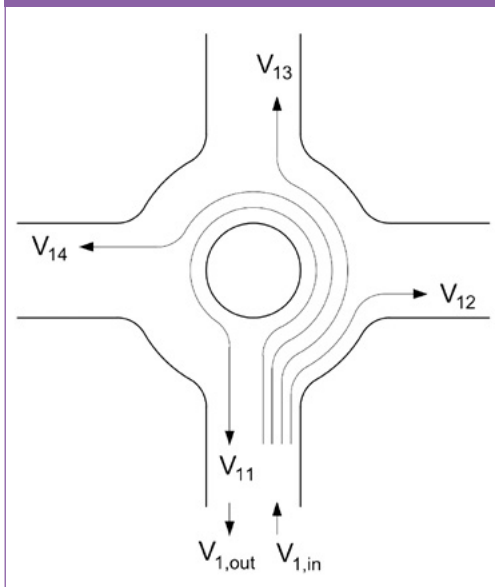
1. BEVEZETÉS

A közúti infrastruktúra tervezésének és a hatékony forgalomirányítás alapja a forgalmi modellezés, amelyhez elengedhetetlen a valós honnan-hová forgalmak ismerete. A kanyarodó forgalmak mérése legtöbbször kézi forgalomszámlálással történik, ez pedig időigényes és költséges. A körforgalmaknál ráadásul a valós idejű mérés még több nehézséggel jár, több ág egyidejű felmérése is nehezen kivitelezhető. Mindezek miatt a kutatásban a körforgalmak vizsgálatára fókuszáltunk.

A célforgalmi mérések végeredménye a célforgalmi mátrix, amely a behajtó- és kihajtóágak forgalma között teremt kapcsolatot. A mátrix megfelelő eleme az adott irányból érkező, adott irányba továbbhaladó járművek számát mutatja a vizsgálati időtartam alatt. Egy négyágú egysávos körforgalom egy adott ágról érkező járműveinek lehetséges fordulási műveleteit az **1. ábra** mutatja.

Ha a célforgalmi mátrix elemeit az adott behajtóág forgalmával elosztjuk, megkapjuk a fordulási arányokat, azaz hogy egy adott irányból érkező járművek milyen arányban haladtak tovább az egyes ágakon.

1. ábra: Egy négyágú körforgalom egyik irányából a lehetséges fordulási műveletek



A célforgalmi mátrixot becslő módszerekkel a forgalomnagyságok felmérhetők, azonban a fordulási arányok értékeihez korlátozó feltétel is rendelhető: egy adott irányból érkezők összesített aránya 1. Így a kutatás során

a fordulási arányokat becsültük, ami alapján a járműszámok kiszámíthatók a keresztmetszeti forgalmak és a megfelelő arányok szorzatából.

A célforgalmi mérések automatizálására léteznek modern módszerek, például kamerás felvételek alapján mesterséges intelligencia által végzett forgalomszámlálás [1], de a kamerák telepítése vagy drónfelvételek készítése szintén drága, valamint a hozzájuk kötődő szabályozás elavult [2]. A keresztmetszeti mérések automatizálására viszont számos lehetőség áll rendelkezésre, például a lézeres járműérzékelő vagy az induktív hurokdetektor [3].

Ha egy körforgalom ágain a be- és kihajtó forgalmat mérjük, és ez alapján megfelelő pontossággal megbecsüljük a fordulási arányokat, ez akár ki is válthatja a nagyobb erőforrásigényű célforgalmi számlálást, csökkentve a folyamat költségeit. A keresztmetszeti mérések eredményeiből következtetünk a körforgalmak célforgalmi mennyiségeire, fordulási arányaira, lehetőséget nyújtva a csomóponti forgalomszámlálás nehézségeinek kiküszöbölésére.

2. BECSLŐ MÓDSZEREK ISMERTETÉSE

A hagyományos módszerek közül a biproporcionális eljárás, az állapotter-elméleti becslők közül a Kalman-szűrő, majd ennek korlátozásokkal kiegészített verzióját mutatjuk be.

2.1. Biproporcionális eljárás

A biproporcionális eljárás (BP – Biproportional Procedure) egy iterációs módszer, amelynek során két aránytag (a és b) változtatása jelenti a becsült forgalmi értékek változását minden iterációban. Az eljáráshoz kétféle bemenő adat szükséges: egy előzetes célforgalmi mátrix az n ágú csomópontról (t), valamint a körforgalom ágain be- és kihaladó keresztmetszeti forgalom (i behajtó és j kihajtó ág esetén O_i és D_j). A becslés pontossága nagyban függ az előzetes célforgalmi mátrix értékeitől [4].

Az eljárás célja, hogy a t előzetes célforgalmi mátrix, valamint az O_i és D_j bemenő adatok alapján megbecsülje a jelenlegi T célforgalmi mátrix elemeit, amelyek az aktuális vizsgálati időtartamban i irányból j irányba fordulóok számát jelentik. Ezt a becslést pedig a következő korlátozások teljesülése mellett kell elvégezni:

$$O_i = \sum_{j=1}^{n_D} T_{ij} , \tag{1}$$

$$D_j = \sum_{i=1}^{n_O} T_{ij} . \tag{2}$$

Az (1) és (2) egyenletek teljesülése egymást követő iterációkkal érhető el, amelyek során az a és b arányszámokat változtatjuk. A k-adik mintavételi időintervallumban több iteráció is lefut. Az előző iteráció a és b értékei a^* és b^* jelölést kapnak. Az eljárás optimálisan az előzetes t célforgalmi mátrixtól legkisebb eltéréssel kapott T mátrixot adja, amely a fenti korlátokat kielégíti [4].

A biproporcionális eljárás lépései a k-adik időintervallumban alább láthatók [5].

KEZDETI FELTÉTELEK	
$b_j = 1$	
$b_j^* = 1$	
$a_i^* = 1$	
$T_{ij} = t_{ij}$	

ITERÁCIÓ	
a_i meghatározása:	
$a_i = \left(\frac{O_i}{\sum_{j=1}^{n_D} T_{ij}} \right) a_i^* \tag{3}$	
T_{ij} számolása:	
$T_{ij} = t_{ij} a_i b_j \tag{4}$	

b_j meghatározása: $b_j = \left(\frac{D_j}{\sum_{i=1}^{m_0} T_{ij}} \right) b_j^* \quad (5)$
T_{ij} számolása a (4) egyenlet segítségével
Iteráció vége. Ha a_i és b_j iterációk közti változása nagyobb, mint ε , ugrás az iteráció elejére. Ha kisebb, a lépés befejeződik.

A fenti algoritmus egyetlen vizsgálati időszakot jelenít meg (k -adik lépés). Az eljárás alkalmazásánál szükség van arra, hogy minden mintavételi időintervallumban megtörténjen a becslés, hiszen ekkor változnak a mért járműszámok. A MATLAB-kódban tehát az iterációk leállási feltétele után (ha a és b vektor elemeinek két iteráció közötti változásai közül a legnagyobb is maximum ε nagyságú) a becsült T mátrix kerekített értékei adják a következő mérési időszak előzetes t mátrixát, valamint az O_i és D_j járműszámok is frissülnek a következő időszak input adatainak megfelelően.

A biproporcionális eljárás előnye, hogy viszonylag egyszerű számítással, valamint a csomóponti ágak be- és kihajtó forgalmának keresztmetszeti számlálásával képes célforgalmi mátrixot becsülni (16 kanyarodási irány mérése helyett 8 keresztmetszeti mérés). Ezenkívül az algoritmus lépéseiből adódóan, ha a vizszaforradulásokat elhanyagoljuk (a t mátrixban a főátló elemei nullák), akkor a becsült T mátrixban sem jelennek meg ezek az értékek. Hátránya viszont, hogy a pontossága nagyban függ az előzetes t célforgalmi mátrix helyességétől. A t mátrixot pedig minden mintavételi időszakban az előző lépés becsült értékei alkotják, ezért nagy változásokra érzéketlen a módszer.

2.2. Kalman-szűrő

Az állapotter-elméleti módszerek a rendszert és az azt érő zajokat is modellezik, valamint némely eljárás bizonyos korlátok kezelésére is képes, így a becsült értékek valós keretek közé szoríthatók (pl. a fordulási arány értékek csak nemnegatív értéket vehetnek fel). Ezenkívül az állapotter-elméleti módszerek az állapotok várható értékén kívül a hozzájuk tartozó szórás értékeket is megbecsülik, így Gauss-eloszlást adnak eredményül.

A nemzetközi szakirodalmat áttekintve kijelenthető, hogy ugyan a hagyományos kereszteződések esetében már alkalmaztak állapotter-elméleti módszereket [6,7], azonban ez körforgalmi fordulási arányok becslésére korábban még nem történt meg. Az alábbiakban a Kalman-szűrő és annak korlátozásokkal kiegészített formáját mutatjuk be.

A Kalman-szűrő eljárás a következő diszkrét idejű mérési egyenletből indul ki [8]:

$$y(k) = C(k)x(k) + z(k), \quad (6)$$

ahol az egyenletben szereplő jelölések a következők:

- $y(k)$ – a zajjal terhelt mérési értékek vektora;
- $x(k)$ – az ismeretlen, időben változó állapotvektor;
- $C(k)$ – súlyozó mátrix;
- $z(k)$ – mérési zaj vektora.

A (6) egyenlet azt fejezi ki, hogy az $x(k)$ állapotvektor nem mindig mérhető közvetlenül, valamint mérési zajjal is terhelt. A Kalman-szűrő legfőbb célja, hogy ezt az $x(k)$ állapotot minél pontosabban becsülje, és minden lépésben kiszámítson egy ilyen becsült állapotot. A mérési zajt fehér zajnak tekintjük.

Ezek után definiálunk egy R kovarianciamátrixot, amely a gyakorlatban a mérési zajok szórásnégyzeteit tartalmazó diagonális mátrix. Bevezetünk egy P állapothiba-kovarianciamátrixot is, amely a becsült állapotokhoz (várható értékekhez) tartozó szórásnégyzeteket tartalmazza a főátlójában. A G mátrix a Kalman-szűrő erősítésértéke, ami a P állapothiba-kovarianciamátrix számításában játszik szerepet.

Dinamikus rendszereknél szükséges lehet magát a rendszert és a hozzá tartozó bizonytalanságot is modellezni, mivel csupán a mérési egyenlettel leírt rendszereknél a hosszú időtartományú mérések során rugalmatlanság figyelhető meg. A Kalman-szűrő rekurzív algoritmus, amely tartalmazza a rendszermodell és az ahhoz tartozó zaj leírását.

A rendszer modellezésénél tehát egy állapot-egyenletet is bevezetünk, amely diszkrét lineáris esetben (LTV – Linear Time Varying) a következőképpen írható fel:

$$x(k+1)=A(k)x(k)+B(k)u(k)+v(k), \tag{7}$$

ahol az egyenletben használt jelölések:

- ♦ $x(k)$ – állapotvektor;
- ♦ $u(k)$ – szabályozó jel, determinisztikus bemenőjel;
- ♦ $A(k), B(k)$ – rendszermátrixok;
- ♦ $v(k)$ – állapotzaj/állapothiba vektora, azaz a rendszert leíró modell hibája (pl. elhanyagolások miatt).

Ahogy a $z(k)$ mérési zajvektorhoz tartozik egy R mérési zaj kovarianciamátrix, a $v(k)$ állapotzajhoz is tartozik egy Q állapotzaj-kovarianciamátrix. A $v(k)$ állapotzaj és így a Q mátrix is a rendszer modellezésének pontatlanságát, bizonytalanságát fejezi ki, a rendszert leíró állapotegyenletben megjelenő 0 várható értékű, Gauss-eloszlású fehér zaj.

A Q és R kovarianciamátrixok értékeinek, egymáshoz való viszonyuknak fontos szerepe van a Kalman-szűrő működésében. A mátrixok értékeit az algoritmus indítása előtt tapasztalati úton kell megbecsülni, szerepük szerint pedig hangolási mátrixokként is jellemezhetők. Ha a Q mátrix értékei jóval nagyobbak R értékeinél, akkor a szűrő eljárás az aktuális mérésekre jobban támaszkodik, viszont ha a Q értéke csökken az R -hez képest, akkor az eljárás inkább a becslés eredményét fogadja el a mérési eredményekkel szemben.

A Kalman-szűrő algoritmus a alább látható (ahol A, B és C mátrixok időben változó módon $A(k), B(k)$ és $C(k)$ mátrixként jelennek meg) [9].

BECSLÉS
Az „a priori” állapotbecslés számítása: $\hat{x}^-(k) = A\hat{x}(k-1) + B(k-1)u(k-1). \tag{8}$
Az „a priori” hiba-kovarianciamátrix számítása: $P^-(k) = AP(k-1)A^T + Q. \tag{9}$

KORREKCIÓ
Mérés, ami $y(k)$ -t szolgáltatja.
Erősítési érték kiszámítása: $G(k) = P^-(k)C^T(CP^-(k)C^T + R)^{-1}. \tag{10}$
Az „a posteriori” állapotbecslés számítása: $\hat{x}(k) = \hat{x}^-(k) + G(k)(y(k) - C\hat{x}^-(k)). \tag{11}$
Az „a posteriori” hiba-kovarianciamátrix számítása: $P(k) = (I - G(k)C)P^-(k). \tag{12}$
Léptetés, majd ugrás a BECSLÉS első pontjára: $k := k + 1.$

A becslő algoritmus két részből áll: az előzetes (a priori) értékek kiszámításából, majd a korrekcióból. Az első részben az előző lépésbeli állapotbecslésből és hiba-kovarianciamátrixból állítjuk elő az előzetes $\hat{x}^-(k)$ vektort és $P^-(k)$ mátrixot. Ezután az aktuális mérési eredményeket becsatolva történik a $G(k)$ erősítés, az aktuális állapotbecslés és a hiba-kovarianciamátrix számítása.

Ha körforgalmak esetében az ágak ki- és behajtó forgalmát mérjük, és a fordulási arányokat szeretnénk becsülni, a Kalman-szűrő eljárás állapotvektorának elemei lesznek a fordulási arányok. Az állapotegyenletben az A mátrix egységmátrixszal, a B mátrix 0-val helyettesítendő, ugyanis nem használunk szabályozó jelet. A mért bemenő forgalmak a $C(k)$ mátrixban jelennek meg. A kimenő forgalom az „a posteriori” állapotbecslés számításánál játszik szerepet, az $y(k)$ oszlopvektor elemei a különböző ágaknál a csomópontot elhagyó járművek számát jelentik a k -adik időintervallumban [10].

2.3. Kalman-szűrő korlátozásokkal

Tegyük fel, hogy a modellezett rendszer teljesíti a következő feltételeket:

$$A_{eq}x(k)=b_{eq}, \tag{13}$$

$$A_{in}x(k)\leq b_{in}. \tag{14}$$

ahol A_{eq} és A_{in} ismert mátrixok, b_{eq} és b_{in} pedig ismert oszlopvektorok. Az indexek az egyenlő-

ségi (equality) és egyenlőtlenségi (inequality) feltételekre utalnak. Ekkor olyan becslést szeretnénk végezni, ahol a becslült $\hat{x}(k)$ értékekre is igaz, hogy:

$$A_{eq} \hat{x}(k) = b_{eq}, \quad (15)$$

$$A_{in} \hat{x}(k) \leq b_{in}. \quad (16)$$

Az, hogy az eljárás teljesítse a fenti korlátozásokat, a becslés projekciójával [11] érhető el. Ez azt jelenti, hogy a Kalman-szűrő algoritmus k -adik lépése után kapott becsléseket „rávetítjük” a korlátozások által meghatározott tartományra. Ezen megközelítés esetén az analitikus megoldás már nem alkalmazható, numerikus módszerre van szükség.

A korlátozásokat teljesítő becslés felírható a következő optimalizációs problémaként [11]:

$$\begin{aligned} \tilde{x}(k) = \\ = \operatorname{argmin}_x (x - \hat{x}(k))^T W (x - \hat{x}(k)), \end{aligned} \quad (17)$$

(13) és (14) korlátozások teljesülése mellett, ahol W egy súlymátrix.

Ha a W súlymátrixot egységmátrixnak választjuk meg, akkor a becslés a legkisebb négyzetek módszerének megfelelő eredményt ad a feltételezett korlátozások mellett, ebből pedig az következik, hogy a becslült értékek a korlátozások implementálása után közelebb kerülnek a valós állapothoz. Az egységmátrixot általánosan I -vel jelölik a szakirodalomban, így $W=I$ esetben a továbbiakban cKF-I-ként hivatkozunk a korlátozásokat kezelő Kalman-szűrőre.

Ha a mérési zajokat fehér zajnak feltételezzük, és W értékét $P(k)^{-1}$ -nek, azaz a k -adik lépésben az állapothiba-kovarianciamátrix inverzének vesszük fel, akkor a korlátozások teljesítése melletti minimális varianciájú becslés várható értéket kapjuk eredményül [12]. A $W=P(k)^{-1}$ esetet cKF-P-vel jelöljük a továbbiakban.

A korlátozások problémájának megoldása a MATLAB optimalizációs csomagjában, az

Optimization Toolbox-ban található `fmincon` függvény segítségével történik. Ennek a függvénynek az argumentumába írandók a következők:

- ♦ a minimalizálandó függvény;
- ♦ a változó kiindulási értéke (x_0);
- ♦ A_{in} ;
- ♦ b_{in} ;
- ♦ A_{eq} ;
- ♦ b_{eq} .

A minimalizálandó függvény esetünkben az alábbi kifejezés:

$$J(x) = (x - \hat{x}(k))^T W (x - \hat{x}(k)), \quad (18)$$

(13) és (14) korlátozások teljesülése mellett.

Az x_0 kiindulási érték a korlátozások nélküli Kalman-szűrő által becslült $\hat{x}^-(k)$ állapotvektor. Az egyenlőtlenségi feltétel a fordulási arányokra nézve az, hogy minden egyes érték nemnegatív legyen (ez A_{in} és b_{in} megfelelő megválasztásával érhető el). Az egyenlőségi feltételben A_{eq} és b_{eq} segítségével két korlát is definiálható: az egy irányból érkező járművek fordulási arányainak összege 1-et kell, hogy adjon, valamint a visszafordulásokhoz tartozó fordulási arányok értéke 0 legyen. Az utóbbi korlátozásban megfogalmazott egyszerűsítést azért tehetjük meg, mert a valós mérések során a visszafordulások száma elhanyagolható volt, ezen feltételezés bevonásával pedig javítható a becslés pontossága. Ugyanakkor, ha valóban jelentős visszafordulási arány lenne egy adott körforgalomban, a javasolt becslő módszer természetesen azt is tudná kezelni.

A korlátozások kezelése tehát a következő módon történik. A Kalman-szűrő algoritmus a k -adik lépésben lefut, a további optimalizálás pedig ezen becslült értékekkel történik. A korlátozások nélküli állapotvektor lesz az `fmincon` függvény bemenete, majd a fentebb részletezett (15) és (16) korlátozások betartása mellett végrehajtódik az optimalizáció. A $(k+1)$ -edik lépésben a Kalman-szűrő azt az állapotvektort használja fel, amely a k -adik lépésben teljesítette a korlátozásokat.

3. VALÓS FORGALOMSZÁMLÁLÁS

A becslő algoritmusok bemeneti adataihoz, valamint a becslt fordulási arányok valós értékekkel való összehasonlításához valós forgalomszámlálásra van szükség. Az elvégzendő vizsgálatokhoz két kecskeméti helyszínen történt forgalomszámlálás az MS Kft. drónos légifelvételei alapján 2020-ban:

- ♦ **1. körforgalom:** Kecskemét, 5. sz. főút és Ladánybenei út találkozási (GPS koordináták: 46.92971298057884, 19.663997128931193);
- ♦ **2. körforgalom:** Kecskemét, 5. sz. főút és Szent László körút találkozási (GPS koordináták: 46.88150317109579, 19.707799625939572).

2. ábra: Drónfelvétel az 1. (felül) és 2. (alul) körforgalomról (forrás: MS Kft.)



A két csomópontot a 2. ábra mutatja, ahol az 1. körforgalom (felül) esetében az 5. sz. főút az 1-3. irány, a Ladánybenei út a 4. irány, a 2. irány pedig a csomópont melletti bevásárló központ felé is vezető bekötőút. A 2. körforgalom (alul) esetében az 1-3. irány szintén az 5. sz. főút, a 4. irány a Szent László körút, a 2. irány pedig a Georg Knorr utca. Mindkét vizsgált csomópont egysávos négyágú kör-

forgalom, az 1. helyszínnél azonban a 2-3. irány kiemelt jobbra kanyarodó sávot is tartalmaz.

Az első helyszínen egy délutáni mérés, a második helyszínen egy délelőtti és egy délutáni számlálás történt. Mindegyik mérés időtartama 26 perc volt (a drón maximális repülési idejének megfelelően). A fentebb megnevezett időintervallumokban a körforgalmakról drónfelvételek készültek, a forgalomszámlálás pedig utólag történt.

A becslő algoritmusok az egységjármű mennyiséget [13][13] veszik alapul, így a forgalomszámlálás járműosztályok szerint történt. Az egyes kategóriák egységjármű-szorozóit az Útügyi Műszaki Előírás határozza meg [14]. Minden vizsgálati időszakra percenkénti és járműosztályonkénti bontásban történt a számlálás. A becslő eljárások vizsgálatánál többféle mintavételi idő is figyelembe vehető, ezért az 1 percesen kívül 2 és 5 perces bontásban is kiszámításra kerültek az egységjármű forgalmak.

4. BECSLŐ MÓDSZEREK ALKALMAZÁSA

Ebben a fejezetben a megvalósított becslő eljárások tesztelésének bemutatására kerül sor. A valós forgalomszámlálások által szolgáltatott adatsor adja mind a becslők input-adatait, mind az eljárások minősítéséhez szükséges valós adatokat. A minősítés mindig az állapotbecslések és a valós állapotok összehasonlításával, performanciamutatókon keresztül történik. Mindegyik módszer alkalmazásra kerül minden rendelkezésre álló forgalmi adatsoron, különböző mintavételi idővel.

4.1. Performanciamutatók

A kiértékelés során két mutató került alkalmazásra [15]: az átlagos abszolút hiba (MAE) és az átlagos négyzetes hiba négyzetgyöke (RMSE). Az előbbi esetében a számítás módja

$$MAE = \frac{\sum_{k=1}^n |\hat{x}_k - x_k|}{n}, \quad (19)$$

ahol n a mintavételek száma, $\hat{x}_k$ a k -adik mintavétel becsült állapota, x_k pedig a valós állapot.

Az RMSE kiszámítása a következőképpen történik:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k - \hat{x}_k)^2} . \quad (20)$$

A MAE és az RMSE is a vizsgált mennyiség mértékegységében adja meg az átlagos hibát. A mi esetünkben ez a fordulási arányok jellemzőiből adódóan egy 0 és 1 közötti mértékegység nélküli szám. Az eltérés irányát mindkét mutató figyelmen kívül hagyja: a MAE az eltérés abszolút értékének vizsgálatával, az RMSE esetén pedig a négyzetre emeléssel oldja meg az előjelek problémáját, valamint a négyzetgyökös kifejezésnek így mindig lesz valós megoldása.

4.2. Hangolás

A Kalman-szűrő alkalmazásánál a hangolási paraméterek pontos beállítása a legfontosabb cél. A becslés tulajdonságai az állapotzaj és a mérési zaj kovarianciamátrixainak (Q és R mátrixok) értékeitől függ. Ezek állítják be a becsülő súlyozását az aktuálisan mért és a korábban becsült értékek között. A gyakorlatban Q és R is definiálható fix értékű diagonális mátrixként, a hangolás pedig a két mátrix értékeinek arányától függ. Így elegendő az R mátrixot egységmátrixként rögzíteni, és az egyes futtatásoknál Q értékét változtatni. Ilyen módon Q értéke lényegében a Q/R arányt is adja. Ez az arány a Kalman-szűrő esetében 10^{20} -ról indul és futtatásonként tizedére csökken, egészen 10^{-10} -ig. A feljegyzett hibamutatók minimumhelye adja az optimális hangolás helyét, így a 10^{-3} -t kapjuk a megfelelő Q/R aránynak.

A korlátozásokat is kezelő Kalman-szűrő (cKF) esetében először az optimalizálásnál alkalmazott W súlymátrixot egységmátrixnak vesszük (cKF-I). Ebben az esetben a 10^{-2} az optimális Q/R arány.

A cKF esetében érdemes megvizsgálni, hogy az egységmátrixtól eltérő W súlymátrix válasz-

tása eredményezhet-e pontosságbeli javulást a becslésben. Ennek érdekében egy rögzített Q/R arány mellett változtattunk a W mátrix értékein. A vizsgálat a következő eredményre vezetett: rontani lehet a becslés pontosságán, javítani azonban még ezrelékes nagyságrendben sem. Fix értékű W optimalizálási súlymátrix esetén tehát érdemes azt egységmátrixnak felvenni (cKF-I).

A pontosabb becslés érdekében érdemes időben változó súlymátrixot felvenni az optimalizálásnál. Jól működő módszer, ha a W mátrixot minden k -adik lépésben az aktuális P állapot-hiba-kovarianciamátrix inverzének állítjuk be (cKF-P). Ebben az esetben a hibamutatók értékében a korlátozások nélküli vizsgálat esetén meghatározott optimális arány helyén megjelenik egy lokális minimumhely, viszont a Q/R arány növelése jelentős pontosságbeli javulást eredményez. Ez esetben a $Q/R=10^6$ adódik ideális hangolásnak.

A hangolás során meghatároztuk a Kalman-szűrő optimális paramétereit:

- korlátozások nélkül - $Q/R=10^{-3}$,
- korlátozásokkal,
 $W=I$ esetben - $Q/R=10^{-2}$,
- korlátozásokkal,
 $W=P(k)^{-1}$ esetben - $Q/R=10^6$.

4.3. Eredmények

A tendenciák és a hibamutatók az összes esetben hasonlóan alakultak helyszíntől és napszaktól függetlenül. Az általánosabb eredmény és az átláthatóság érdekében a három forgalomszámálásra átlagolt értékek kerültek összehasonlításra.

Az 1. táblázat összefoglaló képet ad a vizsgált becsülő módszerek hatékonyságáról a számításba vett mintavételi idők vonatkozásában, valamint a MAE értékek alapján sorba is állítja az eljárásokat. A táblázatban az összesített RMSE értékek is megjelennek, amelyek a MAE-hez hasonló karakterisztikát mutatnak. A sorrendből egyértelműen megállapítható, hogy leghatékonyabban a legnagyobb vizsgált mintavételi idővel becsül az összes módszer, az időköz csökkenésével pedig növekednek a hibák.

1. táblázat: A vizsgált módszerek rangsorolása

Eljárás	Mintavételi idő	MAE	RMSE	Rangsor (MAE)
BP	1 min	0.1181	0.1760	9
	2 min	0.0822	0.1230	5
	5 min	0.0670	0.1050	2
KF	1 min	0.1484	0.2122	12
	2 min	0.1036	0.1505	8
	5 min	0.0742	0.1118	4
cKF-I	1 min	0.1431	0.2110	11
	2 min	0.1026	0.1480	7
	5 min	0.0692	0.1048	3
cKF-P	1 min	0.1183	0.1765	10
	2 min	0.0843	0.1276	6
	5 min	0.0608	0.0945	1

Mindegyik eljárásnál az 5 perces mintavételi idő eredményezte a legkisebb hibákat. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy kisebb mintavételi időnél gyakoribb, hogy egy irányból nem érkezik jármű, ekkor pedig az arányok két lépés közötti változása igencsak nagy lehet, amit a becslő módszerek nehezen követnek. Ezenkívül a forgalomáramlási vizsgálatok ritkán kezelnek 5 percnél kisebb intervallumú adatokat, így érdemes ezen mintavétel eredményeit tanulmányozni.

A legkisebb hibával járó, vagyis az 5 perces mintavételi idő esetén a sorrend a MAE értékek összehasonlításakor a következő:

- 1. cKF ($W=P(k)$ esetben);
- 2. Biproporcionális eljárás;
- 3. cKF ($W=I$ esetben);
- 4. Kalman-szűrő.

5 perces mintavétellel tehát a korlátozásokat kezelő Kalman-szűrő hatékonyabb, mint a hagyományos biproporcionális módszer, azonban rövidebb mintavételi idő esetén a BP eljárás pontossága megelőzi az állapotér-elméleti becslőket.

5. SZIMULÁCIÓS ESETTANULMÁNY

Az esettanulmány egy valós forgalomszámlálásból kiindulva, majd szimulációs környezetben kiterjesztve végzi a vizsgálatot. Az

MS Kft. a korábbi fejezetekben feldolgozott videófelvételeken kívül egy ceglédi körforgalomról is szolgáltatott egy délelőtti és egy délutáni négyórás adatsort, negyedórás bontásban. Ez az időtartam és mintavételi idő a közúti tervezőcégek által gyakran alkalmazott mérési elrendezés. A vizsgálat helyszíne egy négyágú egysávos ceglédi körforgalom, amelyet a 3. ábra mutat.

3. ábra: A ceglédi körforgalom
(GPS koordináták: 47.1816640982951, 19.80063741069683)
(forrás: maps.google.com)

5.1. Hangolás

A becslő algoritmusok mindegyikét behangoltuk a rendelkezésre álló adatsorokra. A leghatékonyabb hangoláshoz tartozó performanciamutatók értékei a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat: A hangolt becslő módszerek összehasonlítása a ceglédi körforgalom esetében

Mintavételi idő: 15 min			
Eljárás	MAE	RMSE	Rangsor (MAE)
BP	0.0773	0.1144	4
KF	0.0606	0.0917	3
cKF-I	0.0565	0.0849	2
cKF-P	0.0529	0.0800	1

Ekkor, a 15 perces bontás esetén az állapotterelméleti becslők teljesítménye jóval meghaladja a BP eljárását. A leghatékonyabban a cKF-P végzi az állapotbecslést. A validáció után a szimulációs környezetben létrehozott különböző forgalmi helyzetekre így a cKF-P módszer kerül tesztelésre, a vizsgálat tárgyát pedig a becslés pontosságának változása jelenti.

5.2. Validáció

A különböző forgalmi helyzetek létrehozásához szimulációs modell építésére van szükség. Ezt a PTV Vissim forgalomszimulációs szoftverrel végeztük, majd a forgalom dinamikus ráterhelése és az adatok lekérdezése COM-programozással [16] történt.

A szimulációban és a valóságban mért értékek összevetésére a forgalmi modellezésben széles körben elfogadott módszer a GEH-indexek számítása. Ezen index alkalmazása nem egy statisztikai próba, hanem egy tapasztalati úton meghatározott képlet a hozzá tartozó küszbértékekkel. A GEH-index a következő módon számítható:

$$GEH_k = \sqrt{\frac{2(M_k - C_k)^2}{M_k + C_k}} \quad (21)$$

ahol M_k a k -adik irány szimulációban mért forgalma, C_k pedig a mért valós forgalom (Ejm/h mértékegységben). Ha a GEH-indexek a vizsgált irányok 85%-ára egyenként (minden mintavételi időre külön) 3-nál kisebb értéket vesznek fel, valamint az irányok mindegyikére átlagosan 2-nél kisebb az index, a validálás sikeresnek tekinthető [17,18]. Kiegészítő feltételenként megadható, hogy az irányokra egyenként vizsgálva az abszolút forgalomnagyságbeli eltérések az esetek 95%-ában kevesebb mint 100 Ejm/h -nak kell lennie [19].

A délelőtti mérésre az egyes indexek 100%-a 3 alatti értéket vett fel, az átlagos értékek pedig mind 2 alatt voltak. Ezenkívül a forgalmak abszolút eltérése is 100%-ban 100 Ejm/h -nál kisebb értéket adott.

A délutáni mérésnél a GEH-indexek 97,7%-a volt 3 alatti, az átlagos értékek mind 2-nél ki-

sebb értéket vettek fel. Az abszolút forgalomeltérés pedig 98,4%-ban 100 Ejm/h alatt volt.

Mindezek alapján a Vissim-modell validációja sikeresnek tekinthető.

5.3. Szcenáriók

A különböző változatok a csomóponti geometria változtatása nélkül kerültek kialakításra. A cél a valós forgalmakra hangolt leghatékonyabb becslő eljárás vizsgálata a forgalmi körülmények változásával, a hangolás változtatása nélkül.

A három forgalmi paraméter, amelynek a változtatásával előállítjuk a szcenáriókat, a következő:

- ♦ forgalomnagyság,
- ♦ a mellék- és főirányú forgalom aránya,
- ♦ a főirány elhelyezkedése (szemközti vagy szomszédos ágak).

A létrehozott szcenáriók a következők:

- ♦ **Sz0:** kontroll szcenárió, a délelőtti és délutáni mérések átlaga;
- ♦ **Sz1:** Sz0 célforgalmi mátrixának minden eleme megnövelve 1,3 szorzótényezővel;
- ♦ **Sz2:** 1:2 forgalmi arány, szemköztes főirányok (2, 4);
- ♦ **Sz3:** 1:6 forgalmi arány, szemköztes főirányok (2, 4);
- ♦ **Sz4:** 1:2 forgalmi arány, szomszédos főirányok (2, 3);
- ♦ **Sz5:** 1:6 forgalmi arány, szomszédos főirányok (2, 3).

A csomópontok teljes forgalma minden esetben az Sz0 esettel megegyező nagyságú (Sz1-et kivéve, ahol 1,3-szeres nagyságú minden forgalomnagyság). A létrehozott szcenáriókban két-két főirány és mellékirány található. A két főirány forgalma egyenlő, valamint a két mellékirány forgalma is. A forgalmi arány a két mellékirány forgalmának és a két főirány forgalmának az arányát írja le. Az Sz4 esetében például a nagyobb forgalmú főutat a 2-es és 3-as irány jelenti, az 1:2 arány pedig azt mutatja, hogy a 2-es és 3-as irány összesített bemenő keresztmetszeti forgalma kétszerese az 1-es és 4-es irány összesített forgalmának.

5.4. Eredmények

A valós délelőtti és délutáni forgalomszámlálások alapján behangolt becslő módszerek közül a cKF-P bizonyult a leghatékonyabbnak, ezért ez az eljárás került tesztelésre az előbbieken részletezett scenáriók esetében. A hangolási paraméterarány rögzített, így a hibamutatókban bekövetkezett változások pusztán az eltérő forgalmi helyzetek eredményei. Az egyes scenáriókhoz tartozó becslési eredmények hibái a 3. táblázatban láthatók.

3. táblázat: A hibamutatók alakulása a különböző scenáriók esetén

Szenárió	Sz0	Sz1	Sz2	Sz3	Sz4	Sz5
MAE	0.0448	0.0379	0.0639	0.0442	0.0577	0.0504
RMSE	0.0696	0.0533	0.0947	0.0726	0.0826	0.0790

A scenáriók performanciamutatóit a kontroll esettel összehasonlítva a következők figyelhetők meg:

- a forgalmi helyzet változása általánosságban véve nem okozott olyan hatékonyságbeli romlást, amely megkívánná a cKF-P becslő módszer felülvizsgálatát;
- a forgalomnagyság növekedése nem okozott nagyobb eltéréseket a becslő pontosságában;
- a mellék- és főirányú forgalmi arány tekintetében a cKF-P becslő annál hatékonyabb, minél kisebb a mellékirányú forgalom hányada a főirányú forgalomhoz képest;
- ha szomszédos ágak jelentik a körforgalom főirányait, a becslés pontossága mindenképpen valamelyest romlik, ha viszont a főirányú forgalom szemközti ágakon halad, a mellék- és főirányú forgalmi arány jobban befolyásolja a becslő hatékonyságát.

6. KONKLÚZIÓ

A kutatás során bemutatásra kerültek a körforgalmú csomópontok forgalmának számlálásával kapcsolatos problémák, és ezeknek már létező megoldásai. A modern állapotér-

elméleti módszerek alkalmazása azonban egy új irányvonalat jelent a körforgalmi fordulási arányok becslésének témakörében. A becslő eljárások részletes ismertetése után a valós mérésekre való tesztelésük következett különböző mintavételi idők figyelembevételével. A becslő eljárások összehasonlítása a kutatás legfontosabb mozzanata, amelyből az alábbi következtetések vonhatók le:

- általánosságban a nagyobb mintavételi idő pontosabb becslést eredményez;
- az állapottér-elméleti becslők hatékonyságát nagyban növeli a korlátozások kezelése;
- a megfelelően hangolt állapottér-elméleti becslők a hagyományos módszereknél jobb eredményt is képesek elérni.

Ezután következett az esettanulmány szimulációs környezetben. A valós mérésekre hangolt becslők közül kiválasztásra került a 15 perces intervallumokra legkisebb hibával operáló módszer, a cKF-P. A modell felépítése és validálása után különböző forgalmi szituációk kerültek kialakításra, amelyek a szimulációk lefuttatásával és a modellen végzett mérésekkel szolgáltatott bemenő adatsorokat a cKF-P becslőnek. Az esettanulmány alapján levonható következtetések a következők:

- a forgalmi helyzet változása általánosságban véve nem okoz lényeges pontosságbeli romlást;
- a cKF-P hangolása kellően robusztusnak tekinthető;
- a forgalomnagyság növelése nem okozott lényeges eltérést a becslő pontosságában;
- a cKF-P becslő annál hatékonyabb, minél kisebb a mellékirányú forgalom hányada a főirányú forgalomhoz képest;
- a becslés pontosabb, ha a főirányú forgalom egymással szemközti ágakon halad;
- ha két szomszédos ág jelenti a főirányokat, a mellék- és főirányú forgalmi arány kevésbé befolyásolja a becslő hatékonyságát.

A témában további kutatási irányt jelenthet a járműkategóriák kezelésének kérdésköre. Ehhez mindenképpen a keresztmetszeti forgalomszámláló módszernek kell biztosítania az osztályokra bontást, a becslő el-

járások azonban többféle módon is kezelhetik a problémát: a becslési eredmények utólagos kategóriaarányos felszorzásával, avagy a becselő eljárások dimenziójának bővítésével (így a becslés minden lépésben járműosztályokra bontva adna közelítést a fordulási arányokra). Ezenkívül a módszerek továbbfejlesztési lehetősége a hangolási paramétermátrixok pontosabb definiálása. Ez jelentheti a fő- és mellékirányú fordulási arányok becslésének eltérő beállításait, vagy akár forgalomtól függő hangolási mátrixok alkalmazását is.

A jövőbeli kutatásokban az eltérő méretű és geometriájú körforgalmak részletes vizsgálata is fontos irány. A spirális vagy turbó körforgalom esetében a lehetséges kilépési helyeket a belépés helye determinálja, így a becslés pontossága is javulhat.

A kutatás eredményei alapján kijelenthető, hogy az állapottér-elméleti becselő módszerek alkalmazása az automatizált keresztmetszeti mérésekkel kombinálva valós alternatívát nyújthat a célforgalmi forgalomszámlálásokkal szemben a körforgalmak esetén.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001: Tehetséggondozás és kutatói utánpótlás fejlesztése autonóm járműirányítási technológiák területén - A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

A drónos mérési adatokat az MS Kft. bocsátotta rendelkezésre.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] C. Taylor; R. Kennedy; Y. Yang, Commission, D.V. R. P. Commission, et al., Automated video-based traffic count analysis, University of Pennsylvania, 2016
- [2] I. Budinska, On ethical and legal issues of using drones, In Aspragathos, International Conference on Robotics in Alpe-Adria Danube Region, Springer International Publishing, Cham, 2018
- [3] T. Luspay; T. Tettamanti; I. Varga, Forgalmirányítás: közúti járműforgalom modellezése és irányítása, Typotex, 2011, ISBN 978-963-279-665-9
- [4] M. Dixon; L. Rilett, Population origin-destination estimation using automatic vehicle identification and volume data, Journal of Transportation Engineering, 2005 DOI: <https://doi.org/fcp943>
- [5] M. Dixon; A. Abdel-Rahim; M. Kyte; P. Rust; H. Cooley; L. Rodegerdts, Field evaluation of roundabout turning movement estimation procedures, Journal of Transportation Engineering, 2007 DOI: <https://doi.org/df4srk>
- [6] E. Papapanagiotou; J. Kathis; F. Busch, Kalman filter for turning rate estimation at signalized intersections, based on floating car data, Transportation Research Procedia, TUM 2018 DOI: <https://doi.org/hb46>
- [7] B. Kulcsár; T. Bécsi; I. Varga, Estimation of dynamic origin destination matrix of traffic systems, Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 2005
- [8] R. E. Kalman, A new approach to linear filtering and prediction, Journal of Basic Engineering (ASME), 1960, 35-45
- [9] T. Tettamanti; I. Varga; A. Csikós, Közúti mérések, eszközök és módszerek a közúti járműforgalom megfigyelésére. Typotex Kiadó, Budapest, 2016, ISBN 978-963-279-916-2
- [10] T. Tettamanti; T. Luspay; I. Varga, Road Traffic Modeling and Simulation, Akadémiai Kiadó, 2019, <https://mersz.hu/tettamanti-luspay-varga-road-traffic-modeling-and-simulation>
- [11] N. Gupta; R. Hauser, Kalman filtering with equality and inequality state constraints, arXiv preprint arXiv:0709.2791, 2007
- [12] D. Simon, Kalman filtering with state constraints: a survey of linear and nonlinear algorithms, IET Control Theory & Applications, 2010, 4(8):1303-1318
- [13] M. Lay, Handbook of Road Technology, SponPress, Abingdon, UK, 2009
- [14] Magyar Közút Nonprofit Zártkörűen Működő Részvénytársaság, Országos közutak keresztmetszeti forgalomszámlálása és a forgalom nagyságának meghatározása, Ütügyi Műszaki Előírás, 2009

- [15] C. Chen; J. Twycross; J. M. Garibaldi, A new accuracy measure based on bounded relative error for time series forecasting, PloS one, 2017, 12(3):e0174202 DOI: <https://doi.org/f9v4kd>
- [16] Zs. Bede; A. Csikós; M. T. Horváth; T. Tettamanti; I. Varga, Közúti forgalommodellezési gyakorlatok, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2018
- [17] M. Takács, Forgalmuszimulációs elemzések egységes vizsgálati módszertanának kidolgozása, 2004
- [18] O. Feldman, The GEH measure and quality of the highway assignment models, Association for European Transport and Contributors, 2012, 1–18
- [19] TfL (Transport for London), Traffic Modelling Guidelines: TfL Traffic Manager and Network Performance Best Practice Version 3.0, 2010



Estimation of the ‘from where to where’ traffic of roundabouts using state space theory methods

This paper describes the different traffic counting methods, the estimation methods used during the development, and the international research and examples of estimating the turnaround rates. Based on real traffic counts, the different state-space theory estimation methods are calibrated and their accuracy is compared using performance indicators. Finally, an examination of the accuracy of the most efficient estimation method is presented in different traffic situations in a validated simulation environment.



Abschätzung des „von wo nach wohin“-Verkehrs von Kreisverkehren mit Methoden der Zustandsraumtheorie

Dieser Beitrag beschreibt die verschiedenen Verkehrszählungsmethoden, die bei der Entwicklung verwendeten Schätzmethoden sowie die internationale Forschung und Beispiele zur Schätzung der Wendungsraten. Die verschiedenen Schätzungsmethoden die auf den Zustandsraum-Theorien basieren, werden auf Grund von realen Verkehrszählungen kalibriert, und ihre Genauigkeit wird mit der Hilfe von Leistungsindikatoren verglichen. Abschließend wird die Genauigkeit des effizientesten Schätzverfahrens in verschiedenen Verkehrssituationen in einer validierten Simulationsumgebung untersucht.



Hazai bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása egy soproni tesztparcella meteorológiai adatai alapján

**Herceg András¹ – Tóth Csaba² – Primusz Péter²
Kalicz Péter³ – Gribovszki Zoltán³**

¹Soproni Egyetem, Humán és Természeti Erőforrások Kutató Központ

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútépítési Tanszék

³Soproni Egyetem, Földmérési, Térképészeti, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet

e-mail: herceg.andras88@gmail.com, toth.csaba@emk.bme.hu, primusz.

peter@emk.bme.hu, kaliczp@gmail.com, zgribo@gmail.com

Az útpályaszerkezetek a forgalmi terhelés mellett a klimatikus hatásoknak is kitéttek az üzemeltetésük során. Ennek jelentőségét felismerve az USA-ban a múlt század utolsó évtizedében új bitumenosztályozási rendszert fejlesztettek ki és integráltak az American Strategic Highway Research Program (SHRP) -ba. Az amerikai eredmények megismerését követően, hazánk már 1995-ben létesített SHRP kötőanyagszabvány szerinti vizsgálatokra alkalmas laboratóriumot, és kezdte meg a bitumenek SHRP megfelelőségi vizsgálatát. Ez az innovatív folyamat azonban megszakadt, jelenleg Magyarországon az útbitumenek osztályozása jellemzően a konvencionális vizsgálati eljárások alapján történik.

A viselkedésalapú kötőanyagszabvány kulcsparamétere a viselkedési fokozatok (PG X-Y) rögzítése, ami ugyan a magyar klimatikus adatok feldolgozását követően a kilencvenes években megtörtént, azonban mára aktualizálásra szorul.

A bemutatott kutatás egy olyan módszertan eredményeit ismerteti, ahol a kiválasztott soproni vizsgálati cella hőmérsékleti adatait felhasználva nemcsak jelenlegi, hanem a jövőre prognosztizált klimatikus viszonyok is figyelembevételre kerülnek.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.1.3>

1. BEVEZETŐ

Az aszfalt pályaszerkezetek élettartamát a forgalmi igénybevétele mellett, a létesítésük helyén fennálló olyan éghajlati és időjárási feltételek (a léghőmérséklet, a sugárzás, a csapadék, a szél, a köd, az ónososó stb.) is nagyban befolyásolják, amik legtöbbször emberi beavatkozással sem küszöbölhetők ki [20]. A pályaszerkezetek megtervezése során tehát ezek fontos tényezőként veendő figyelembe. Különös tekintettel kell lenni a hőmérséklet és a sugárzás hatására, hiszen az aszfaltkeverékek terheléssel szembeni ellenállása hőmérsékletfüggő [21] [27]. Az aszfalt magas hőmérsékleten ($>30^{\circ}\text{C}$) jellemzően elasztoviszko-plasztikus, míg alacsony hőmérsékleten elasztikus tulajdonságot mutat. Nyári csúshőmérsékletek esetén az aszfalt pályaszerkezetek akár $50-60^{\circ}\text{C}$ -ig is felmelegedhetnek, aminek köszönhetően a rétegek deformálódhatnak és keréknyomképződés léphet fel [3]. Télen a lehűlt pályaszerkezetre ($<0^{\circ}\text{C}$) a térfogatcsökkenés, a napi hőmérsékletingadozás miatt a repedéseképződés jellemző. Megemlítendő még a pályaszerkezet nedvességtartalmának változásából adódó deformáció is, azaz amikor a hőmérséklet gyakran ingadozik 0°C körül (fagyás-olvadás ciklusok), ami összességében az aszfaltburkolat tartósságát érinti [21] [26]. A két végétel között, a közepes hőmérsékleti tartományban ($5-15^{\circ}\text{C}$) kell csak az aszfaltkeverékek jelentős fáradásával számolnunk [27]. A valós környezeti változásoknak kitett és igénybevétellel terhelt pályaszerkezeteken a hőmérsékletfüggő tönkrementeli formák együttesen, illetve egymás hatását befolyásolva jelennek meg [27].

A felsorolt kedvezőtlen hatások az útpályaszerkezeti hibák megjelenésére vonatkozó vizsgálatok fejlesztését és a valós aszfalt fenntartási feltételek hosszú távú meghatározását indokolják [21]. Kevésbé hangsúlyozott, de kiemelt fontosságú az alsóbbrendű vagy mezőgazdasági utaknál, valamint az agro-erdészeti rendszerek kiszolgáló útjainál, illetve az erdők feltárhálózataánál a környezeti jellemzőik alaposabb vizsgálata. Ezeknél az úthálózatoknál az időjárásnak való kitettség a vékonyabb pályaszerkezet miatt erőteljesebben érezteti hatását.

A klimatikus hatások aszfaltrétegekre gyakorolt hatása azonban nem vizsgálható a kötéanyagok viselkedésének tanulmányozása nélkül. Kutatásunk, amelynek legfontosabb eredményeit összefoglaljuk. Az összegezés arra fókuszált, hogy megvizsgálja a magyar klimatikus viszonyoknak megfelelő bitumenfokozatok korabeli meghatározásának korszerűségét, és ellenőrizze az amerikai eredmények mintegy 30 évvel ezelőtti hazai adaptációjának megbízhatóságát, egyrészt az időközben a szakma rendelkezésére álló pontosabb meteorológiai adatbázis(ok) felhasználásával, másrészt a modellszámításhoz alkalmazott és időközben átdolgozott újabb egyenletek segítségével.

2. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS HATÁSAI A PÁLYASZERKEZETEKRE

A klímaváltozás sajátossága, hogy a megváltozó környezeti feltételek visszahatnak a klímaváltozást indukáló gazdasági és társadalmi tevékenységre. Az infrastruktúra éghajlati szempontból való időállósága a kulcskérdés, míg a jelenben zajló tervezéseknél pedig az, hogy a megvalósuló utak pályaszerkezetei mennyire lesznek majd a változó klímahatásokra optimalizáltak. Ezt a kérdést döntően meghatározza, hogy az egyes tervezési paraméterek (egyenletek állandói, zónahatárok, zónákra jellemző faktorok) mennyire aktuálisak és veszik figyelembe az elkövetkező időszakok előrejelzéseit. A klímaszcenáriók ugyanis a szélsőséges időjárási események gyakoriságának növekedését prognosztizálják (hőhullámok, a korai és a kései fagyok, a jelentős szélviharok, a nagy intenzitású felhőszakadászerű esőzések és ennek vízelvezetési problémái, valamint a nyári időszakokban fellépő hosszabb aszályos időszakok megjelenése) [2].

Az utakra gyakorolt hőmérsékleti hatásokat elemezve pár fontosabb példát ki kell emelni [2]:

- Az aszályos időszakok negatív hatással lehetnek a pályaszerkezetekre a szegélyező növényállományok vitalitásán keresztül, ami csökkenti ezáltal a növények szélsőséges-mérséklő hatását.

- ♦ Az egyre forróssodó nyári hónapok fokozott aszfaltkárosodást eredményeznek. A gyakoribb hőségnapok, hőségperiódusok fokozott burkolat-nyomvályúsodást indukálnak, különösen, ha a napi átlaghőmérséklet több, mint három napon keresztül 26°C feletti. A nyári melegedési tendenciára azért érdemes figyelni, mivel az aszfaltkeverékek merevségi modulusai, különösen a plasztikus deformációra való hajlam is kedvezőtlen irányba változik a hőmérséklet emelkedésével. A kapcsolat pl. exponenciális függvénnyel jól leírható [27], így a változás mértéke a hőmérséklet emelkedésével rohamossá válik.
- ♦ A fagypont körüli hőmérséklet és a gyakrabban változó halmazállapotú csapadék is problémákat okoz az útburkolatokban. A fagy miatti aszfaltrepedésekbe szivárgó víz a kátyúsodást fokozza.
- ♦ A frekvenciátaliban megjelenő fagyás-olvadási ciklusok a kritikus időszakokban a földmű nagyobb fokú elnedvesedését, teherbírás csökkenését eredményezhetik [11].
- ♦ A városokban az aszfaltozott utak, a városok ritkásabb növényzete, az egyre több, nagy üvegfelületekkel rendelkező épület és a hűtésüket szolgáló légkondicionálók használata a klímaváltozás indukálta hőmérsékletemelkedést fokozza. Ez a hatás a városokban még fokozottabb nyomvályúsodáshoz vezethet [28].

A klímaváltozás tehát a megváltozó környezeti jellemzők miatt a pályaszerkezetek tervezési paramétereinek, esetleg magának a tervezési elveknek a módosítását indukálja [12].

3. KLIMATIKUS JELLEMZŐK ÉS VÁLTOZÁSUK

3.1. Hőmérséklet és csapadék átlagok múltbeli tendenciái

Magyarország éghajlattörténetében az elmúlt 30 év hozta a legintenzívebb változást. Leginkább a nyarak átlaghőmérséklete emelkedett, amely az utóbbi 30 évben elérte a 2°C -t [2] [19]. Az éves csapadékmennyiség hazánkban a 20. század elejétől országos mértékben enyhe csökkenést

mutat. Ezen belül a Dunántúlon az országos átlagnál nagyobb mértékű volt a csökkenés [7] [2]). A csapadékoság (főként a nagycsapadékok, valamint a téli összes csapadék) a pályaszerkezet méretezés szempontjából legfőképp a pályaszerkezet alatti talaj teherbírását befolyásolhatja. A szélsőségesen meleg időjárási periódusok az elmúlt 30 évben gyakoribbá váltak [8] [19]. A nyári napok száma (napi max. $>25^{\circ}\text{C}$) átlagosan 8 nappal, a hőhullámos napok száma pedig (napi átlag $>25^{\circ}\text{C}$) 5 nappal nőtt. A fagyos napok száma (napi min. $<0^{\circ}\text{C}$) az általános melegedés révén azonban 10 nappal csökkent [19]. A csapadék időbeli eloszlása is módosult. A csapadékos napok száma csökkent, tehát gyakoribbá váltak az aszályos nyarak [34], úgy, hogy a nyári csapadékintenzitás (az egy csapadékesemény alatt lehulló mennyiség) egyúttal országos átlagban növekedett, de területenként eltérő mértékben [19].

3.2. Hőmérséklet és csapadék átlagainak jövőbeli alakulása

A 21. századi, regionális klímaelőrejelzések egész Európára, egyre fokozódó, minden évszakra kiterjedő felmelegedést prognosztizálnak [5] [15] [16] [17] [22]. A melegedés mértéke $2\text{--}5^{\circ}\text{C}$ az alkalmazott klímamodell és emissziós forgatókönyvtől függően. Nemzetközi [40] kutatások alapján a globális átlagnál 2°C -kal jelentősebb melegedéssel kell számolni Európában egy 1971-2000 közötti referencia-időszakkal összehasonlítva (SRES globális klímamodell A1B klíma forgatókönyv, 25 km-es felbontásra leskála). A változások Európaszerte eltérőek, ami konkrétan a globálisnál enyhébb melegedést jelent a nyugati régiókra, ám intenzívebbet Dél-Európára a nyári, illetve Észak- és Kelet-Európára a téli időszakokra vonatkozóan.

Az éves csapadékösszegek szempontjából a 21. század második felére Európában az északi régiók esetén emelkedés, míg a déli térségek esetén csökkenés várható [18]. Ezt a trendet erősíti meg az IPCC 2014-es jelentése is [14] [17] [40]. Magyarországon a hőmérsékletek a 21. század végére akár $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$ -val is magasabbak lehetnek, és a nyarak hőmérséklete emelkedhet a legfőképp [2].

A csapadékösszegben a feltételezhető hazai, jövőbeli változás nem szignifikáns, mivel úgynevezett átmeneti zónában helyezkedik el. Nyáron viszont a század végére minden klímamodell szerint a csapadékmennyiség jelentősebb csökkenése várható, ugyanakkor a telek csapadékosabbá válhatnak [9] [35]. Hazánkra jellemző a szabálytalan csapadékeloszlás, vagyis a heves csapadékesemények és az erős szárazság megjelenése is ugyanolyan valószínűségű [10] [25].

Európában a jövőben megnövekedhet a szélsőséges napi maximum hőmérsékletek és szélsőséges napi csapadékok, így árvizek előfordulása. Európa egész területén gyakoribbá válhatnak a hőhullámok [14].

Magyarországon a napi maximum és minimumhőmérsékletek növekedése várható századunk végére, és gyakoribbá válnak majd a meleg hőmérsékleti szélsőségek (hőség és forró napok), azonban a hideg szélsőségek (téli és fagyos napok) száma csökken [35].

A csapadék időbeli eloszlásának átalakulása prognosztizálható. A század végére a csapadékos napok száma tovább csökken. A nagy csapadékok (20mm<) valószínűsége, a nyarat leszámítva általában növekednek [19], és az ezek következtében megjelenő villámárvizek is gyakoribbá válhatnak, ugyanakkor a hosszabb csapadékmentes periódusok szélsősége-sebb aszályokat indukálhatnak [8].

4. SHRP BITUMENKUTATÁSI PROGRAM

A sötét felszínű aszfaltburkolat hőmérsékletet akkumuláló sajátossága miatt (aminak oka a kisebb albedó), a lég- és a burkolat hőmérséklet többnyire eltérő. A burkolat hőmérséklete általában tartósan magasabb [4]. Az aszfalthőmérséklet mérések a léghőmérséklet-mérésekhez viszonyítva csak korlátozottan állnak rendelkezésre. A léghőmérséklet-mérések viszont közel teljes országos lefedettséget mutatnak, és lehetőség van ezeknek az aszfalthőmérséklet-becslésre való alkalmazására. A léghőmérséklet jellemzően szezonálisan, havi gyakorisággal használható az aszfalt pályaszerkezetek

hőmérsékletének becslésére. A pillanatnyi aszfalthőmérséklet ugyanis nemcsak a léghőmérséklettől, hanem az ezt megelőző időszak (órák, sőt napok) időjárásától is függ. Ezért nehéz nagy időbeli felbontásban általános érvényű összefüggést adni.

A bitumenek osztályozásához, a pályaszerkezetek tervezési burkolathőmérsékletének meghatározásához kiváló lehetőséget biztosít a léghőmérsékleten alapuló amerikai módszer, amelyet a SHRP bitumenkutatási program keretében dolgoztak ki.

Magyarországon az Európai államok többségéhez hasonlóan a pályaszerkezetekben funkcionáló bitumenek tesztelése és osztályozása a 25°C-on történő penetrációs értéken alapszik, az adott klimatikus körülményeket figyelmen kívül hagyva.

Az 1990-es években egy új, az aszfaltkeverékek teljesítménytesztjén alapuló bitumenosztályozási rendszert fejlesztettek ki, amelyet mára a legtöbb USA államban és Kanadában is bevezettek. Ezen vizsgálati módszerek nemcsak az európai szabályozásban jelentek meg, de jelentős kutatásokat végeztek ebben a témában emellett például Pakisztánban, Egyiptomban, Sri Lankán, Ugandában vagy Thaiföldön [24] [29], elsősorban annak érdekében, hogy az amerikai eredményeket az adott ország klimatikus adottságaira és műszaki lehetőségére adaptálják.

Európában, Lengyelországban készült átfogó kutatás, ahol országos szinten, 30 éves periódus klímaadat alapú bitumenosztályozása történt meg [29] [30]. A [21] kutatásokban az amerikai módszer szerinti éghajlati és időjárási feltételek figyelembevétele történt meg Fehéroroszországban, egy 20 éves klímaadatsoron. Az osztályozás itt is [29]-hez hasonlóan több terhelési és az ahhoz kapcsolódó valószínűségi kategóriákat vesz figyelembe.

A „Performance Grade”, vagyis viselkedési fokozat elnevezésű új, bitumenosztályozási rendszer kifejlesztésének az alapcélja az utak minőségének és tartósságának fejlesztése volt, míg koncepciója, hogy a pályaszerkezetekben

levő bitumenkeverékekre vonatkozó tesztípusokat és követelményeket az aktuális, valamint helyi éghajlati és időjárási körülményekhez igazítsák. [37] [39] A Strategic Highway Research Program (SHRP) eredményeként jött létre a viselkedési fokozat alapú osztályozási rendszer, amelyet az USA kongresszusa 1987-ben fogadott el [Superpave Performance]. A kutatás eredménye a Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) keverék-tervezési módszer lett. A bitumenekre vonatkozó előírások létrehozása, az aszfaltok tervezési hőmérsékletének, adott éghajlati zónában való meghatározásával történik, ahol a bitumeneknek specifikus teljesítmény-követelményeknek kell megfelelnie [29] [33].

Megjegyezzük, hogy a Superpave keverék-tervezési módszer ugyan nem teljeskörűen váltotta be az előzetes várakozásokat és aszfaltkeveréktervezés tekintetében a későbbiekben jelentős átdolgozásra szorult, a módszer részét képező bitumenértékelési eljárás elméleti megalapozottsága és gyakorlati alkalmazhatósága vitathatatlan, erre utal széles körű elterjedése. Ismerete nélkül napjaink angolszász keveréktervezési módszerei nem használhatók.

5. ANYAG ÉS MÓDSZER

5. 1. Viselkedési fokozat (Performance Grade) kialakítása bitumenek esetén

A bitumen viselkedési fokozat meghatározásának és majd osztályozásának alapját, az útpályaszerkezetek napi minimum és a maximum hőmérsékletének meghatározása képezi (PG X-Y).

- Az aszfalt maximum tervezési hőmérséklete az egy éven belüli hét, egymást követő legmelegebb nap átlaghőmérsékletéből kerül meghatározásra. (PG X);
- Az aszfalt minimum tervezési hőmérséklete az egy adott évben mért legalacsonyabb napi minimumhőmérséklet felhasználásával számolható. (PG Y) [29].

A Superpave előírása szerint egy vizsgálati periódus minimum 20, maximum 30 év le-

het. Az aszfalthőmérsékleteket (minimumot és maximumot tehát egyaránt) évenként kell meghatározni [29].

Az aszfalt osztályozása (PG X-Y meghatározása), az Amerikai AASHTO M 320-10 szabvány alapján, 6 °C-os lépésközzel történik [1] (lásd 1. Táblázat!).

1. táblázat: Viselkedési fokozat osztályozása [1]	
PG-X (maximális bitumenüzemeltetési hőmérséklet) [°C]	PG-Y (minimális bitumenüzemeltetési hőmérséklet) [°C]
<46	>-34; >-40; >-46
<52	>-10; >-16; >-22; >-28; >-34; >-40; >-46
<58	>-16; >-22; >-28; >-34; >-40
<64	>-10; >-16; >-22; >-28; >-34; >-40
<70	>-10; >-16; >-22; >-28; >-34; >-40
<76	>-10; >-16; >-22; >-28; >-34
<82	>-10; >-16; >-22; >-28; >-34

Az 1. táblázat értelmezéséhez példaként vegyünk egy PG 64-16-ot. Ez esetben egy adott bitumen útpályaszerkezet rétegbe elhelyezett aszfaltkötőréteg rendeltetésszerűen -16 °C-tól, +64 °C-ig alkalmazható, a megadott valószínűségi kategóriában.

Magyarország vonatkozásában a PG besoroláshoz szükséges alapszámításokat a kilencvenes években elsősorban dr. Tóth Sándor és Perlaki Róbertnek köszönhetően elvégezték. Elsődleges számításaik szerint a magyar klimatikus viszonyoknak döntő mértékben (86,7%) a PG 58-28, illetve 13,7%-ban a PG 58-22 besorolás felelt meg. Megjegyezzük, hogy az ekkor használatos B-65 illetve B-80 típusú bitumenek a PG 58-28 követelményszintnek nem voltak képesek megfelelni [31].

1998-ban az időközben a minimális burkolathőmérséklet meghatározására vonatkozó összefüggés kismértékű módosítása miatt a számításokat újra elvégezve, a hazánkban alkalmazandó viselkedési fokozatnak már a PG 58-22 típust javasolták. A kapott eredmény összhangban volt a hasonló szélességi fokon

fekvő észak-amerikai államok esetén választott besorolásokkal is, illetve a közel azonos időszakban végzett osztrák felmérés szerint Ausztriában a SHRP fokozatok 51,6%-a PG 58-28, 16,5%-a pedig a PG 58-22 típushoz tartoztak.

5.2. A maximum és a minimum PG hőmérsékletek meghatározásának módszere

A módszer első verziójában csak két valószínűségi szintet alkalmaztak: 50% és 98%. A korabeli magyar számítások 98%-os megbízhatósággal készültek [38], később, a fejlesztés és validálás révén, a 85% és 95% valószínűségi szint is elfogadottá vált. Az 50%-os valószínűség azt jelenti, hogy egy adott maximális vagy minimális léghőmérséklet minden második évben fordulhat elő, míg a 98%-os valószínűség pedig azt, hogy a maximális vagy a minimális léghőmérséklet ötven évente fordulhat elő [29].

A léghőmérsékletekből számolt útpályaszerkezet hőmérsékletek, a pályaszerkezet hőáramának és hőenergia-megmaradásának elméleti modelljén alapulnak. A modell validálása a levegő és az útpályaszerkezetek hőmérsékletének terepi mérésével történt, és erős korrelációt mutatott bár a validálás viszonylag kis számú mérési ponton alapult [31] [32].

A PG hőmérséklet számításának első verziójában nem különítették el aszfaltrétegeket a burkolatban, hanem a teljes burkolatra határoztak meg egy PG-t. A minimális hőmérsékletet a pályaszerkezet felületére, a maximális hőmérsékletet pedig annak felülete alatti 20 mm-es mélységre kell meghatározni [29].

5.2.1. Hétnapos maximum hőmérsékletek átlaga

Az egy adott aszfaltréteghez kötött maximum PG hőmérséklet meghatározásra, a következő egyenlettel lehetséges, [23] [36]:

$$T_{\max}^d = 54,32 + 0,78 \cdot T_{\text{air}} - 0,0025 \cdot \phi^2 - 15,14 \cdot \log_{10}(d + 25) + z(9 + 0,61 \cdot \sigma_{\text{air}}^2)^{0,5} \quad (1)$$

Ahol:

$T_{\max}^d$: Maximum pályaszerkezet-hőmérséklet, „d” mélységben, a felső PG érték [°C]

T_{air} : A hét egymást követő legmagasabb napi maximumhőmérsékletek átlaga [°C]

ϕ : A meteorológiai állomás szélességi foka [°]

d: a réteg tervezési mélysége [mm]

σ_{air} : A 7 napos maximumhőmérsékletek szórása [°C]

z: statisztikai mennyiség (normál eloszlás alapú). Z=0, ha P=50%; z=0,84, ha P=80%; z=2,05, ha P=98%.

5.2.2. Minimum pályaszerkezet hőmérséklet

A következő egyenlet felhasználásával, egy adott aszfaltrétegben a minimum PG hőmérséklet került meghatározásra, [23] [36]:

$$T_{\min}^d = -1,56 + 0,72 \cdot T_{\text{air}} - 0,004 \cdot \phi^2 + 6,26 \cdot \log_{10}(d + 25) + z(4,4 + 0,52 \cdot \sigma_{\text{air}}^2) \quad (2)$$

Ahol:

$T_{\min}^d$: A minimum pályaszerkezet-hőmérséklet „d” mélységben [°C]

T_{air} : Minimum léghőmérsékletekből számolt átlag [°C]

ϕ : A meteorológiai állomás szélességi foka [°]

d: A réteg tervezési mélysége [mm]

σ_{air} : A 7 napos maximumhőmérsékletek szórása [°C]

z: statisztikai mennyiség (normál eloszlás alapú). Z=0, ha P=50%; z=0,84, ha P=80%; z=2,05, ha P=98%.

5.3. Kutatási terület és adatbázis

A napi maximális és minimális hőmérsékletértékek, mint napi felbontású bemenei adatok Sopronra, mint kutatási területre eső pixel felhasználásával kerültek letöltésre. Vizsgálati időszakként „jelennek” a 1990-2020 (1990.01.01. – 2019.12.31.) közötti 30 éves időszakot jelöltük ki. Az előrejelzéshez a REMO regionális klímamodellt használtuk fel, amelynek alapadatait az 2. táblázat mutatja. Az előrejelzés időszakai pedig 2020-2050 (2020.01.01 – 2049.12.31.), valamint 2050-2080 (2050.01.01 – 2079.12.31.).

2. táblázat: Az alkalmazott RCM-ek (Jacob et al., 2007).

Modell azonosító	Kutató intézet	Regionális klíma-modell	Globális klíma-modell	Kibocsátási forgatókönyv	Térbeli felbontás
1	Max-Planck-Institute for Meteorology (MPI)	REMO	ECHAM5	A1B	25 km

5.3.1. FORESEE (Open Data-base FOR Climate Change-Related Impact Studies in Central Europe)

A léghőmérsékletek beszerzéséhez felhasznált adatbázis a FORESEE, ami egy napi léptékű rácsponti adatbázis, meteorológiai adatokkal (minimális és maximális léghőmérséklet, valamint csapadék).

A FORESEE ~1 270 000 km²-es területet ölel fel, 1/6 × 1/6 fokos térbeli felbontással, és teljes egészében lefedi Bosznia-Hercegovinát, Horvátországot, Csehországot, Szlovákiát, Szlovéniát és Magyarországot.

A múltra (1951-2019) interpolált megfigyelési (mért) adatok állnak rendelkezésre. Az előrejelzés adatai pedig 2020-2100 között, 10 korrigált regionális klíma-moddellre (ENSEMBLES FP6 projekt [22]) érhetők el, A1B üvegházgáz kibocsátási szcenáriót felhasználva [6].

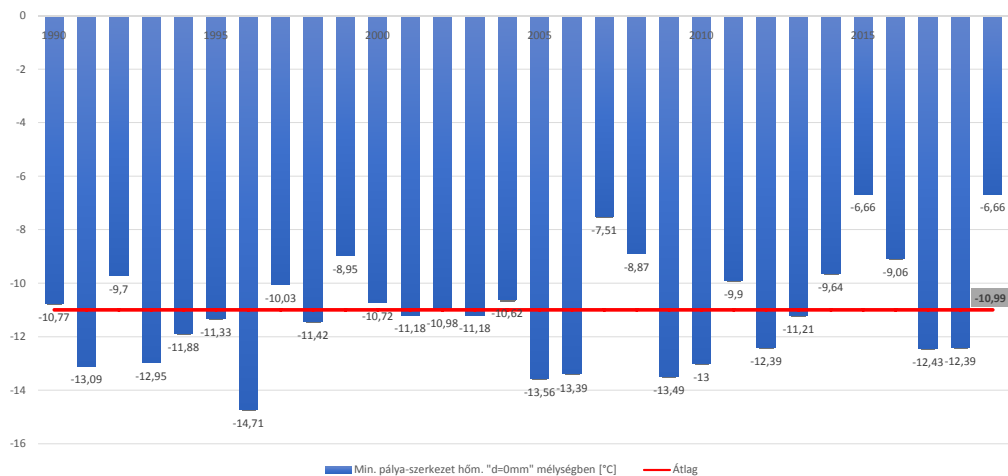
6. EREDMÉNYEK

A kutatás eredményeit a 3., 4. és 5. táblázat, valamint az 1.-6. ábra összegzi éves lebontásban. A táblázatok végén, valamint a grafikonokon vonal formájában a 30 éves vizsgálati időszakra történő átlagolások találhatók.

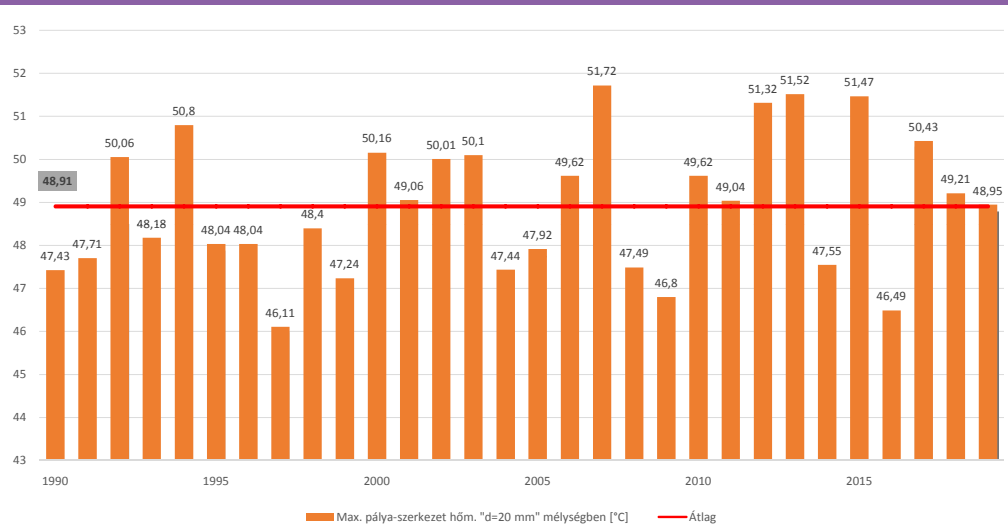
A táblázatokban és az ábrákon szereplő maximum, valamint minimum pályaszerkezet-hőmérsékletek meghatározása tehát, „A maximum és a minimum PG hőmérsékletek meghatározásának módszere” alfejezetben közölt képletek segítségével történt. Fontos megjegyezni, hogy a képletek felhasználása során valószínűségi szintnek, a P=50%-ot vetünk, amiből z=0 következik, vagyis az utolsó tag értéke is 0.

3. táblázat: Az 1990-2020-as vizsgálati időszak, mért adatokra alapozott eredményei. A hét egymást követő legmagasabb napi maximumhőmérsékletek; A maximum pályaszerkezet-hőmérséklet "d" mélységben; A napi minimum léghőmérsékletekből számolt átlag; A minimum pályaszerkezet-hőmérséklet "d" mélységben.	Min. pályaszerkezet-hőm. „d” mélységben [°C]
	-10,77
	-13,09
	-9,7
	-12,95
	-11,88
	-11,33
	-14,71
	-10,03
	-11,42
	-8,95
	-10,72
	-11,18
	-10,98
	-11,18
	-10,62
	-13,56
	-13,39
	-7,51
	-8,87
	-13,49
	-13
	-9,9
	-12,39
	-11,21
	-9,64
	-6,66
	-9,06
	-12,43
	-12,39
	-6,66
	-10,99 (2,03)

1. ábra: Minimum pályaszerkezet-hőmérsékletek a burkolat felszínén (d=0 mm mélységben) (1990-2020).

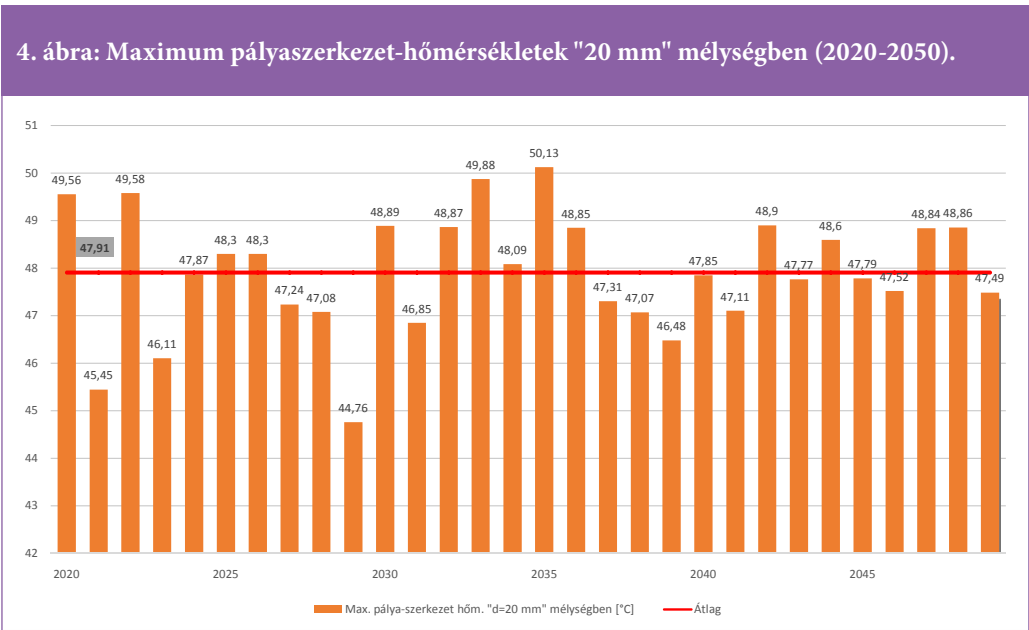
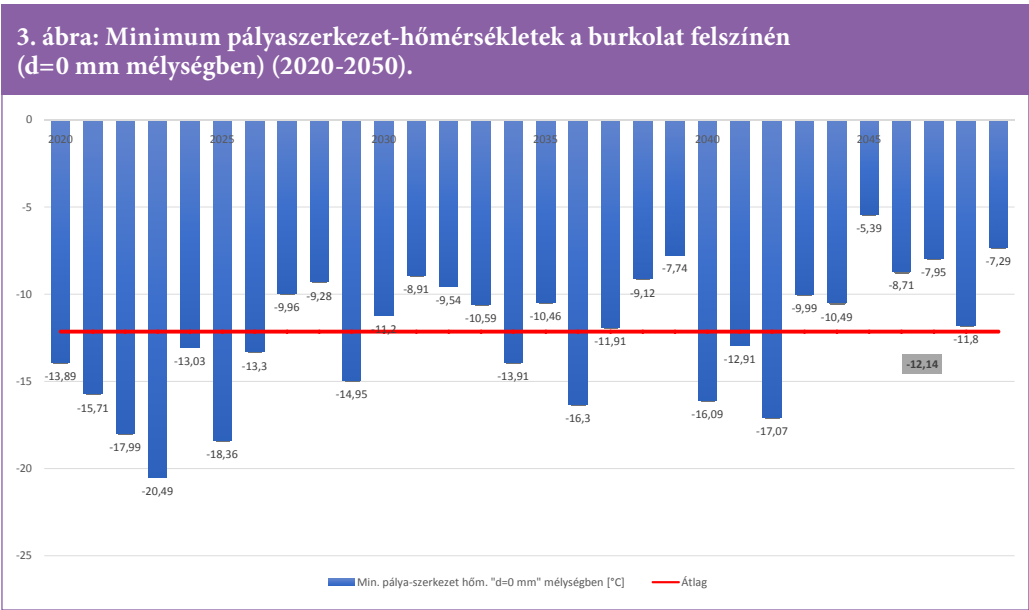


2. ábra: Maximum pályaszerkezet-hőmérsékletek "20 mm" mélységben (1990-2020).



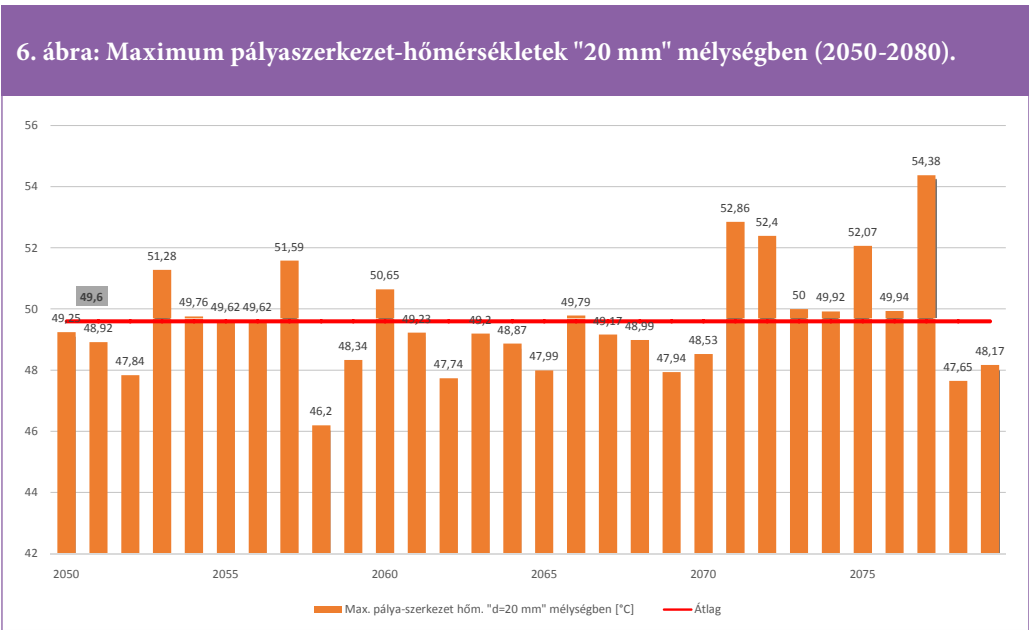
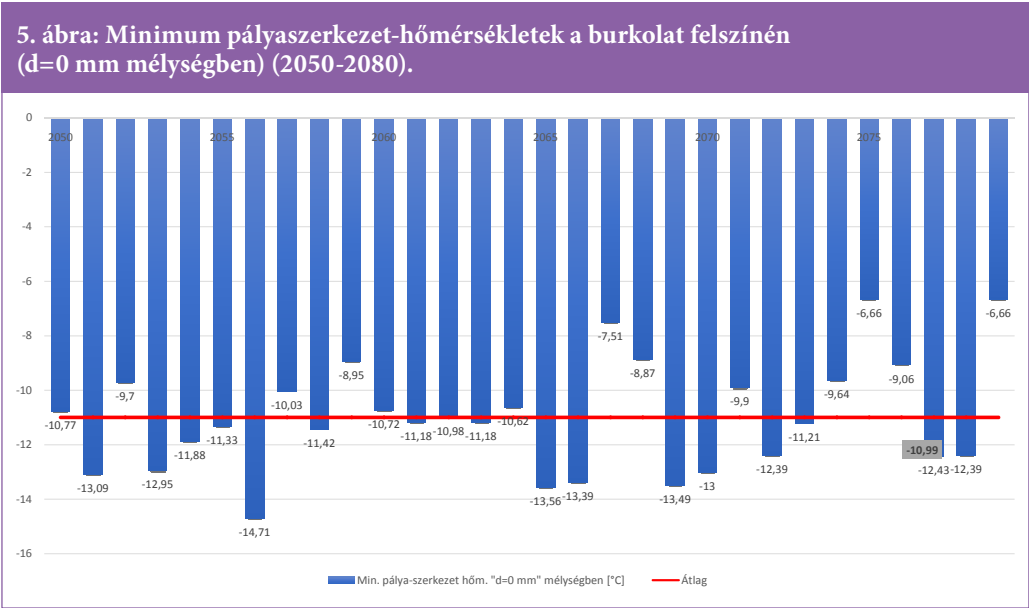
4. táblázat: Az 2020-2050-as vizsgálati időszak REMO klímamodellre alapozott eredményei. A hét egymást követő legmagasabb napi maximumhőmérsékletek; A maximum pályaszerkezetmélységek "d" mélységben; A napi minimum léghőmérsékletekből számolt átlag; A minimum pályaszerkezet-hőmérséklet "d" mélységben.

Év	A hét egymást követő legmagasabb napi max. átlaga [°C]	Max. pályaszerkezet-hőm. „d” mélységben [°C]	Napi min. lég-hőm.-ből számolt átlag [°C]	Min. pályaszerkezet-hőm. „d” mélységben [°C]
2020	33,28	49,56	-16,64	-13,89
2021	28,01	45,45	-19,17	-15,71
2022	33,3	49,58	-22,33	-17,99
2023	28,85	46,11	-25,81	-20,49
2024	31,11	47,87	-15,44	-13,03
2025	31,67	48,3	-22,84	-18,36
2026	31,67	48,3	-15,82	-13,3
2027	30,3	47,24	-11,18	-9,96
2028	30,1	47,08	-10,23	-9,28
2029	27,13	44,76	-18,11	-14,95
2030	32,43	48,89	-12,9	-11,2
2031	29,8	46,85	-9,72	-8,91
2032	32,4	48,87	-10,59	-9,54
2033	33,69	49,88	-12,06	-10,59
2034	31,4	48,09	-16,66	-13,91
2035	34,02	50,13	-11,87	-10,46
2036	32,37	48,85	-19,99	-16,3
2037	30,4	47,31	-13,89	-11,91
2038	30,09	47,07	-10,01	-9,12
2039	29,33	46,48	-8,1	-7,74
2040	31,09	47,85	-19,69	-16,09
2041	30,14	47,11	-15,28	-12,91
2042	32,43	48,9	-21,06	-17,07
2043	30,98	47,77	-11,22	-9,99
2044	32,05	48,6	-11,91	-10,49
2045	31,01	47,79	-4,83	-5,39
2046	30,67	47,52	-9,44	-8,71
2047	32,36	48,84	-8,38	-7,95
2048	32,39	48,86	-13,74	-11,8
2049	30,63	47,49	-7,47	-7,29
Átlag	31,17 (1,62)	47,91 (1,26)	-14,21 (5,16)	-12,14 (3,72)



5. táblázat: Az 2050-2080-as vizsgálati időszak REMO klímamodellre alapozott eredményei. A hét egymást követő legmagasabb napi maximumhőmérsékletek; A maximum pályaszerkezetmélységek "d" mélységben; A napi minimum léghőmérsékletekből számolt átlag; A minimum pályaszerkezet-hőmérséklet "d" mélységben.

Év	A hét egymást követő legmagasabb napi max. átlaga [°C]	Max. pályaszerkezet-hőm. „d” mélységben [°C]	Napi min. lég-hőm.-ből számolt átlag [°C]	Min. pályaszerkezet-hőm. „d” mélységben [°C]
2050	32,88	49,25	-12,31	-10,77
2051	32,47	48,92	-15,52	-13,09
2052	31,07	47,84	-10,82	-9,7
2053	35,49	51,28	-15,33	-12,95
2054	33,54	49,76	-13,85	-11,88
2055	33,35	49,62	-13,08	-11,33
2056	33,35	49,62	-17,78	-14,71
2057	35,89	51,59	-11,27	-10,03
2058	28,97	46,2	-13,21	-11,42
2059	31,72	48,34	-9,78	-8,95
2060	34,67	50,65	-12,24	-10,72
2061	32,86	49,23	-12,87	-11,18
2062	30,94	47,74	-12,6	-10,98
2063	32,81	49,2	-12,87	-11,18
2064	32,4	48,87	-12,09	-10,62
2065	31,27	47,99	-16,18	-13,56
2066	33,57	49,79	-15,94	-13,39
2067	32,79	49,17	-7,77	-7,51
2068	32,55	48,99	-9,67	-8,87
2069	31,2	47,94	-16,08	-13,49
2070	31,96	48,53	-15,4	-13
2071	37,51	52,86	-11,09	-9,9
2072	36,92	52,4	-14,55	-12,39
2073	33,85	50	-12,91	-11,21
2074	33,74	49,92	-10,74	-9,64
2075	36,5	52,07	-6,59	-6,66
2076	33,77	49,94	-9,93	-9,06
2077	39,46	54,38	-14,61	-12,43
2078	30,83	47,65	-14,55	-12,39
2079	31,5	48,17	-6,6	-6,66
Átlag	33,33 (2,26)	49,60 (1,76)	-12,61 (4,10)	-10,99 (2,95)



Az 1. táblázatban közölt kategóriák alapján [1], az 1990-2020, és 2020-2050 időszak eredményei, a PG 52-16-os kategóriába sorolható. Ami azt jelenti, hogy ez esetben valamely útpályaszerkezeti rétegbe épített, adott bitumenes kötőanyagú aszfaltkeverék rendeltetésszerűen -16 °C-tól, +52 °C-ig használható a kutatás esetében alkalmazott 50%-os valószínűségi kategóriában.

A harmadik vizsgálati időszakban (2050-2080) azonban a besorolás a PG 52-10-es kategóriába esik, aminek tehát az enyhülő téli minimumhőmérséklet az oka.

Az első két vizsgálati időszakban kapott eredmények hasonlóságának az oka, hogy a hőmérsékletadatokban a század közepéig alapvetően stagnálás tapasztalható [13].

7. KONKLÚZIÓ

A kapott eredmények eltérnek a témában közlél 30 éve publikált első hazai eredményektől. A tervezéshez használt maximális burkolathőmérséklet fokozata a korábbi 58-as fokozattal szemben mind a három scenárió esetén egy kategóriával kisebb, 52. Az eltérést első sorban a számításokhoz választott megbízhatósági szint okozza, mivel a korábbi számítások 98 %-os, a jelenlegi eredmények 50%-os valószínűségi szinten történtek. Az eltérésnek nagyobb gyakorlati jelentőséget nem tulajdonítunk, a valószínűségi szint rögzítése a mindenkor i útügyi adminisztráció kockázatvállalásának függvénye. Megnyugtató eredmény azonban, hogy a klímaváltozásnak köszönhetően a várható hőmérsékletemelkedés mértéke nem érinti a tervezési felső burkolathőmérsékletet, amely mindhárom scenárió esetén változatlan maradt.

A minimális burkolathőmérséklet értékek szintén eltérnek a korábbi eredményektől. A kapott fokozatok (16 és 10) jelentős csökkenés a korábbi 28 és 22 értékekhez képest. Ezt a változást az eltérő megbízhatósági szint választás mellett, már a klimatikus változások is magyarázzák.

A FORESEE adatbázisból lekérdezett klímadatok felhasználásával, a Superpave módszerrel számolt aszfalthőmérsékletek révén tehát a bitumen alapú kötőanyagok a kiválasztott soproni mintaterület éghajlati viszonyait figyelembe véve töltik be rendeltetésüket.

A három 30 éves vizsgált periódus (1990-2020, 2020-2050, 2050-2080) eredményeit felhasználva az első két időszak pályaszerkezethőmérsékletei alapján azok a PG 52-16, míg a harmadik a PG 52-10-es viselkedési fokozatba esnek. Lényeges azonban, hogy a közöltek egy országos léptékű viselkedéssorolást megcélzó kutatás legelső lépései, így az eredmények e tények tükrében kezelendők.

A kutatásnak az ország egész területére történő kiterjesztését és a kilencvenes évekbeli eredmények felülvizsgálatát az is indokolja, hogy az eredeti módszer továbbfejlesztésre került és a PG alapértekeit korrigálni kell a tervezési forgalom nagyságának, illetve átlagsebességének értékével. Ezen paraméterek figyelembevételére eddig még hazánkban nem került sor, noha a tervezési forgalom hatása jelentősen befolyásolhatja, pl. autópályák esetén a javasolt bitumen fokozat kiválasztását.

Örömmel írnánk továbbá arról, hogy az amerikai módszer hazai adaptálhatóságának vizsgálata közvetlenül megteremti a magyarországi bitumen-minősítési és aszfaltburkolat-méretezési előírások esetleges, a klímaváltozási hatásokat is figyelembe vevő nemzetközi tapasztalatokhoz illeszkedő korszerűsítési lehetőségét, sajnos azonban a lemaradásunk ezen a területen olyan jelentős, hogy ez csak szükséges, de messze nem elégséges lépés a felzárkózás indokolt, de már két évtizede elodázott folyamatában.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj és az Agrárminisztérium támogatásával készült.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] AASHTOM320-10: Standard Specification for Performance- Graded Asphalt Binder. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010
- [2] Bartholy, J., Bozó L. & Haszpra L. (szerk.) 2011: Klímaváltozás – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke, Budapest, p. 281.
- [3] Bonchenko, A. 1994. Asfaltobeton: Sdvigoustoichivost i tekhnologiiia modifitsirovaniia polimerom. Moskva: Mashinostroenie. 176 p. (in Russian)
- [4] Boromissza, T. 1997: Méretezési Praktikum, Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezési gyakorlata, Közúti közlekedési füzetek 16, Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium, Budapest, p. 82.
- [5] Christensen, J. H. & Christensen, O.B. 2007: A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century, Climatic Change 81:7–30, HYPERLINK "about:blank" DOI: <https://doi.org/fwn566>
- [6] Dobor, L., Barcza, Z., Hlásny, T., Havasi, Á., 2013. Creation of the FORESEE database to support climate change related impact studies. International Scientific Conference for PhD Students.
- [7] Gálos, B. & Vig, P. 2014: Éghajlati tendenciák a Kárpát medencében és Zala megyében. In: Bidló A., Király A., Mátyás Cs. (szerk.) Agrárklíma: Az előrejelített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetősége, Nyugat-Magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 2014. 7-16. (ISBN:978-963-334-204-6)
- [8] Gálos, B., Lorenz, Ph. & Jacob, D. 2007: Will dry events occur more often in Hungary in the future? Environ. Res. Lett., 2, 034006 (9pp), DOI: <https://doi.org/d3z7mm>
- [9] Gálos, B., Antal V., Czímber, K. & Mátyás, Cs. 2014: Forest ecosystems, sewage works and droughts – possibilities for climate change adaptation. In: Santamarta J.C., Hernandez-Gutiérrez L.E., Arraiza M.P. (eds) 2014. Natural Hazards and Climate Change/Riesgos Naturales y Cambio Climático. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes. ISBN 978-84-617-1060-7, D.L. TF 565-2014, 91-104, DOI: <https://doi.org/hb7q>
- [10] Gálos, B., Führer, E., Czímber, K., Gulyás, K., Bidló, A., Hänsler, A., Jacob, D., Mátyás, Cs. (2015): Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County, IDŐJÁRÁS, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service Vol. 119, No. 4, October – December, 2015, pp. 425–441
- [11] Gáspár, L. 2007: A klímaváltozás és az útburkolatok. Közúti és mélyépítési szemle. 2007 március, 3. szám: 1-6.
- [12] Gribovszki, Z., Kalicz, P., Herceg, A., Primusz, P. 2020: A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre, Ütügyi Lapok, DOI: <https://doi.org/ggtz2t>
- [13] Herceg, A. 2017: A növényzet vízkörforgalomra gyakorolt hatása a klímaváltozás tükrében, PhD értekezés, Soproni Egyetem, pp. 70
- [14] IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- [15] Jacob, D., Barring, L., Christensen, O.B. Christensen, J.H., Castro, M., Deue, M., Giorgi, F., Hagemann, S., Hirschi, M., Jones, R., Kjellström, E., Lenderink, G., Rockel, B., Sanchez, E., Schar, C., Seneviratne, S.I., Somot, S., Van Ulden, A. & Van Den Hurk, B. 2007: An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. Clim Change, 81:31-52, DOI: <https://doi.org/d5wk5h>
- [16] Jacob, D., Kotova, L., Lorenz, P., Moseley, C. & Pfeifer, S. 2008: Regional climate modeling activities in relation to the CLAVIER project. Időjárás 112: 141–153.
- [17] Jacob, D., et 38 coauthors EURO-CORDEX 2014: newhigh-resolution climate change projections for European impact research, RegEnvironChange, DOI: <https://doi.org/f9sfkm>

- [18] Kjellström, E., Nikulin, G., Hansson, U., Strandberg, G. & Ullerstig, A. 2011: 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. *Tellus* 63A, 24–40.
- [19] Lakatos, M., Szépszó, G., Bihari, Z., Krüzselyi, I., Szabó, P., Bartholy, J., Pongrácz, R., Pieczka, I. & Torma, CS. (szerk.) 2012: HREX jelentés: Éghajlati szélsőségek változásai Magyarországon: Közel múlt és jövő. http://www.met.hu/doc/IPCC_jelentes/HREX_jelentes-2012.pdf [Climate extreme changes in Hungary: recent past and future] (in Hungarian)
- [20] Leonovich, I.; Melnikova, I. 2011: Pogodno-klimaticheskie usloviia i ikh uchuet pri vybore tekhnologii i organizacii dorozhnykh rabot, *Trudy BGTU* 2: 52–57. (in Russian)
- [21] Leonovich, I., & Melnikova, I. 2012: Influence of Temperature on the Formation of Damages in Asphalt Concrete Pavements under Climatic Conditions of the Republic of Belarus, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 7(1): 42–47. DOI: <https://doi.org/hb7r>
- [22] van der Linden, P. & Mitchell, J.F.B. (Eds.), 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK.
- [23] LTPP Data Analysis: Improved Low Pavement Temperature Prediction. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-97-104, 1998
- [24] Mukunde, R. & Ghassan, C. 2020: Determination of Temperature Zoning for the Great Lakes Region of Africa based on Superpave System. 495-501. DOI: <https://doi.org/hb7s>
- [25] Nováky, B. & Bálint, G. 2013: Shifts and Modification of the Hydrological Regime Under Climate Change in Hungary; DOI: <https://doi.org/hb7t>
- [26] Nunn, M. E. 1989: An Investigation of Reflection Cracking in Composite Pavements in the United Kingdom, in *Proc. of the 1st International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, Assessment and Control*. March, 1989, University of Liege, Belgium. 143–153.
- [27] Pethő, L. 2008: A hőmérséklet eloszlás alakulása az aszfalt burkolatú pályaszerkezetekben és ennek hatása a pályaszerkezeti rétegek méretezésére, technológiai tervezésére. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.
- [28] Pongrácz, R., Bartholy, J. & Miklós, E. 2011: Analysis of projected climate change for Hungary using ENSEMBLES simulations. *Applied Ecology and Environmental Research*, 9(4), 387–398, DOI: <https://doi.org/hb7v>
- [29] Pszczoła, Marek & Ryś, Dawid & Jaskula, Piotr. 2017: Analysis of climatic zones in Poland with regard to asphalt performance grading. *Roads and Bridges*. 16. 245 - 269. DOI: <https://doi.org/gfxb58>
- [30] Radziszewski, P., Sarnowski, M., Król, J., Pokorski, P., Jaskula, P., Ryś, D. & Pszczoła, M. 2019: Low-Temperature Requirements for Bitumen in Central East European Road Construction. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 14. 249-270. DOI: <https://doi.org/gmq33>
- [31] Solaimanian, M. & Bolzan, P. 1993: Analysis of the Integrated Model of Climatic Effects on Pavements. Report No. SHRP-A-637, Strategic Highway Research Program. National Research Council. Washington, D.C.
- [32] Solaimanian M.: Development of SHRP Asphalt Research Program Climatic Databases. Report SHRP-A-685, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1994
- [33] Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Asphalt Institute, Superpave Series No. 1 (SP-1), 1995
- [34] Szalai, S. & Mika, J. 2007: A klímaváltozás és időjárási anomáliák előrejelzése az erdőtakaró szempontjából fontos tényezőkre. In Mátyás Cs., Vig P. (szerk). *Erdő és klíma* V. Sopron.
- [35] Szépszó, G. 2008: Regional change of climate extremes in Hungary based on different regional climate models of the PRUDENCE project, *Időjárás* 112 265–83.
- [36] The Asphalt Binder Handbook. Asphalt Institute, Manual Series No. 26 (MS-26), 2011

- [37] Tóth, S., Görgényi, Á., Karoliny, M. & Pcuhard, Z. 1997: A SHRP SUPERPAVE szerepe Észak-Amerikában és Európában. Közúti és Mélyépítési Szemle, 1999/7-8.
- [38] Tóth, S. 2001: Hazai útépítési bitumenek minősége (1996-2000). kutatási jelentés, AKMI Kht
- [39] Tóth, S. 1999: The Quality of the Bitumens Produced in Hungary According to the SHRP Specifications. Paper No 067
- [40] Vautard, R., Gobiet, A., Jacob, D. et 25 coauthors 2013: 41: 2555, DOI: <https://doi.org/f5f3z4>



Determination of the degree of behaviour of domestic bitumens based on meteorological data of a test plot in Sopron

In addition to traffic load, road structures are also exposed to climatic effects during their operation. Recognizing the importance of this, a new paving bitumen grading system was developed and integrated into the American Strategic Highway Research Program (SHRP) in the U.S. in the last decade of the last century. After learning about the American results, Hungary established a laboratory suitable for testing according to the SHRP binder standard already in 1995, and started the SHRP compliance testing of paving bitumens. However, this innovative process has been interrupted, and currently the classification of paving bitumens in Hungary is typically based on conventional testing procedures.

The key parameter of the behaviour-based binder standard is the recording of the performance grades (PG X-Y). Although this took place in the 1990s after the processing of the Hungarian climatic data, it needs to be updated now.

The research described here presents the results of a methodology where, using the temperature data of the selected Sopron test cell, not only current climate conditions but also those predicted for the future are taken into account.



Bestimmung des Verhaltensgrades von ungarischen Bitumen auf Grund meteorologischer Daten einer Testparzelle in Sopron

Neben der Verkehrsbelastung sind Straßenbauwerke in ihrem Betrieb auch klimatischen Einflüssen ausgesetzt. Nach der Erkennung der Bedeutung von diesen Einflüssen wurde im letzten Jahrzehnt des letzten Jahrhunderts ein neues Bitumen-Klassifizierungssystem entwickelt und in das American Strategic Highway Research Program (SHRP) integriert. Nachdem die ungarischen Experten auf die amerikanischen Ergebnisse aufmerksam wurden, es wurde in Ungarn 1995 ein für die Prüfung nach dem SHRP-Binderstandard geeignetes Labor eingerichtet und es wurde mit der SHRP-Konformitätsprüfung von Bitumen begonnen. Dieser innovative Prozess wurde jedoch unterbrochen, derzeit basiert die Klassifizierung von Straßenbitumen in Ungarn typischerweise auf herkömmlichen Prüfverfahren.

Zentraler Parameter des verhaltensbasiereten Bindemittelstandards ist die Erfassung der Verhaltensklassen (PG X-Y), die in den 1990er Jahren nach der Verarbeitung der ungarischen Klimadaten durchgeführt wurde, sie muss aber jetzt aktualisiert werden. Die hier beschriebene Forschung präsentiert die Ergebnisse einer Methodik, bei der mit Hilfe der Temperaturdaten der ausgewählten Sopron-Testzelle nicht nur die aktuellen, sondern auch die für die Zukunft prognostizierten Klimabedingungen berücksichtigt werden.

A légitársaság üzemi eredménye és a fő teljesítménymutatók

A gazdaság és a teljesítmény összefüggéseinek tudományos megközelítése a légiforgalomban résztvevők számára is elengedhetetlen. Az új módszerek az előrelépéshez, a biztonság fokozásához egyaránt hozzájárulnak.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.1.4>

Dr. Simon István

e-mail: simonistva@gmail.com

1. BEVEZETÉS

A légitársasági gazdaságtan fő mutatóit adekvát matematikai modellbe foglaljuk (a mutatókhoz matematikai szimbólumokat rendelünk), és bemutatjuk, hogy hogyan függ az eredmény a fő teljesítménymutatók egymáshoz való viszonyától. E formális megközelítés eredménye a széles körben hivatkozott légitársasági eredmény modell egy módosított változata lesz.

A mutatók a légitársaság adott tervezési időtartamára vonatkoznak. Közeppontra a légi személyszállítást állítjuk, azonban ez a formális megközelítés alkalmazható a vegyes (utas, áru) és a csak áruszállításra is. Egyes mutatók esetén forint pénznemet alkalmazunk.

2. FŐ TELJESÍTMÉNYSZÁMÍTÁSI MUTATÓK

2.1. Kapacitás (FFK)

A kapacitás (felkínált teljesítmény) a szakaszonként értékesítésre felkínált férőhelyek és a szakaszok hosszai (főköri távolságok) szorzataként kapott, felkínált férőhely-kilométerek (FFK) összege.

A felkínált férőhely-kilométer a személyszállítást végző légitársaság alapterméke, más szavakkal az előállított termék mennyiségi egysége.

Az átlagos szakaszhossz a tervezési időszak alatt a hálózaton lerepült szakaszok egy indulásra vetített távolsága.

A széktáv a tervezési időszak alatt a hálózaton egy férőhely (üres és utassal foglalt) által "megtett" átlagos távolság. A széktáv fogalmára a hálózati hatás (2.3.3. fejezet) bemutatásához van szükség.

A kapacitással kapcsolatos mutatókat az 1. táblázat tartalmazza.

A kapacitást megkapjuk az átlagos szakaszhossz vagy az átlagos széktáv és a felkínált férőhelyszám szorzataként is, amint azt a (2) és (4) egyenlet mutatja.

Az átlagos szakaszhossz s az átlagos széktáv $\bar{I}_s$ egyenlő egymással:

A (2) és (4) egyenletet összehasonlítva:

$$\bar{I}_s N_s = \bar{I}_h N_h$$

Majd a férőhely számmal való egyszerűsítés után:

$$\bar{I}_h = \bar{I}_s \quad (5)$$

1. táblázat: Kapacitással kapcsolatos mutatók			
Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Felkínált férőhelyek mennyisége	N_s		
Indulások száma	N_d		
Repült kilométer (km)	l_f		
Átlagos szakasz hossz (km)	$\bar{l}_s$	$\bar{l}_s = \frac{l_f}{N_d}$	(1)
Kapacitás (FFK)	P_a	$P_a = \bar{l}_s N_s$	(2)
Átlagos széktáv (km)	$\bar{l}_h$	$\bar{l}_h = \frac{P_a}{N_s}$	(3)
A (3) egyenletből a kapacitás:	P_a	$P_a = \bar{l}_h N_s$	(4)

2.2. Forgalom (KUK)

A forgalom (kereskedelmi teljesítmény) a szakaszonkénti kereskedelmi utasszám és a szakasz hosszak (főköri távolságok) szorzataként kapott, kereskedelmi utaskilométerek (KUK) összege. Az eredmény az összes utas által, a tervezési időszak alatt megtett összes kilométert jelenti. A forgalommal kapcsolatos mutatókat a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: Forgalommal kapcsolatos mutatók			
Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Kereskedelmi utasszám	N_r		
Forgalom (KUK)	P_r		
Átlagos utazási távolság (km)	$\bar{l}_t$	$\bar{l}_t = \frac{P_r}{N_r}$	(6)
A (6) egyenletből a forgalom (KUK):	P_r	$P_r = \bar{l}_t N_r$	(7)

A forgalmat megkapjuk az átlagos utazási távolság és a kereskedelmi utasszám szorzataként is, amint azt a (7) egyenlet mutatja.

2.3. Utasférőhely-kihasználás, férőhely-foglaltság és a hálózati hatás

2.3.1. Utasférőhely-kihasználás (%)

Ez a mutató a felkínált kapacitás kihasználtságát mutatja. Az utasférőhely-kihasználás (UFK) a forgalomnak (KUK) a kapacitás (FFK) százalékában való kifejezése (3. táblázat).

2.3.2. Férőhelyfoglaltság (%)

A férőhelyfoglaltság a szállított teljes utasszámnak a szakaszon felkínált összes férőhely százalékában való kifejezése (4. táblázat).

2.3.3. Hálózati hatás

Az utasférőhely-kihasználás és a férőhelyfoglaltság egy adott szakaszon egyenlő egymással, de a hálózaton rendszerint különböznek egymástól. Ez a különbség elvezet a hálózati hatás jelenségéhez.

$$\lambda = \frac{\bar{l}_t N_r}{\bar{l}_h N_s}$$

(10)

A hálózati hatás felelős az utasférőhely-kihasználás és a férőhelyfoglaltság közötti különbségért. Ez a különbség jelentős is lehet.

Az utasférőhely-kihasználás a (7) és (4) egyenletek felhasználásával:

3. táblázat: Utasférőhely-kihasználás			
Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Utasférőhely-kihasználás (%)	λ	$\lambda = \frac{P_r}{P_a}$	(8)

4. táblázat: férőhelyfoglaltság

Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Férőhelyfoglaltság (%)	λ_s	$\lambda_s = \frac{N_i}{N_s}$	(9)

A hálózati hatás koeficiens az átlagos utazási távolság és az átlagos széktáv (szakaszhossz) hányadosa (5. táblázat).

5. táblázat: Hálózati hatás

Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Hálózati hatás koeficiens	d_n	$d_n = \frac{\bar{l}_t}{\bar{l}_h}$	(11)
UtASFérőhely-kihasználás hálózati hatás esetén, a (9) és (11) egyenletek felhasználásával	λ	$\lambda = d_n \lambda_s$	(12)

Abban az esetben, amikor az átlagos utazási távolság egyenlő az átlagos széktávval ($d_n=1$) az utasférőhely-kihasználás egyenlő a férőhelyfoglaltsággal.

2.4. Fajlagos bevétel (HUF/KUK)

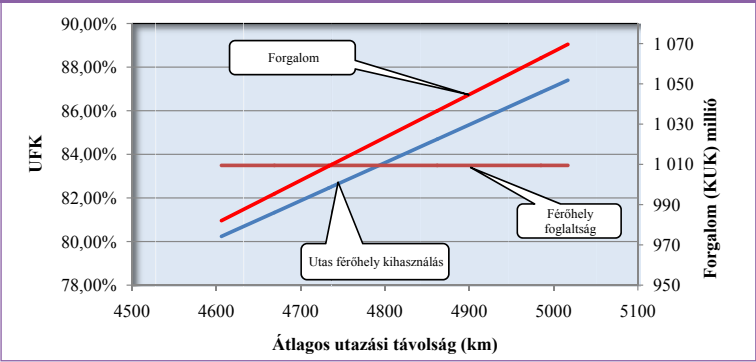
2.4.1. Alap meghatározás

ságokra való keresletet.

Az utasok hosszabb utazási távolsági igénye nagyobb férőhely-kihasználást, forgalmat és profitot eredményez (mialatt a teljes utasszám nem változik). Fordítva: az utasok rövidebb utazási igénye kisebb férőhely-kihasználást, forgalmat és profitot eredményez (mialatt a teljes utasszám nem változik).

A férőhelyfoglaltság és az utasférőhely egymáshoz való viszonya az 1. diagramon látható. Az adatok egy feltételezett légitársaság adatai.

1. diagram: A hálózati hatás bemutatása



Az utasok hosszabb utazási távolságok felé való eltolódása magasabb férőhely-kihasználást és forgalmat eredményez, mialatt a teljes utasszám változatlan marad.

Ha $d_n < 1$ akkor a kereslet a rövidebb utazási távolságokra meghaladja a hosszabb utazási távolságokra való keresletet, és fordítva ha if $d_n > 1$ akkor a kereslet a hosszabb utazási távolságokra meghaladja a rövidebb utazási távol-

A fajlagos bevétel a kereskedelmi utaskilométerre (KUK) vetített bevétel (6. táblázat). A fajlagos bevételt a teljes személyszállítási bevételnek a forgalommal (kereskedelmi utaskilométerrel) való elosztásával számítjuk ki.

2.4.2. Átlagos viteldíj és a fajlagos bevétel

Az átlagos viteldíjat a személyszállítás teljes bevételének a kereske-

6. táblázat: Fajlagos bevétel

Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Személyszállítási bevétel (HUF)	R		
Fajlagos bevétel (HUF/KUK)	y	$y = \frac{R}{P_r}$	(13)
A (13) egyenletből a bevétel:	R	$R = y P_r$	(14)

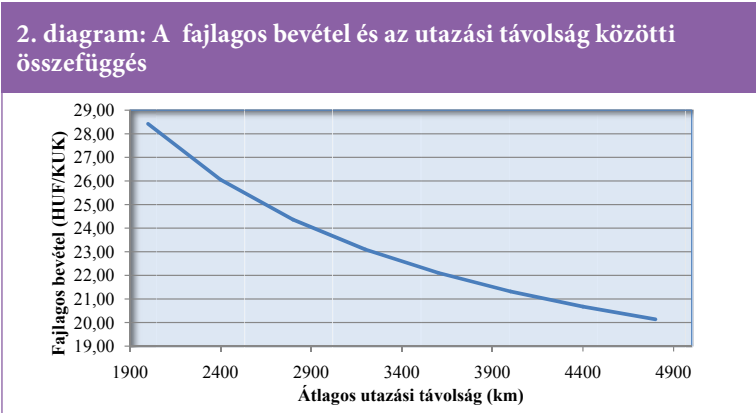
7. táblázat: Átlagos viteldíj			
Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Átlagos viteldíj (HUF)	$\bar{f}_p$	$\bar{f}_p = \frac{R}{N_r}$	(15)
A (15) egyenletből a bevétel:	R	$R = \bar{f}_p N_r$	(16)

delmi utasszámmal való elosztásával számítjuk ki (7. táblázat).

Behelyettesítve a (16) és a (7) egyenletet a (13) egyenletbe a fajlagos bevétel második egyenletét kapjuk:

$$y = \frac{\bar{f}_p N_r}{l_t N_r} = \frac{\bar{f}_p}{l_t}$$

$$y = \frac{\bar{f}_p}{l_t} \tag{17}$$



Minél nagyobb a távolság a célállomásig annál alacsonyabb a fajlagos bevétel.

A fajlagos bevétel számítható az átlagos viteldíj és az átlagos utazási távolság hányadosaként is.

Ha figyelembe vesszük, hogy a fajlagos bevétel az utazási távolsággal nem arányosan növekszik, akkor a fajlagos bevétel

csökken, amint az átlagos utazási távolság nő. Ez alapján létre lehet hozni egy elméleti görbét a (17) egyenlet felhasználásával (2. diagram).

2.5. Egységbevétel (R/FFK) és átlagos férőhelybevétel

Az egységbevételt megkapjuk, ha a bevételt a kapacitással osztjuk, az átlagos férőhely bevételt pedig a bevétel felkínált férőhelyek számával való osztásával kapjuk meg (8. táblázat).

2.6. Egységköltség (C/FFK)

2.6.1. Alap meghatározás

Az egységköltség mutatót megkapjuk, ha a teljes üzemi költséget a kapacitással osztjuk (9. táblázat).

2.6.2. Átlagos férőhelyköltség és az egységköltség

Az átlagos férőhelyköltséget megkapjuk, ha a teljes üzemi költséget elosztjuk az értékesítésre felkínált férőhelyek számával (10. táblázat).

A (24) és a (2) egyenletet behelyettesítve a (22) egyenletbe az egységköltség második egyenletét kapjuk:

8. táblázat: Egységbevétel			
Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Egységbevétel (HUF/FFK)	r	$r = \frac{R}{P_a}$	(18)
A (18) egyenletből a bevétel:	R	$R = r P_a$	(19)
Átlagos férőhely bevétel (HUF/férőhely)	$\bar{r}_s$	$\bar{r}_s = \frac{R}{N_s}$	(20)
A (20) egyenletből a bevétel		$R = \bar{r}_s N_s$	(21)

9. táblázat: Egységköltség

Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Üzemi költség (HUF)	C		
Egységköltség (HUF/FFK)	c	$c = \frac{C}{p_a}$	(22)

szakaszhossz növekedésével. Ez alapján létre lehet hozni egy elméleti görbét a (25) egyenlet felhasználásával (3. diagram).

10. táblázat: Átlagos férőhelyköltség

Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Átlagos férőhelyköltség (HUF/Férőhely)	$\bar{c}_s$	$\bar{c}_s = \frac{C}{N_s}$	(23)
A (23) egyenletből az üzemi költség:	C	$C = \bar{c}_s N_s$	(24)

3. EREDMÉNY

3.1. Alapmodell

A szakirodalomban széleskörűen hivatkozott légitársasági eredmény modell:

$$c = \frac{\bar{c}_s N_s}{I_s N_s} = \frac{\bar{c}_s}{I_s}$$
$$c = \frac{\bar{c}_s}{I_s}$$

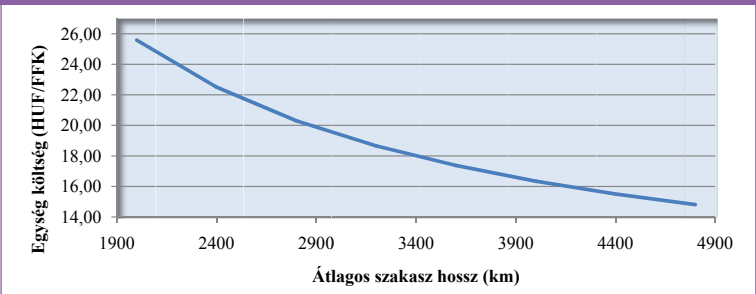
(25)

Üzemi eredmény = (Bevétel) –
(Üzemi költség) = KUK x Fajlagos bevétel –
FFK x Egységköltség

Az egységköltség számítható az átlagos férőhelyköltség és az átlagos szakaszhossz hányadosaként is.

Ez a modell az eredményt állítja központba, azonban az eredményre ható fő tényezők (férőhely-kihasználás, fajlagos bevétel, egységköltség) kölcsönös kapcsolatát nem tükrözi.

3. diagram: Az egységköltség és a szakaszhossz közötti összefüggés



Minél hosszabb a szakasz hossz annál alacsonyabb az egységköltség.

Az üzemi eredmény a kamatok és az adózás előtti eredmény.

Az eredmény modell általánosabb alakja (11. táblázat):

3.2. Módosított alapmodell

A férőhelyre vetített költség nem egyenes arányban változik a szakaszhosszal. Általános esetben a repülési távolság növekedésével a férőhelyköltség csökken, s így az egy férőhely-kilométer előállítási költsége (egység költség) is csökken az átlagos

A fajlagos bevétel egyenletéből számítjuk a bevételt:

11. táblázat: Eredmény modell

Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Gazdasági eredmény (üzemi nyereség vagy veszteség)	E	$E = R - C$	(26)

$$y = \frac{R}{P_r} \rightarrow R = yP_r \tag{27}$$

Az egységköltség egyenletéből kifejezzük a költséget:

$$c = \frac{C}{P_a} \rightarrow C = cP_a \tag{28}$$

Az üzemi eredmény ismételten:

$$E = yP_r - cP_a \tag{29}$$

Vezessük be a férőhely-kihasználási mutatót:

$$\lambda = \frac{P_r}{P_a} \rightarrow P_r = \lambda P_a \tag{30}$$

Az üzemi eredmény újra:

$$E = y\lambda P_a - cP_a \tag{31}$$

Majd:

$$E = P_a(\lambda y - c) \tag{32}$$

A szakirodalomban széleskörűen hivatkozott eredmény modelltől eljutottunk a módosított alapmodellig, amely lehetővé teszi a gazdasági eredmény (nyereség vagy veszteség) és az arra ható tényezők közötti kapcsolat modellezését.

A (32) modell összeköti a pénzügyi és az üzemi mutatókat, tartalmazza a bevételt, a költséget és az üzemi tevékenységet (kapacitás és forgalom), ezáltal lehetővé teszi a vezetés számára az eredmény előállítás teljes folyamatának áttekintését.

A modellből (32) látható, hogy az üzemi eredmény a három fő teljesítménymutató (férőhely-kihasználás, fajlagos bevétel, egységköltség) összjátékától függ. Fordított arányosság áll fenn a fajlagos bevétel

és a férőhely-kihasználás között: a fajlagos bevétel csökkenése esetén ugyanazon eredmény eléréséhez növelni kell az utasférőhely-kihasználást és fordítva. Ez az összefüggés a 4. diagramon látható.

Tételezzük fel, hogy van egy gazdasági tervváltozatunk, amelyben az vonalhálózat és a menetrend adott, következésképpen a kapacitás és az egységköltség konstans, majd alkalmazva a (32) egyenletet egy izoprofit görbét tudunk felépíteni.

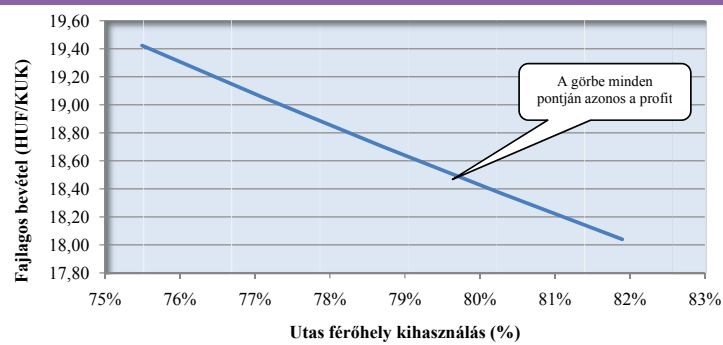
A szállított utasok számának változása esetén - a többi tényező változatlanul hagyása mellett - az egységköltség változik az utasellátási költség változása miatt. Az utasellátási költség figyelembevétele lehetővé teszi a pontosabb eredményszámítást, amikor a módosított eredmény modell felhasználásával a szállított utasszám eredményre gyakorolt hatását vizsgáljuk.

Diagramunk felépítéséhez - az egyszerűség kedvéért - az egységköltséget konstansnak tekintjük, és nem számolunk a férőhely-kihasználástól függő fedélzeti utaskiszolgálási költség változásával.

3.2.1. Megtérülési férőhely-kihasználási mutató (%)

A fedezeti ponton az eredmény egyenlő nullával: E=0

4. diagram: Izoprofit görbe



Azonos profit eléréséhez a férőhely-kihasználás növelése esetén csökkenteni kell a fajlagos bevételt.

12. táblázat: Megtérülési férőhely-kihasználási mutató

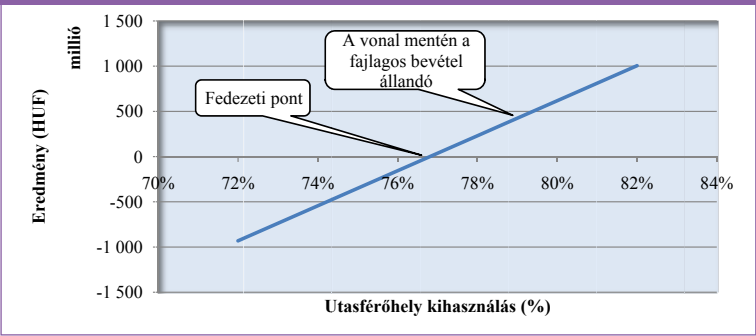
Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Megtérülési férőhely-kihasználási mutató	λ_b	$\lambda_b = \frac{c}{y}$	(33)

A (32) egyenletből megkapjuk a megtérülési férőhely-kihasználási mutatót (12. táblázat).

A megtérülési férőhely-kihasználási mutató az egységköltség és a fajlagos bevétel hányadosa.

A (32) egyenlet felhasználásával és a fajlagos bevételi cél megadásával bemutatjuk, hogyan változik az eredmény az utasférőhely-kihasználás függvényében, és ábrázoljuk a fedezeti pontot is (5. diagram).

5. diagram: A fedezeti pont bemutatása



Az egyeses a fedezeti pontban metszi a vízszintes tengelyt. A fedezeti pont alatt a vesztségi zónába jutunk.

3.2.2. Megtérülési férőhelyfoglaltság (%)

E mutató hálózati hatás esetén alkalmazható (2.3.3.) fejezet.

A (12) egyenletet alkalmazva a módosított eredmény modell:

$E=P_a (d_n\lambda_s y-c)$ (34)

13. táblázat: Megtérülési férőhelyfoglaltság

Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Megtérülési férőhelyfoglaltság	λ_{bs}	$\lambda_{bs} = \frac{c}{d_n y}$	(35)

A fedezeti ponton az eredmény egyenlő nullával: $E=0$

A (34) egyenletből megkapjuk a megtérülési férőhelyfoglaltsági mutatót (13. táblázat):

A megtérülési férőhelyfoglaltsági mutató egyenlő a megtérülési férőhely-kihasználási mutatóval, ha $d_n=1$ (átlagos utazási távolság egyenlő az átlagos széktávval).

3.3. További eredmény modellek

3.3.1. Eredmény modell az egységbevétel (R/FFK) és az egységköltség (C/FFK) alapján

A bevétel:
(14) egyenletből:
 $R=yP_r$
és a (19) egyenletből:
 $R=rP_a$

Következésképpen:
 $rP_a = yP_r \rightarrow r = y \frac{P_r}{P_a}$ (36)

A (8) egyenletet alkalmazva:
 $r=y\lambda$ (37)

A (32) módosított alapmodellünk a (37) behelyettesítése után így is felírható:

$E=P_a (r-c)$ (38)

Az eredményt megkaphatjuk ha a kapacitást megszorozzuk az egység bevétel és az egység költség különbségével.

3.3.2. Eredmény modell az átlagos férőhely-bevétel és az átlagos férőhelyköltség alapján

A (21) és (24) egyenlet alkalmazásával az eredmény:

$E=N_s (\bar{r}_s-\bar{c}_s)$ (39)

Az eredményt megkaphatjuk, ha a felkínált férőhelyek számát megszorozzuk az átlagos férőhelybevétel és az átlagos férőhelyköltség különbségével.

Megjegyzés: A (32), a (38) és a (39) egyenlettel számított eredmény különbözhet a (26) egyenlettel kapott eredménytől. A különbözet az alkalmazott tizedes jegyek számától függ.

3.4. Egységjövedelmezőség és a működési haszonkulcs

3.4.1. Egységjövedelmezőség (HUF/FFK)

A felkínált férőhely-kilométer (FFK) a személyszállítást végző légitársaság alap terméke, más szavakkal az előállított termék mennyiségi egysége.

14. táblázat: Egységjövedelmezőség			
Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Az egységjövedelmezőség (HUF/FFK) a (38) egyenlet alapján	e	$e = \frac{E}{P_a} = r - c$	(40)

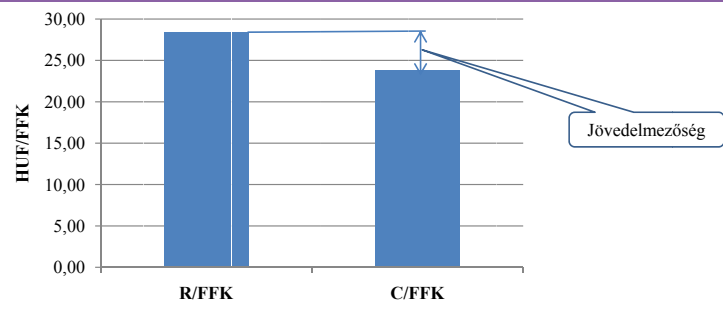
Az egység jövedelmezőség megmutatja, hogy a termék egy egysége mennyi profitot eredményez. Az egységjövedelmezőség (14. táblázat) az eredmény és a kapacitás (FFK) hányadosa.

Az egységjövedelmezőséget a 6. diagramon forint per felkínált férőhely kilométerben fejezzük ki.

3.4.2. Működési haszonkulcs (%)

A működési haszonkulcs az üzemi eredmény és az előállított teljes üzemi bevétel egymáshoz való viszona-

6. diagram: Az egységjövedelmezőség bemutatása



Az egységjövedelmezőség az egység bevétel (R/FFK) és az egység költség (C/FFK) különbsége.

nyát mutatja (15. táblázat). Segítségével a vezetés láthatja, hogy egy forint bevétel mekkora eredményt hoz.

Az üzemi eredmény a kamat és nyereségadó-ráfordítások levonása előtti eredmény (EBIT). Felhasználva a (38) és (19) egyenletet a működési haszonkulcs:

$$O_{pm} = \frac{P_a(r-c)}{rP_a} = \frac{r-c}{r} = \frac{e}{r}$$

(42)

A működési haszonkulcs kifejezhető az egységjövedelmezőség és az egységbevétel

(R/FFK) hányadosaként is.

4. A MÓDOSÍTOTT EREDMÉNY MODELL LEHETSÉGES ALKALMAZÁSA

A menetrendszerint közlekedő légitársaságoknak adott vonalhálózata van. A tervképzítés során, amikor a vonalhálózatot és a menetrendet véglegesítik, több tervváltozat készül, ezekben a változatokban a kapacitás

15. táblázat: Működési haszonkulcs			
Megnevezés	Jelölés	Formális megközelítés	Sorszám
Működési haszonkulcs	O _{pm}	$O_{pm} = \frac{E}{R}$	(41)

és az egységköltség állandónak tekinthető. A modell alkalmazásával ezek a tervváltozatok gyorsan újra számolhatók különböző férőhely-kihasználási mutató és fajlagos bevétel kombinációkra a tervezett eredmény elérése céljából.

A modell alkalmazható teljes szolgáltatást nyújtó és diszkont személyszállításra, továbbá vegyes- (személy és áru) és a csak áruszállításra is. A (32) modell világosan mutatja a diszkont légitársaságok sikerének titkát: viszonylag alacsony fajlagos bevétel alacsony egységköltséggel és magas férőhely-kihasználási mutatóval kombinálva.

Csak áruszállítás esetén a kapacitást felkínált árutonna-kilométerben (FÁTK), a forgalmat kereskedelmi árutonna-kilométerben (KÁTK) mérjük, továbbá foglalkozunk még az áruszállítás fajlagos bevételével és az áruférőhely-kihasználással.

Vegyes (személy és áru) légi szállítás esetén a személyek és csomagjaik tömeggé alakítandók a vonatkozó szabályozásnak megfelelően. Vegyes változat esetén a kapacitást felkínált tonnakilométerben (FTK) a forgalmat kereskedelmi tonnakilométerben (KTK) mérjük, továbbá foglalkozunk még az összevont fajlagos bevétellel, az összevont egységköltséggel és az összevont férőhely-kihasználási mutatóval.

A fajlagos bevételvezérlő rendszer a férőhelyértékesítés során az optimális viteldíj elérését célozza, a minél magasabb fajlagos bevétel elérése céljából. A fajlagos vezérlés sikeressége gyorsan értékelhető a módosított eredmény modell segítségével.

Ha a (32) modellben a változó egységköltséget alkalmazzuk, a fedezetet kapjuk az eredmény helyett.

A repülőgép férőhely egy gyorsan romló vagyontárgy. Feltételezzük, hogy az eredmény modell olyan szolgáltatási ágazatokban is alkalmazható, ahol gyorsan romló vagyontárgyakkal (például szállodai szobák, hajó kabinok, bérautók stb.) dolgoznak.

A módosított eredmény modell a „mi lenne – ha” elemzések eszköze lehet. A „mi lenne – ha” elemzéssel többek között a következő kérdésekre kaphatunk választ:

- Hogyan érhető el ugyanaz az eredmény a férőhely-kihasználási mutató és a fajlagos bevétel különböző kombinációival.
- Milyen eredmény érhető el különböző férőhely-kihasználási mutató és fajlagos bevétel kombinációkkal.
- Milyen hatással van a forgalomra az utaseloszlás változása?

A „mi lenne – ha” elemzés alapján a vezetés döntést hozhat arról, hogy az adott terv változatot módosítja vagy nem a jóváhagyás előtt.

5. ZÁRÓ MEGJEGYZÉS

A cikkben formális megközelítést alkalmaztunk a fő teljesítménymutatók és az üzemi eredmény közötti összefüggés feltárására. Bemutattuk az eredmény modell $E = P_a(\lambda y - c)$ lehetséges alkalmazásai közül néhányat. Ez az eredmény modell eszköz lehet az egységköltség, a fajlagos bevétel és a férőhely-kihasználás behangolására az optimális eredmény elérése céljából a légitársaság gazdasági tervének elkészítése során.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Introduction to Air Transport Economics from Theory to Applications Second Edition Bijan Vasigh, Ken Fleming and Thomas Tacker 2013
- [2] Doganis Rigas Flying Off Course Third Edition Publisher: Routledge 2002-10-20
- [3] Simulated Revenue Impact of a New Revenue Management Strategy under the Assumption of realistic Fare Data Larry R. Weatherford College of Business University of Wyoming PO Box 3275 Laramie, WY 82071 USA 2015
- [4] AIRLINE ECONOMIC ANALYSIS 2017-2018 Edition AUTHORS Tom Stalnaker, Khalid Usman, Aaron Taylor, Grant Alport
- [5] Choosing financial key performance indicators: the airline industry case Conference paper• may 2011 Ganna Demydyuk Leiden University

[6] AIRLINE ECONOMICS – PLANNING AND KEY PERFORMANCE INDICATORS Practical guide for students 2021 Jurnal of Applied Business and Economics Volume 23(3) Istvan Simon



The airline's operating results and key performance indicators

The article contains formal approach to the relationship between the airline operating Profit and Key Performance Indicators. The basic variables of airline economics can be included into a single and adequate mathematical model, and it is seen how the Profit depends on interplay of Key Performance Indicators. The result of this formal approach is a revised model of the widely referred basic airline Profit equation.

The indicators refer to a planning period of an airline. The article concentrates on the passenger transportation however the revised Profit model can be applied to the mixed (passenger and cargo) or to the full cargo transportation as well.

FÜGGELÉK

16. táblázat: Fő teljesítménymutatók összesítő táblázata	
Eredmény	Egyenlet száma
$E = R - C$	(26)
$E = P_a(\lambda y - c)$	(32)
$E = P_a(r - c)$	(38)
$E = N_s(\bar{r}_s - \bar{c}_s)$	(39)
Férőhely-kihasználás	
$\lambda = \frac{P_r}{P_a}$	(8)
$\lambda = d_n \lambda_s$	(12)
Fajlagos bevétel	
$y = \frac{R}{P_r}$	(13)
$y = \frac{\bar{f}_p}{\bar{l}_t}$	(17)
Egységköltség	
$c = \frac{C}{P_a}$	(22)
$c = \frac{\bar{c}_s}{\bar{l}_s}$	(25)



Betriebsergebnis und Leistungskennzahlen der Fluggesellschaft

Das umfänglich zitierte Profit-Modell für die Fluggesellschaften, das in der Literatur als grundlegend betrachtet wird, spiegelt der Zusammenhang und das Zusammenspiel der Einflussfaktoren (Kapazitätsauslastung, spezifische Einnahmen, Einheitskosten), die das Betriebsergebnis beeinflussen, nicht ausreichend wider. Das in der vorliegenden Studie vorgeschlagene modifizierte Basismodell ermöglicht eine Feinabstimmung der genannten Faktoren, um das optimale Ergebnis zu erzielen, und veranschaulicht den gesamten Prozess der Ergebniserzeugung. Dies erleichtert die Entscheidungsfindung bei der Erstellung der Geschäftspläne für die Fluggesellschaften.

Additív gyártási technológia alkalmazása a hajózásban

A hajózás különböző kérdéseivel viszonylag ritkán foglalkozunk. Ezért is lehet érdekes egy új technológia, egy korszerű eljárás bemutatása a hajóépítés területén.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.1.5>

Lévai Emese – Ficzer Péter

BME Vasúti járművek és járműrendszeranalízis Tanszék
e-mail: levai.emesesarolta@edu.bme.hu, ficzere.peter@kjk.bme.hu

1. BEVEZETÉS

Az additív gyártástechnológiai megoldások előnyös műszaki és gazdasági tulajdonságai miatt megjelentek a vízi közlekedésben, a hajógyártásban is. Az eljárás fontosságát jól szemlélteti, hogy annak ellenére terjedt el kevesebb mint egy évtized alatt, hogy a kézi vagy kézi-és kisépítő hajógyártásról való technikai váltás drága és időigényes. Az utóbbi évek tapasztalata, hogy az ezekkel járó kockázat vállalása érdemes volt, hiszen időközben a tavi hajózás fellendült, a hajók iránti kereslet a magánszemélyek részéről megnőtt, így a gyorsaság, a termelékenység szempontja előtérbe került. Mára a versenyzésből teljesen kiszorították a fahajókat műanyag társaik. Érdekessége a témának, hogy a gyakorlati visszacsatolás éppen napjainkban zajlik, hiszen az ilyen módszerrel készült első hajók életében most jönnek a „kritikus” évek, azaz most láthatjuk, hogy a 3-5 éves, gépi additív gyártástechnológiával készült hajók hogyan működnek azokkal a hajókkal szemben, amelyek kézi felrakó eljárásokkal készültek. Utóbbiak esetében 3-5 év után a delaminálódás garantáltan jelentkezett, csak a mértéke függött a munka igényességétől és az igénybevételtől. Tapasztalatok szerint a köznyelvben „3D nyomtatott” hajók tönkremenetele anyagtechnológiai okokból később végebe.

2. ŐSMINTÁK ÉS SABLONOK: SZERSZÁMGYÁRTÁS A HAJÓZÁSBAN

A kishajók gyártását alapvetően két nagy csoportra osztjuk [1]: egyedi és sorozatgyártásra. Mindkettőnél nagy jelentősége van a váz felállításának. Az egyedi gyártás esetében nincs sablon, csak egy mintaváz. Ezt jellemzően kézzel alkotják meg, főként fából, esetenként fémből [2]. Belátható, hogy ebben a lépésben a pontosság rendkívül fontos, hiszen a két oldalon bármilyen pontatlanság aszimmetriát okozhat. Az aszimmetria pedig működés közben feszültségeket eredményez, főleg, ha figyelembe vesszük a ráépülő testet, ami már nem is lehet hibátlan, hiszen a mintaváza sem volt az, ami tovább növeli a hibát. Bár indokolt lenne, ősmintát ritkán nyomtatnak egyedi hajókhoz, mivel ez nagy mértékben növeli a költségeket. Egyedi hajóknál így a teljes hajó kinyomtatása terjedt el. Erre jó példa a 3Dirigo nevű hajó, amely még a nevét is arról kapta, hogy a teljes test egy csarnokban készült, aminek majdnem teljes területét egy Ingersoll 3D nyomtató foglalja el.

A nyomtató működését úgy lehet leírni, hogy egyesíti a tintasugaras irodai nyomtató és a felrakó hegesztés tulajdonságait. Előbbire annyiban hasonlít, hogy a vezérlés a számítógépes mintán vezeti végig a nyomtatófejet és a fej az

1. ábra: A világ legnagyobb, csak és kizárólag additív gyártási eljárással alkotott hajó nyomtatójának modellje [3]



adagoló tárból az út teljes hosszán anyagot visz fel a felületre. A különbség nyilván egyrészt az, hogy az adott modell nem két-, hanem háromdimenziós, másrészt, hogy a hozaganyag nem (vagy csak részben) festék, leginkább fém vagy műanyag. Ebben inkább a felrakó hegesztéshez hasonlít, ahol gyakran több anyagréteget is egymásra dolgoznak. Ezzel a technológiával egy 100 láb hosszú, 22 láb széles, 10 láb magas (30,48 m hosszú, 6,7056 m széles, 3,048 m) hajó mindössze 72 óra alatt készül [4].

A másik hajógyártási típus a sorozatgyártás, amelyhez sablonra van szükség. Ennél az opciónál az additív technológiák a sablonkészítésnél játszanak szerepet, mert a költség-hatékonyságból adódóan olcsóbb egy sablont pontosan legyártani és utána, – felhasználva a régebbi műhelyek alkalmazotti tudását – már hagyományos módszerekkel (pl. kézi felrakó eljárás) elkészíteni a készterméket.

2. ábra: A hajó nyomtatot farrésze az eljárás kb. nyolcadik órájában [5]



3. ábra: A nagyobb darabokat sokszor kézzel kell összeszerelni, mert a viszonylag nagy íves elemek gépi gyártás során elbillenhetnek [6]



Ebben a kategóriában a nyomtatott sablonnal szemben sokkal magasabbak az elvárások, mint az ősmintával szemben. A sablonra közvetlenül kerül fel a rétegrend szerinti teherviselő szerkezet, és ez nagyban befolyásolja a ráfektetett készterméknek nemcsak az alakját, hanem a felületi minőségét is. Ez utóbbi azért meghatározó paraméter, mert a sablonról gyengébb felületi minőséget örököelve, a hajókat egyesével ezen a téren javítani, idő- és pénzvesztés, és nagyon kockázatosá teszi azt, hogy megtérül-e a sablongyártásnak ez a drága módja.

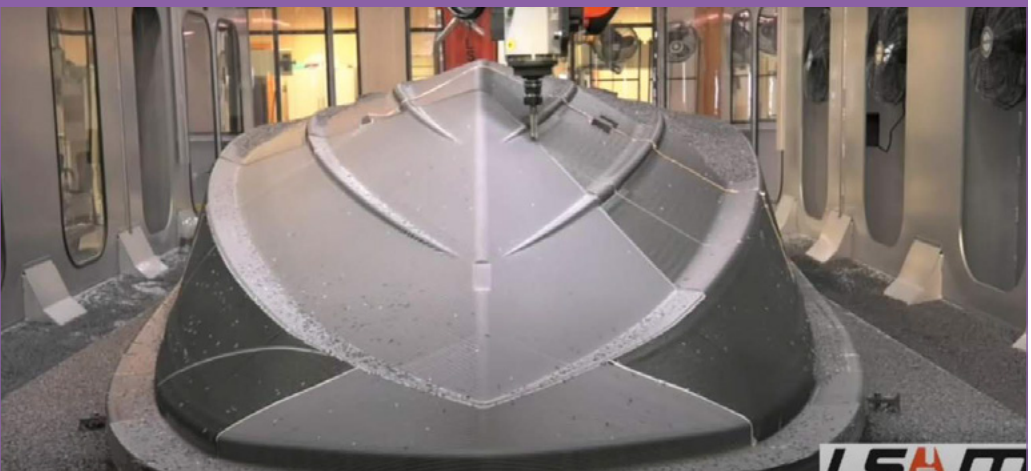
jelenleg ismert hajóépítő anyagok közül – ez a legkörnyezetszennyezőbb hulladék. Másik nagy probléma az, hogy a munkafolyamat nagyban függ a szakemberek tapasztalatától, akik a felhordást (akár kézzel, akár pisztollyal) végzik. A humán tényező a sok szabadságfokú munkaeszköz miatt, két azonos modell nagyon eltérő minőségben készülhet el, ami kívülről nem is látszik [7], csak a gyors tönkremenetelben mutatkozik meg.

Említeni kell ehhez a kérdéskörhöz, hogy mind a kézi-, mind a vákuumos technológia nagyon alacsony termelékenységgű; egy 8 láb

3. ANYAGOK

A gyártásban fontos az anyagválasztás is. A régi technológiák két fő hátrányát figyeltük meg: a laminált, réteges anyag esetén előbb vagy utóbb delaminálódás következik be [2], azaz a rétegek elválnak egymástól és közéjük víz kerül. Ez pedig nem, vagy csak ideiglenesen javítható. Amennyiben az elválás bekövetkezik a hajó nem csak használhatatlan lesz, de kidobva – a

4. ábra: Utólagos felületmegmunkálás a kész hajón. Nagy sebességeknél az ellenállás ilyen módú csökkentése akár a kN nagyságrendbe is eshet [6]



(2,4384 m) hosszú vitorláhajó 1 200 munkórát igényel nyáron és tavasszal, (télen a kötési idő miatt némileg ennél is több), ráadásul az ajánlattételnél is probléma a pontatlan emberi munka miatti kiszámíthatatlanság. Mindkét problémára választ adhat a gépi 3D nyomtatás: a gyártott hajótést a legtöbb esetben homogén anyagból épül fel, így a delamináció veszélye nem áll fenn. Ugyanakkor, amennyiben a szerkezet indokolja (például hosszú testeknél, amikor a belső elrendezés a keresztirányú bordázat sűrítését – merevítés céljából – nem teszi lehetővé) heterogén anyagréteg is felhordható, mert egyes nyomtatók képesek a szálerezített műanyagokhoz hasonló falat létrehozni. Ez utóbbi, bár hasonló a kézzel készített laminálthoz, minőségében jobb annál. A gépesítettség pedig az emberi tényezőt váltja fel, javítja ki. Versenyhajóknál kifejezetten előnyös az eljárás, mert a beágyazott üveg vagy aramid szálak merevebb testet eredményeznek, emiatt a keresztirányú merevítés a hajó belsejében elhagyható, a szerkezet pedig könnyebb lesz.

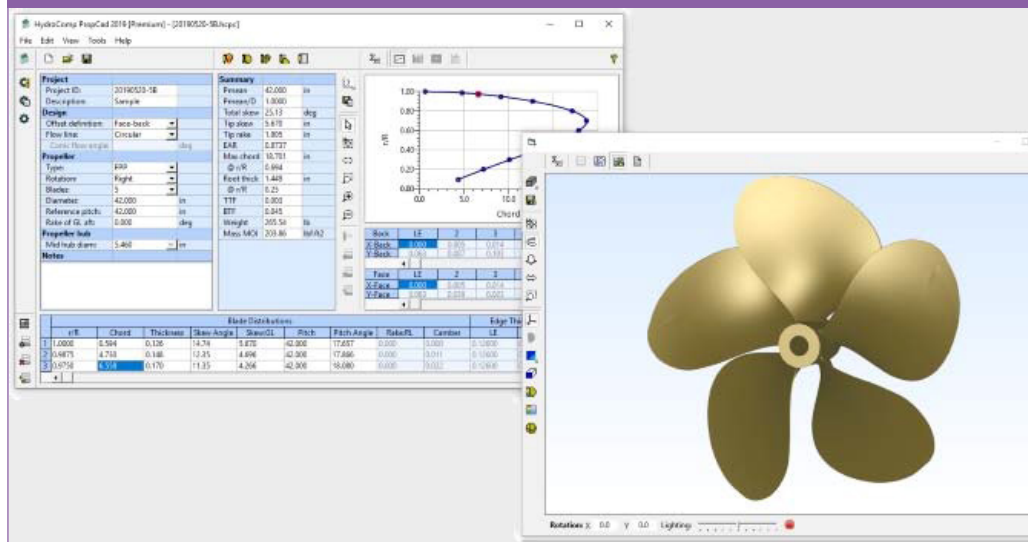
4. EGYÉB, A HAJÓZÁSBAN FONTOS ALKATRÉSZEK

A verseny- és túrahajózásban nagy az egyedi modellek száma. Ha egy hajótést egyedi kiala-

kítású, akkor hajtása is egyedi tervezés mellett lesz optimális. Motoros hajóknál ez a hajtás tisztán a motorra és a hajócsavarra hárul [8,9], vitorlásoknál az előbbire és a vitorlázatra marad. A hajócsavarok rendkívül komplex modellek és tervezés szempontjából érzékenyek. Előfordulhat, hogy pár milliméter átmérő vagy apró emelkedési arányi differencia egy jól működő hajócsavart kavitáló ellenállássá alakít.

Régebben a hajócsavargyártás bonyolult módszerét kézzel és öntési eljárásokkal végezték (gyakran még jelenleg is). A kézi megmunkálás magában hordja a szerszámkészítésnél tárgyalt hátrányokat, csak hatványozottan, hiszen a munkaeszköz (az emberi kéz) ugyanakkora, de a hajócsavar sokkal kisebb termék, tehát a hiba lehetősége arányosítva sokkal nagyobb. A hajótervezés „százéves” problémája, hogy adott hajóra a létező legjobb hatásfokú propellereket meg tudjuk tervezni, de a legyártott alkatrész a gyártási pontatlanság miatt eltér az optimálistól. Erre megoldásként született meg számos 3DPP, azaz 3D printed propeller vállalkozás, amelyben CAD modellekből nyomtatják a propulziós egységeket. Ezzel a módszerrel megszűnik a tervező és a kivitelező közti minőségbeli szakadék [10]. A bemutatott gyártástechnológiával pl. kivált-

5. ábra: Adott hajóra optimális csavar CAD modellje [11]



6. ábra: Készülő hajócsavar motoros kishajóra (FDM eljárás) [10]



ható lett a Wageningen B típusú csavar. Ez a típus eddig azért volt egyeduralkodó, mert ehhez tartozott egyedül elfogadott, kidolgozott számítási mód [13], és ehhez a megfelelő nyilvános kísérleti eredményrendszer, tehát vég-eredményben biztos számításaink csak erre a geometriára voltak.

A 3D nyomtatás lehetővé tette más geometriák tesztelését is, ami az áramlástani szimulációnál bevált, azt kinyomtatták, és egyszerűen validálható volt az eredmény egy vontatási kísérletben. Fontos megjegyezni ugyanakkor, hogy a rétegelt darabgyártás következtében (2,5D megmunkálás) feltételezhetően a felületek minősége nem lesz megfelelő (lépcsőzetes lesz a felület), emiatt szükség lehet az alkatrészek kinyomtatása után utólagos felületi megmunkálásra. Ehhez megfelelő ráhagyással kell tervezni az alkatrészeket [14], [15].

A szimulációk során kapott geometriák megfelelőségét, valamint a gyártható anyagokat valós környezeti körülmények között is validálni szükséges, ami adott esetben igen nehézkes lehet [16], [17]. A másik hajtásmód, a vitorla arra jó példa, mikor nem érdemes használni az additív gyártástechnológiákat. A síklapok szövetében sikerült egy olyan megfelelő anyagot tapasztalati alapon kiválasztani, amelynek a vastagsága a szálakból adódik, és a számítások után a szabászat sokkal egyszerűbb és jóval olcsóbb, mint az új technológi-

ával nyomtatni; a teljes képhez azonban az is hozzá tartozik, hogy a hulladék a szabászatnál lényegesen több.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Simongáti Győző: Kishajók (2012.Typotex)
- [2] Simongáti Győző - Hargitai Csaba László : A Hajóépítés Technológiája (2011. Typotex)
- [3] <https://News.Camozzi.Com/Projects/Siemens-And-Ingersoll-Machine-Tools-Expand-Partnership.KI> (Letöltve: 2021. 04. 24.)
- [4] <https://3dprintingindustry.Com/News/Thermwoods-Lsam-Process-Sets-Sail-3d-Printed-Hull-Pattern-125493/> (Letöltve 2021.03.31.)
- [5] <https://Umaine.Edu/News/Blog/2019/10/10/Umaine-Composites-Center-Receives-Three-Guinness-World-Records-Related-To-Largest-3d-Printer/> (Letöltve: 2021. 04. 24.)
- [6] <https://3dprintingindustry.Com/News/Thermwoods-Lsam-Process-Sets-Sail-3d-Printed-Hull-Pattern-125493/> (Letöltve: 2021. 04. 24.)
- [7] Garay, A. C., Heck, V., Zattera, A. J., Souza, J. A., & Amico, S. C. (2011). Influence Of Calcium Carbonate On Rtm And Rtm Light Processing And Properties Of Molded Composites. Journal Of Reinforced Plastics And Composites, 30(14), 1213–1221. <https://doi.org/10.1177/0731684411416033>
- [8] Zalacko, Roland ; Zöldy, Máté ; Simongáti,

- Győző: Comparative Study Of Two Simple Marine Engine Bsf Estimation Methods, Brodogradnja 71 : 3 Pp. 13-25. , 13 P. (2020) DOI: <https://doi.org/hb7z>
- [9] Szántó, A., Mankovits, T., & Szíki, G. Á. (2020). A Modern Járűvekben Alkalmazott Hajtásrendszerek Áttekintése. International Journal Of Engineering And Management Sciences, 5(1), 728-732. DOI: <https://doi.org/hb72>
- [10] Soonseok Song, Yigit Kemal Demirel, Mehmet Atlar, Penalty Of Hull And Propeller Fouling On Ship Self-Propulsion Performance, Applied Ocean Research, Volume 94, 2020, 102006, Issn 0141-1187, DOI: <https://doi.org/gg4m72>
- [11] Adam Kaplan, Generate Cad, 2d Drawings, And Reports, <https://www.hydrocompinc.com/Solutions/Procad/>
- [12] Islam, M., Jahra, F., Doucet, M. Optimization Of Rans Solver Simulation Setup For Propeller Open Water Performance Prediction. Omae 2015. St. John's, Newfoundland, Canada: Omae2015-41954 DOI: <https://doi.org/hb75>
- [13] Kovács Benedek: A Hajók Elmélete (1988, Tankönyvkiadó)
- [14] Győri, M., Ficzere, P. (2017) "Use Of Sections In The Engineering Practice", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 45(1), Pp. 21-24. DOI: <https://doi.org/djsq>
- [15] Ficzere, Péter, Effect Of 3d Printing Direction On Manufacturing Costs Of Automotive Parts, International Journal For Traffic And Transport Engineering 11 : 1 Pp. 94-101. , 8 P. (2021) DOI: <https://doi.org/hb76>
- [16] Ram Krishna Upadhyay, Ashish Kumar Mishra, Arvind Kumar, Mechanical Degradation Of 3d Printed Pla In Simulated Marine Environment, Surfaces And Interfaces, Volume 21, 2020, 100778, Issn 2468-0230, DOI: <https://doi.org/hb77>
- [17] Cheolsoo Park, Gun Do Kim, Geun-Tae Yim, Youngha Park, Ilsung Moon, A Validation Study Of The Model Test Method For Propeller Cavitation Noise Prediction, Ocean Engineering, Volume 213, 2020, 107655, Issn 0029-8018, DOI: <https://doi.org/hb78>



Application of additive manufacturing technology in the shipping industry

Due to their advantageous technical and economic properties, additive manufacturing technology solutions have also appeared in water transport and shipbuilding. The importance of the process is well illustrated by the fact that it has become widespread in less than a decade despite the technical shift from manual or small-scale shipbuilding being costly and time-consuming. The experience of recent years has proved that it has been worth taking the risk associated with these factors, as during this time lake boating has boomed, the demand for boats from private individuals has increased, so the aspect of rapidness and productivity has come to the fore.



Anwendung der additiven Fertigungstechnologie in der Schifffahrtsindustrie

Aufgrund ihrer vorteilhaften technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften haben sich Lösungen der additiven Fertigungstechnologie auch in der Schifffahrt und im Schiffbau etabliert. Die Bedeutung des Verfahrens wird durch die Tatsache deutlich, dass es sich in weniger als einem Jahrzehnt verbreitet hat, obwohl der technische Wandel vom manuellen oder mit der Verwendung von Kleingeräten durchgeführten Schiffbau kostspielig und zeitaufwändig war. Die Erfahrung der letzten Jahre hat gezeigt, dass es sich lohnt, das mit diesen Faktoren verbundene Risiko einzugehen, da in der Zwischenzeit die Seeschifffahrt boomt, die Nachfrage nach Booten von Privatpersonen gestiegen ist, so dass der Aspekt der Schnelligkeit und Produktivität in den Vordergrund gerückt ist.

Közlekedésbiztonság - Közlekedési környezetvédelem

A közúti közlekedés biztonságának optimalizálása Eye Tracker technológiával

Az útvonalak tervezésénél nagy hangsúlyt fektetünk a sofőr vezetésének biztonságára és kényelmére. Az utazás során nem lehet előre észlelni azokat a szakaszokat, ahol az alacsonyabb közúti biztonságból eredő gyakori balesetek erednek. A cikk az innovatív szem- és nyomkövetési technológia használatára összpontosít, amely optimalizálja a közúti biztonságot. A megfigyelt jelenség a vezető vízszintes és függőleges forgalmi jelzések észlelésére adott válasza, illetve a vezetés során a figyelem középpontjába állítása.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.1.6>

Ing. Richard Lisický

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Stavebná fakulta, Katedra dopravných stavieb
e-mail: richard.lisicky@gmail.com

1. BEVEZETÉS

A gazdasági és társadalmi fejlődés fő irányai szerint fontos, hogy "a veszélyes forgalmi csomópontokat" fokozatosan felszámolják. Annak érdekében, hogy ezt a feladatot megfelelően lehessen elvégezni, a közlekedésbiztonság és a folyamatosság szempontjából meg kell vizsgálni az út kritikus pontjait vagy teljes szakaszát, majd alapos elemzést követően megtenni a megfelelő intézkedéseket. A kutatás a szemérzékelő technológiának a vezető látóterébe történő használatára irányul, és célja a közúti biztonság optimalizálása. Ennek az egész folyamatnak az elemzésére irányul a módszertan, amely arra törekszik, hogy új iránymutatásokat dolgozzon ki a közúti közlekedésről szóló rendelethez vagy közvetlenül beépüljön az útjogba és a műszaki szabványokba.

2. A TECHNIKA ÁLLÁSA

A gazdasági és társadalmi fejlődés fő irányai többek között azt is jelenti, hogy fokozatosan csökkenteni kell a közlekedési balesetek számát." Ebből az okból kifolyólag fontos, hogy a balesetveszélyes szakaszokat időben igyekezzünk meghatározni, majd az alapos elemzések nyomán megfelelő intézkedésekkel aktívan változtassunk a helyzeten. Az intézkedésekkel arra törekszünk, hogy megszüntessük a balesetveszélyes szakaszokat és javítsuk a biztonságot a közúti forgalomban.

A korábbi módszertani iránymutatások a közúti baleseti statisztikák és a szakértői megítélés elemzéséből származó tapasztalatokon alapulnak. Ezek egyszerűek és a balesetek abszolút számának értékelését tartalmazzák. Úgy is lehet érvelni, hogy a meglévő iránymu-

tatások jelenleg már elavultak és korszerűsítésük szükséges. A projekt feladata, új útmutatások kidolgozása ezen az adott területen innovatív mozgásérzékelő technológiával, amely a szem mozgását érzékeli a gépkocsivezető látómezőjében.

3. EYE TRACKER, EYE TRACKING

Az Eye Tracker-en keresztül figyelemmel kísérjük és rögzítjük a vezetők választát a közúti forgalom környezetre gyakorolt hatásairól. A szem követése a fejhez viszonyított szem - pont vagy szemmozgás mérése. A Eye Tracker egy olyan eszköz, amely lehetővé teszi számunkra, hogy elvégezzük ezeket a méréseket. Eye Tracker használható kutatásoknál, mint például vizuális rendszer megfigyelése, de hasznát veszi a pszichológia, a pszicholingvisztika, a marketing is. A mi kísérleti vizsgálataink során szeretnénk felhasználni az Eye Tracker eszközt.

3.1. Történelem

A szemmozgásának megfigyelése a 19. századra nyúlik vissza, és szorosan kapcsolódik az olvasás soráni szemmozgás tanulmányozásához. A szemmozgások megfigyelésének és rögzítésének első módszerét a 19. és 20. század fordulóján találták fel. Mivel ez a módszer kezdetleges volt, ebből számos hátrány származott, például a szem anesztézia szükségessége. A módszert továbbfejlesztették 1911-ben Marx és Trendelenburg, akik a lencsét egy tükörrre rögzítették, és onnan a fénynyaláb egy fényérzékeny szalagról verődött vissza. Az idő múlásával a technológia fejlődése tovább folytatódott. Egyes szerzők 1901 óta használják a mechanikai módszereket a párhuzamosan készített fényképekkel. Az évek során az eszközök és technológiák fejlesztése olyan szintre fejlődött, hogy a szem-nyomkövető alkalmazás magában foglalja az emberi - számítógépes interakciós területet.

A „Eye Tracker” olyan eszköz, amelyet a fejre erősítve úgy terveztek, hogy kísérleti és természetes körülmények között háromdimenziós szemmozgásokat mérjen. A készülék lehetővé teszi, hogy a szemmozgásról (három

szabadsági fokú) és a fej mozgásáról (hat szabadságfokú) méréseket készítsünk úgy, hogy ez egyben vizsgálja a szenzomotoros viselkedést, különösen a vestibuláris és szemmozgató rendszereket.

3.2. A szem követési felvétel formái

A szem követés alapvető formái a következőkre oszthatók:

Videookulográfia

A videookulográfia egy módszer csoport, amely a szem videófelvételét használja a szemmozgás meghatározására. A pupilla helyzetét követi, rögzíti az infravörös fény visszaverődését a szemtől és egyben követi a hajszálerek helyzetét a retinán. A megfigyelt jelenség megválasztása befolyásolja a kapott adatok pontosságát, de figyelembe kell venni a megfigyelés feltételeit és céljait. E módszer előnye, hogy az adott technológiával nagy adatpontosságot érhetünk el. Hátránya a szem mozgásának a fejmozgástól való elválasztásának problémája. Ezt a módszert használok a kutatásomban.

Mechanikai módszerek

A mechanikai módszerek olyan tükörfelületen található kontaktlencsék alkalmazásán alapulnak, amelyekről a fénysugár rögzíthető. Alternatív megoldásként tekercset építenek be a kontaktlencsékbe, amelynek mozgását a mágneses térben keletkező elektromos feszültség mérheti. Ez a módszer lehetővé teszi a szemmozgás nagyon pontos mérést, viszont a szem a szemlencse súlyával terhelve van.

Elektrookulográfia

Ez a módszer az elektromos potenciálváltozások mérésén alapul, szem körüli elektródák segítségével. Az elektrookulográfia (a szem mozgás felvételének módja) egyik fontos előnye az, hogy a különböző fényviszonyok mellett zárt kapszulákkal is képes figyelni a szemmozgásokat. A módszer alkalmazható változó fényviszonyok mellett alvó és nem laboratóriumi vizsgálatokra. A elektrookulográfia egy másik

előnye, hogy lehetővé teszi a teljes mérőeszköz adaptálását, így normál és nem laboratóriumi körülmények között is viselhető. Jelenkorban használatosak a mobil videófelvevő rendszerek is. Az elektrookuliográfia hátránya a látás irányának meghatározásában mutatkozó alacsonyabb pontosság, bár a szemmozgás ideje pontosan meghatározható.

A szem mozgása elektromos potenciál változást vált ki a szem közvetlen közelében, mert a szem elektromos dipólusként működik negatív pólussal a retinán és pozitív póluson a szaruhártyán. Az elektródák, amelyek a szemhéjra vannak rögzítve a szem ellenkező oldalán úgyszintén ki vannak téve a mozgással egyik vagy másik pólus hatásának, ami feszültségváltozást vált ki. Az elektródapár vízszintes és függőleges szemmozgásokat is mérhet.

3.3. Eye Tracking és annak használata, beillesztése útépitésbe

A piacon számos eszköz áll rendelkezésre a szem megfigyelésére és a mérések feljegyzésére. A készülékek gyártói különböző típusú szemfigyelőket (eye tracker készülékeket) mutatnak be. A választás az egyes típusoktól függ. A szem -nyomkövető eszközök és technológiák alapvető elosztása a következő:

Mobile Eye Tracking

A Mobile Eye Tracking megoldást arra tervezték, hogy valós térben és időben rögzítse a természetes emberi látképet. Példaként bemutatom az SMI szemüveget Eye Tracking Glaset [4]. Ezek speciálisan módosított szemüvegek, amelyek a valós idejű természetes nézetet képesek rögzíteni, széles körű alkalmazással és kivételes tartóssággal. A készülék nagy előnye a mobilitás és a könnyű használat. SMI Eye Tracking bemutatja az intelligens rögzítéssel ellátott eszközt (1. ábra), amely támogatja a valós idejű adatelérést és vezeték nélküli használatot. A végrehajtás ezzel a készülékkel a felhasználók számára egy tanulmányi javaslatot nyújt a hatékony elemzéshez.

1. ábra: Eye Tracking Glasses SMI-től, SMI Eye Tracking Glasses 2w [3]



Az ETG 2w rögzíti a fogyasztók, a sportolók, a betegek és a többi felhasználó látását, a mi esetünkben a gépkocsivezetőkéét, ami lehetővé teszi számukra, hogy természetesen korlátozás nélkül végezhesék tevékenységüket.

Remote Eye Tracking (2. ábra)

A második technológia elnevezése Remote Eye Tracking. Ez a technológia statikus és a szemkövetési mérésen alapul, ahol az eszköz a megfigyelt eszközhöz van csatlakoztatva. Ez a megoldás egy teljesen új generációs nagy teljesítményű mérést biztosít a szemkövetéshez, amely ötvözi a tökéletes adatminőséget a sokoldalúság és az intuitív szabályozás új szintjével. Ez a technológia a kutatás minden területén kiváló minőségű adatigényekkel rendelkezik. Az új szint akár 500 Hz-es valós binokuláris nyomkövetést is biztosít, és háromféle módon telepíthető (3. ábra): távirányító, a "chinrest" (módszer, ahol az alany a fejét a készülékre helyezi) és a mágneses rezonancia képalkotás (MRI), amelyet elsősorban a mágneses rezonancia egészségére használnak.

2. ábra: SMI RED500, távoli szemvizsgálat [4]



SMI Experiment Suite

Az SMI Experiment Suite egy speciális szemnyomkövető szoftver, amely pszichológiai,

idegtudományi, nyelvészeti és oktatási eszközöket tartalmaz. Két integrált összetevője, az SMI Experiment Center és az SMI BeGaze [6] támogatja az egész munkafolyamatot, hogy hatékonyan áttérjen egy adott feladat kísérleti tervezéséről az adatok elemzésére. Míg a szemmozgás rögzítésével kapcsolatos tudományos kérdések sokszínűek, az SMI Experiment Suite Scientific alkalmas egyszerű és komplex kísérleti megoldásokra is. Az SMI Experiment Suite Scientific-et úgy alkották meg, hogy támogassa a mintavételi frekvenciát kHz terjedelmében. Az integrált szűrési funkciók

lehetővé teszik a résztvevők számára, hogy elemezzék a vizsgáltak alcsoportjait olyan speciális jellemzők alapján, mint az életkor és a nem.

3. ábra: Távoli szem követés, telepítési módok [5]



3.4. Az eszköz használatának áttekintése

A Tobii Glasses 2 szemüveget úgy alakították ki, hogy pontos és hatékony szem-nyomkövetési adatokat gyűjtsön. A diszkrét, ultragyors kialakítás biztosítja a természetes viselkedést és használhatóságot mind a minőségi, mind a mennyiségi kutatásokban.

A szemkövetési adatok rögzítéséhez a Tobii Glasses-t a vizsgált résztvevő fejére kell felszerelni (hasonlóan a szabványos szemüvegpárhoz) megtekinthető 4. ábrán.

4. ábra: Távoli szem követés, telepítési módok



A rendszert külön kell kalibrálni minden résztvevő számára. A kalibrálási folyamat során a teszt résztvevőjének néhány másodpercre az előtte lévő kalibrációs kártyára kell nézni. Ezután elindul a Tobii Glasses Controller futtatása Windows7 vagy 8 vagy újabb operációs rendszert használó számítógépen. A munkamenet befejezése után a felvétel leáll és a fűgységet eltávolítja a teszt résztvevőről. Minden eszközzel való kölcsönhatás (a vizsgálati alanyok felvétele, indítaskalibrálás, indítás / leállítás stb.) a Tobii Controller szoftverrel történik. A vezérlő szoftver lehetővé teszi a valós idejű szemellenőrzést (vezeték nélküli vagy vezetékes adatátvitel) a feltöltés után. A felvétel megtekintésekor hallhatóak a beépített mikrofonon rögzített adatok. Az előfizető szemének mozgása szintén teljes HD videokameraként jelenik meg a Tobii Glasses 2 fejébe integrált Full HD kamerából.

3.5. Az adatfelvétel folyamata

A résztvevők ismerik a kísérlet tartalmát, miután a vizsgálat kezdetén elolvasták a Eye Tracker tanulmányra módosított információs megállapodást. Minden mérés előtt a résztvevő megerősíti, hogy hozzájárul a mérésekben való részvételhez. A mérés kezdete előtt a résztvevő értesítést kap a rögzítendő útvonalról. A felvétel az utazás kezdetétől indul, és addig tart amíg vissza nem tér az eredeti pozícióba. Az Eye Tracker szemüvegeket úgy tervezték, hogy valós idejű, könnyű, pontos és hatékony nyomkövetési adatsort biztosítsanak. A diszkrét, ultragyors kialakítás biztosítja a természetes viselkedést és alkalmazhatóságot mind a minőségi, mind a mennyiségi kutatásokban. A szemmozgás a videófelvételen színes körként látható. A videó-megfigyelő kamera full HD minőségben rögzíti a felvételt. A résztvevők számára a mérés teljes időtartama körülbelül 30 perc.

4. KONKLÚZIÓ

A projektben a közúti közlekedés biztonságának optimalizálására összpontosítottak. A projekt fő feladata a járművezető dinamikus vezetésének elemzése azáltal, hogy

érzékel a látókörzetet a látómezőben. A kutatás megvalósítása egy speciálisan módosított eszköz bérletét teszi szükségessé a mérés és adatfeldolgozás elvégzéséhez a Mobile Eye Tracking használatával. A mérőberendezést az STU Bratislava Informatikai és Információs technológia Kara biztosítja. A közlekedésbiztonságra gyakorolt kedvezőtlen hatások azonosítása segít megoldásokat találni a negatív hatások elkerülésére. Mindezekelőtt dinamikus elemzi a vezető észlelését különböző vizuális és időjárási körülmények között. Egy másik nyomon követett jelenség, hogy a vezető milyen válaszokat ad azon függőleges és vízszintes jelölések észlelésére, amelyek a vezetés során a figyelem középpontjába kerülnek, főként az út mentén található hirdetési bannerek elhelyezése miatt.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Tobii Pro Glasses 2 User's manual v.1.20.2 - en-US
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking (2018.6.1)
- [3] <https://www.smivision.com/smi-resources/> (2018.14.2)
- [4] https://www.medgadget.com/2010/11/sensomotoric_instruments.html (2018.14.2)
- [5] <http://www.prnewswire.com/news-releases/smi-launches-iview-2k-the-next-generation-of-highperformance-eye-trackers-600668351.html> (2018.13.1)
- [6] https://www.smivision.com/wp-content/uploads/2016/11/smi_prod_ExperimentSuiteScientific.pdf (2018.19.1)
- [7] <https://www.tobiiipro.com/product-listing/tobii-pro-glasses-2/> (2018.14.2)



Optimizing road safety using Eye Tracker technology



Optimierung der Sicherheit im Strassenverkehr durch Eye-Tracker-Technologie



Támogatóink



INNOVÁCIÓS ÉS TECHOLÓGIAI
MINISZTERIUM



EMBERI ERŐFORRÁSOK
MINISZTERIUMA

Petőfi
Kulturális
Ügynökség

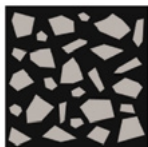


FÜMTERV



STADLER

Stadler Trains Magyarország Kft.



EUROASFALT
ÉPÍTŐ ÉS SZOLGÁLTATÓ KFT.

HungaroControl

Magyar Légiforgalmi Szolgálat



