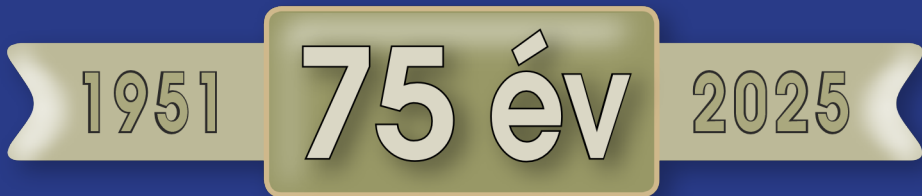


LXXV. ÉVFOLYAM 6. SZÁM
2025. DECEMBER

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE



A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA
ALAPÍTVÁ 1951-BEN

*Valamennyi Előfizetőnek,
Olvasónak, Támogatónak
békés, boldog karácsonyi ünnepeket,
vidám új évet kíván*

*a Közlekedéstudományi Egyesület
és a Közlekedéstudományi Szemle Szerkesztőbizottsága*



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

Főszerkesztő: Dr. Katona András
Főszerkesztő-helyettes: Dr. Lakatos András

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG
Dr. Katona András, főszerkesztő
Dr. Lakatos András Rudolf, főszerkesztő-helyettes
Dr. Henézi Diána Sarolta
Horváth Gábor
Huska Dávid
Kelemen Balázs
Dr. Majdán János
Dr. Munkácsy András
Ötvös Viktória
Pál László
Dr. Tóth János
Dr. Török Ádám

SZERKESZTŐSÉGI TITKÁR:
Ráczné dr. Kovács Ágnes
Tel./fax: 353-2005, 353-0562
E-mail: szemle@ktenet.hu

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

FELELŐS KIADÓ:
Dr. habil. Horváth Balázs,
a Közlekedéstudományi Egyesület főtájtára

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

NYOMDAI KIVITELEZÉS:
Kontraszt Nyomda, Pécs • www.kontraszt.hu
Felelős nyomdavezető: Barta Ákos

TERJESZTŐ:
Magyar Posta Zrt. Központi Hírlap Iroda
1089 Budapest Orczy tér 1. Telefon: 36-1-476300

ISSN 0023 4362

A folyóiratunkban megjelenő cikkek nyíltan hozzáférhető digitális tartalomnak 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 örzünk meg.

TARTALOM

Köller László

Előzmények és tanulságok a vasúti ingatlan-fejlesztés történetéből • 3. rész2

Turi József István

Az új osztrák és svájci vasúti fejlesztési stratégiák tervezési alapelemei.....9

Rosta Szabolcs – Dr. Gáspár László

Útépítési bitumenek dinamikai viszkozitása a lágyuláspont alternatívájaként21

Solymosi Krisztián – Dr. Vinkó Ákos

– Pap Zsigmond
Az M2 metró és a H5 Szentendrei HÉV összekötés megvalósítási lehetőségeinek vizsgálata.....32

Gosztola Anett – Horváth Balázs

A közlekedési hálózati érzékenység kutatásának alakulása és a kritikus elemek sérülékenységének vizsgálata – szakirodalmi áttekintés44

Melléklet

Közlekedésbiztonság – Közlekedési környezetvédelem

Maráczai Rodrigó Dávid

A közlekedési balesetek során kialakuló mentális problémák kezelésének gyakorlata.....56

A KTSZ egyes számai ingyenesen, online elérhetők a <https://ojs.mtak.hu/index.php/ktsz> linkre kattintva.

Print formátum éves előfizetési díja (6 lapszám):

- nem KTE tag egyéneknek és cégeknek: 10 000 Ft/év, egyes lapszámok ára 1700 Ft/db
- egyéni KTE tagoknak: 5000 Ft/év, egyes lapszámok ára: 850 Ft/db

Egyes lapszámok a KTE Titkárságán megrendelhetők (1066 Budapest Teréz krt. 38., Tel.: 36-1-3532005, e-mail: szemle@ktenet.hu)

Előzmények és tanulságok a vasúti ingatlanfejlesztés történetéből • 3. rész

Köller László

e-mail: laszlo.koeller@gmail.com

Absztrakt

A cikksorozat a vasúti területek ingatlangazdálkodásáról szól a rendszerváltozástól napjainkig. A piacgazdaságban az ingatlan szerepe visszanyerte a gazdaságban a hagyományos szerepkörét, jelentősége a vasúti területek használatában is megnőtt. Ennek alapján a cikk bekívánja mutatni a vasúti ingatlangazdálkodás szerepkörét és célkitűzéseinek változásait a kezdetektől a komplex vasút- és ingatlanfejlesztési tervek kidolgozásáig. Konkrét példákon keresztül ismerteti a vasúti területek hasznosítási kérdéseit és az ezekből levonható tanulságokat. Külön csoportban kerülnek tárgyalásra a vasútállomások, személypályaudvarok és az ettől némileg eltérő adottságú árufuvarozási területek, rendezőpályaudvarok területének hasznosítási tervei és azok eredményei, kudarcai. A cikksorozat végén a konkrét példák alapján összefoglalásra kerülnek az eddigi gyakorlatból levonható általános következtetések, javaslatok, aminek aktualitását adja a sajtóban utóbb elhíresült Rákosrendező térségi barnaövezeti fejlesztési program.

A 3. részben a Budapest-Kelenföld vasútállomás és a vidéki vasútállomások ingatlanfejlesztési lehetőségei közül Kaposvár vasútállomás példája szerepel.

Kulcsszavak: *vasúti ingatlangazdálkodás, kincstári tulajdonú vasúti területek, részvénytársasági tulajdonú vasúti területek, vasúti területek ingatlanhasznosítása, vasúti barnaövezetek, komplex vasút- és ingatlanfejlesztési tervek, vasúti területek integrálása, vasút és területfejlesztés*

DOI:<https://doi.org/10.24228/KTSZ.2025.6.1>

3. 5. BUDAPEST-KELENFÖLD VASÚTÁLLOMÁS – EGY ELVETÉLT VÁROSKÖZPONT

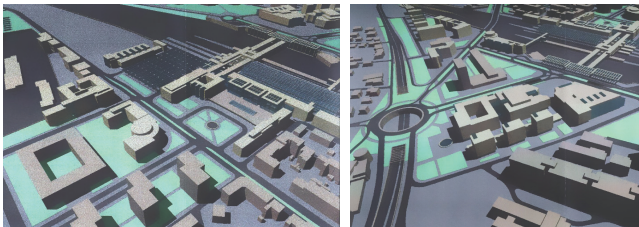
A pályaudvar jellegzetesen keresztező állomás, amit az átmenő forgalom jellemez. A Dunántúl felől a fővárosba befutó vasúti fővonalak gyűjtő és elosztó állomása. Vasútüzemileg Budapest-Kelenföld vasútállomás szoros kapcsolatban áll a Déli pályaudvarral. Az állomás déli, végponti oldalán futnak be a hegyeshalmi,

székesfehérvári és pusztaszabolcsi vasútvonalak, míg a kezdőponti oldalon – az ún. keresztezési műtárgy révén – külön szintben válik szét a Déli pályaudvarra és Ferencváros vasútállomás irányába, ill. a Keleti pályaudvarra menő forgalom, mindez az állomás 1984-ben elkészült I. ütemű rekonstrukciója eredményeként.

1998-99-ben elkészült a Kelenföld állomás új vasútfejlesztési terve, amely már a megváltozott vasúti igényeket tükrözi, és egyben alapját

képezte a 4-es metró kiépítésével összefüggésben párhuzamosan készített Részletes Rendezési Tervnek (26., 27. ábrák). Az elfogadott vasútfejlesztési terv főbb tartalma:

- A vasútfejlesztési terv az átmenő személyforgalmi igények növekedésére biztosítja a távlati „D” peron megépíthetőségét.
- Az elővárosi szerelvényfordulás biztosítására új „A/1” peron létesítését.
- Számol a nagy távlatú Budapest-Ferencváros–Budapest-Kelenföld 3. vágány becsatlakozásával és a Kelenföld–Tárnok 2. vágány kiépítésével.
- Biztosítja az új pályafenntartási telep és a közforgalmú rakodó elhelyezését.
- Fejlesztési területet hagy vasútüzemi funkcióknak, a Déli pályaudvarról kitelepítendő funkciók elhelyezésének és az Etele tér felőli oldalon vállalkozói területsáv kijelölésének.
- A korábbi szándéknak megfelelően helyet biztosít a 4-es metró járműtelepe számára.
- Biztosítja a Somogyi utca átvezetését, mint városzerkezeti igényt.
- A pályaudvar Etele téri és örmezei oldalán új városközpont kialakítására ad lehetőséget P+R kialakítással, kétszintű terület-használattal.
- A terv lehetőséget ad a terepadottságokat kihasználva a vágányok feletti átvezetéssel korlátozott felülépítésre is. Célszerűen ennek fogadóépülete jelentette Budapest-Kelenföld pu. új felvételi épületét.



27. ábra: Az Etele téri és az örmezei oldal látványterve (forrás: KSZT)

A 4-es metróvonal 2014-ben történt átadásáig az eredeti célok közül több fejlesztési elem módosult, elsősorban városfejlesztési oldalról, költségmegtakarítási szempontból. Kikerült a projektből az M1, M7 bevezető főút Bartók Béla úttal való összeköttetése az állomás felett tervezett felüljáróval. Továbbá nem valósult meg a pályaudvari vágányok részleges lefedése, valamint az Etele tér és az örmezei oldal városközpont jellegű összeköttetése.

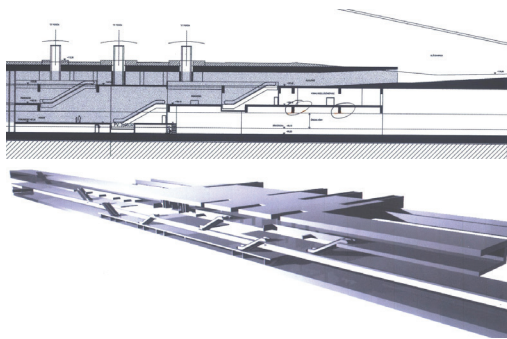
Ugyanakkor előrelépés volt, hogy az eredeti tervektől eltérően valós intermodális kapcsolat jött létre a metrószint és a vasúti peronok között. A 4-es metró vasúti engedélyezési eljárására készített terve eredetileg a nagy forgalmú személyvonati fogadó-, indítóvágányok alatt fűrőpajzsos technológia alkalmazását irányozta elő. Ez az építési technológia azonban nem tette lehetővé a metróállomásról a vasúti peronok közvetlen megközelítését. Ez utaslogisztikailag azt jelentette volna, hogy az átszállási feltételek a metró és a vasúti forgalom között kedvezőtlenül alakultak volna. A tervezők és a MÁV Zrt. kezdeményezésére a DB-R Metró Projekt Igazgatóság megrendelésére elkészültek szádfalás eljárással az intermodális műtárgy tervei, amely biztosította a közvetlen átjárást a metró és a vasúti peronok között (28. ábra).

Ugyanakkor továbbra is megoldatlan maradt a metró kijárat kezelése mind az Etele téri, mind az örmezei oldalon. Nem került sor a csatlakozó területek városközpont jellegű kiépítésére a vasúti területek ilyen jellegű hasznosításával. Az intermodális műtárgy Etele téri kijárata nyitott maradt, elmaradt az ezt lezáró, vállalkozói tőke bevonásával is megvalósítható hangsúlyos



Bp.Déli pu.-ról kitelepítendő vasúti funkciók pótlási helyszíne

26. ábra: Kelenföld Kerületi Szabályzási Terve (forrás: BFVT Kft.)



28. ábra: Kelenföld intermodális műtárgy
(forrás: DB-R Metró Projektigazgatóság)

épület építése, az ebből kiinduló, az állomás két területét összekötő, vágányok feletti széles passzázs létesítésével. Az eredeti vízió azon alapult, hogy Kelenföld állomás mind a főváros, mind a vasúti közlekedés nyugati kapuja. Ezt támasztotta alá a 4-es metróvonal kiépítése és Kelenföld állomás két országrész közötti meghatározó vasúti forgalmi szerepe, ahol az elővárosi forgalmon kívül a nemzetközi, távolsági, az IC forgalom, távlatban pedig a nagysebességű szerelvények egyaránt megjelennek. Ezt a célt szolgáló új városközponttal szemben (29. ábra) az Etele téri metrókijárat lezárása nem történt meg, a hasznosítható területek beépítése pedig jóval szerényebb keretek között valósult meg.



29. ábra: Látványterv Kelenföld városközpont
jellegű kiépítésére (forrás: internet)

Az örmezei oldalon a metróvonal Virágpiaciig való hosszabbításának elmaradása miatt szükséges vált nagy kapacitású P+R parkolók kiépítése, ami részben vasúti területen történt meg. Ehhez kapcsolódott a szélső nyolc tehervonati vágány (XXI-XXVIII) és területének 2008-ban történt feladása, amit az állomásból kiágazó iparvágányhálózat időközben történt teljes felszámolása és ebből adódóan a helyi vasúti teherforgalom csökkenése tett lehetővé. Ugyanakkor

a P+R parkoló városszerkezeti integrálása nem történt meg, és a korábbi nagyívű elképzelésekkel szemben ma csak egy sáv területhasznosítás látható (30. ábra).

Kelenföld életében újabb változást a Budapesti Agglomeráció Vasúti Stratégia (BAVS) hozott. A stratégia fejlesztési javaslata a vasúti forgalom megkészszerzése érdekében Déli és Nyugati pályaudvarok vasúti alagúttal való összekötését tervezte, ami Kelenföld állomásról kiindulóan a meglévő állomási vágányhálózat átalakítását is igényli. A nagyszabású projekt megvalósításához a BAVS több ütemre bontva határozta meg a szükséges beavatkozásokat. Kelenföld esetében ezek a következők (4):

Azonnali beavatkozások, amelyek a jelenlegi szolgáltatási szint további fenntartásához is nélkülözhetetlenek, illetve azok, amelyek a beavatkozás mértéke vagy előkészítettsége miatt rövid átfutási idővel megvalósíthatók és a szolgáltatási színvonalban jelentős emelkedést jelenthetnek. Ezek:

- Déli (kiz.) – Kelenföld (kiz.) szakasz korszerűsítése a távlati forgalomnagyságnak megfelelően, ennek részeként Déli pályaudvari alagút kapacitás (úrszelvény) bővítés,
- Ferencváros-Kelenföld kapacitásbővítés
 - Közvágóhid és Nádorkert megállóhely létesítése,
 - a csatlakozó állomásokon kiegészítő kapacitásbővítés.

Rövid távú intézkedések, amelyek az alagút, mint legnagyobb kapacitásbővítő infrastruktúraelem nélkül is legalább részben hasznosulhatnak, illetve amelyek ahhoz szükségesek, hogy más, nagyobb beavatkozások idején a forgalomszervezés lehetőségeit bővítsék. Az ebbe az időtávba kerülésnek szükséges feltétele, hogy a projekt a tízéves időtávban reálisan megvalósítható legyen, továbbá, hogy az adott infrastruktúraelem az alagút pontos műszaki tartalmától függetlenül megfelelően kialakítható legyen.

- Kelenföld állomás és térsége - kapacitás biztosítás átmenő vonatok számára:
 - Megfelelő kapacitás biztosítása az 1, 30, 40 vonalak, illetve az alagút és a Déli körvasút között egyaránt.
 - Fonódó irányok miatt szükségessé váló pufferidők biztosítását lehetővé tevő (peronos) vágánykapacitás biztosítása.

Vasúti közlekedés

- Tehervonatok közlekedtetéséhez megfelelő kapacitás biztosítása.
- Utasforgalmi (utaskiszolgáló) létesítmények fejlesztése (fordítókapacitással összhangban).
- Kelenföld–Törökbálint kapacitásbővítés (távlati nagysebességű vonal bevezető szakasza).

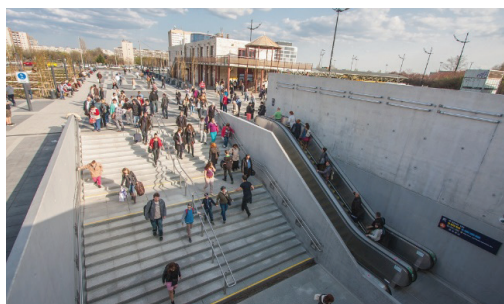
Alagút időtávba azok a projektelemek tartoznak, amelyek önmagukban véve is várhatóan szükségesek lesznek ahhoz, hogy az alagútra szervezett közlekedési rendszer működőképes legyen. Ezen időtávba kerültek továbbá azok az intézkedések is, amelyek az egyes vonalcsoportok fejlesztései esetén szükségesek lennének akár rövid távon is, de az alagút által kínált kapacitásbővítés nélkül önállóan nem hasznosulnának.



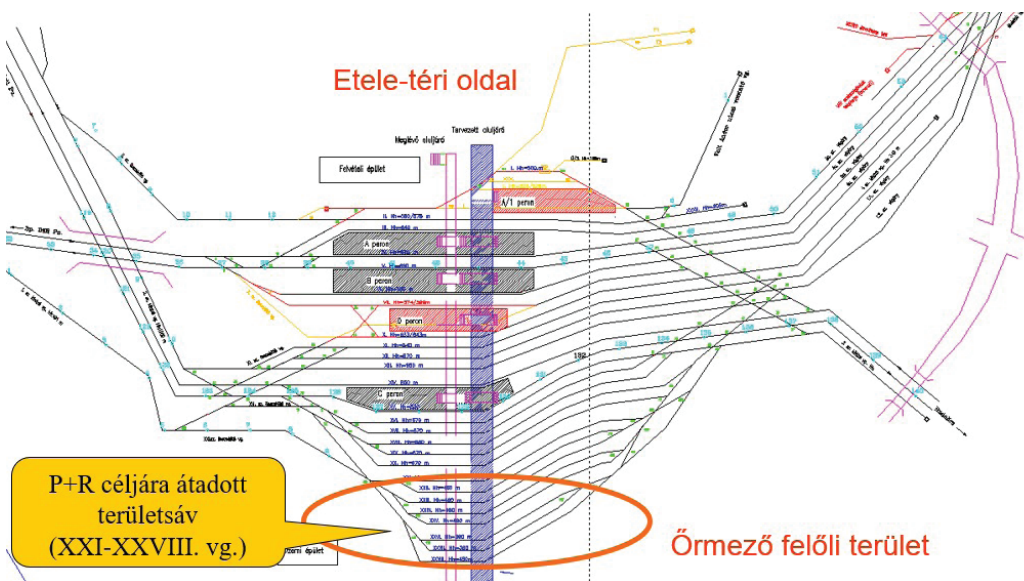
Örmezői oldali P+R parkoló

- Kelenföld állomás és térsége - fordítókapacitás biztosítása
 - vonatfordítás lehetővé tétele az elővárosi vonalak és az alagút felé (normál üzem, illetve haváriahelyzet), átmenő vonatok számára biztosított kapacitással összhangban

Hosszú távba azok a további intézkedések kerültek, amelyek az alagút működéséhez nem nélkülözhetetlenek, hanem csak azon felül jelentenek további szolgáltatásiszint-emelést, esetleg olyan egyéb tényezőktől is függenek, amelyek várhatóan csak ebben az időtávban valósulnak meg. Ide kerültek azok az intézkedések is, amelyek logikai vagy egyéb függőségeik miatt csak az alagút megépítése után válnak lehetséggé. Ebből az időszámba sorolhatók továbbá olyan, akár rövid távon is kívánatos, de az alagúttal csak együtt



Etele téri nyitott kijárat

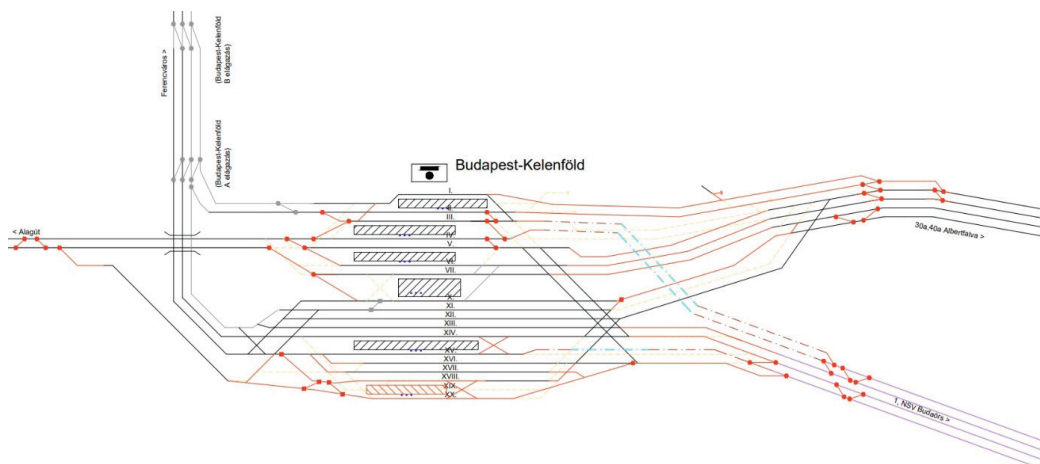


30. ábra: Kelenföld megvalósult „ingatlanfejlesztés” (forrás: internet)

hasznosítható intézkedések is, amelyek előkészítése és megvalósítása műszaki vagy környezeti kockázatok miatt várhatóan a többi hasonló projektnél jelentősen több időt vesz igénybe.

- Kelenföldet érintő beavatkozás nincs.

A stratégia alapján a FŐMTERV Zrt. kidolgozta Kelenföld állomás átalakítási tervét, amely biztosítja a kezdőponti oldalon a vasúti alagút (Déli pályaudvari irány) és körvasúti fejlesztéshez (ferencvárosi irány) való csatlakozást, az állomási vágányhálózat módosítását egy új utasperon létesítését és a végponti oldalon a hegyeshalmi irányból 3., 4. vágány fogadását a BAVS forgalmi modell és távlati NSV forgalom lebonyolításához (31. ábra).



31. ábra: Kelenföld BAVS forgalomhoz tervezett átalakítása (forrás: FŐMTERV Zrt.)

A BAVS projekt megvalósítása finanszírozási okokból az eredeti ütemezéshez képest bizonytalan időszakra halasztódott. Ennek ingatlangazdálkodási következménye, hogy Kelenföldön a már amúgy is korlátozott hasznosítási lehetőségre újabb döntéshozatalig nincs mód, viszont szükséges a BAVS projektben megfogalmazott vasúti infrastruktúra-fejlesztésekhez a fejlesztési terület megőrzése. Ingatlangazdálkodási szempontból további gond, hogy az állomás 1980-as években történt átépítésének területrendezése nem történt meg, a déli szakaszon a telkek még az átépítés előtti állapotot tükrözik.

Összegzőként elmondható, hogy az eredetileg tervezett nagyszabású vasúti barnaövezeti és a kapcsolódó ingatlanfejlesztések helyett egy

elvetelt városközpont jött létre, ami nem teljesíti Kelenföld, mint térszervező erő, a város és a vasút nyugati kapujából eredeztethető funkciókat.

3. 6. VIDÉKI VASÚTI ÁLLOMÁSOK INGATLANFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI

A fővárosi ingatlanhasznosítási lehetőségek mellett érdemes áttekinteni, hogy milyen adottságai vannak a vidéki személypályaudvaroknak, állomásoknak. A vasúthálózat kiépítésekor jellemzően a történeti városközpont szélén kerültek megépítésre a vasútállomások. A főváros esetében a városfejlődés messze túlnötte ezt a területet, ugyanakkor a legtöbb vidéki nagyvárosban ez a tendencia csak korlátozott-

tan érvényesült, és a várost kiszolgáló vasútállomást nem veszi körbe intenzív beépítésű városi szövet, ami meghatározó igényt jelentene vasúti területek településszerkezeti integrálása terén. Természetesen ez nem jelenti azt, hogy nincs mód nagyobb szabású ingatlanfejlesztésre a vidéki állomások esetében, hanem inkább azt, hogy a célkitűzés hangsúlya elsődlegesen a közlekedési módváltást biztosító fejlesztésekre, az ún. intermodális csomópontok (IMCS) kiépítésére irányul. Az IMCS fejlesztések célja a vasútállomás és a város közösségi közlekedése közötti kapcsolat minél teljesebbé tétele, továbbá a város vonzáskörzetét kiszolgáló közlekedési szolgáltatások és a vasútállomás közvetlen kapcsolatának megoldása, a környező utasforgalom rá- és elhordásának hatékony megoldása,

továbbá nagy kapacitású P+R parkolók, kerékpártárolók létesítése. A vasúti technológia fejlődése révén a vidéki nagyvárosok vasútállomásai esetében is jelentős tartalékterületek képződtek, amelyek a gyakran alulhasznosított állomási előterekkel együtt alkalmasak az IMCS fejlesztések megvalósítására.

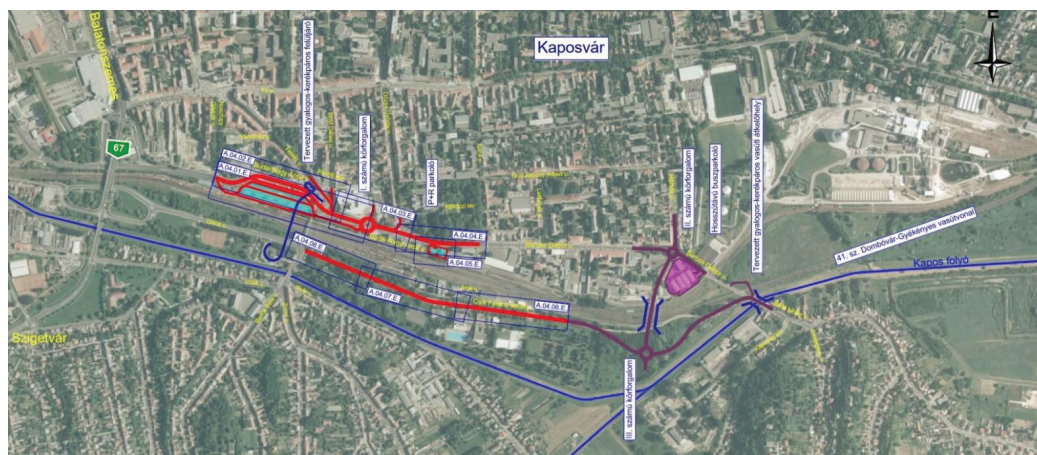
A kormányzat is kiemelten kezelte az IMCS projektek létesítését, és forrást biztosított a megyei jogú városok számára az ehhez szükséges tervek elkészíttetésére.

Kaposvár vasútállomás – álmokból realitás

Példaként az elsők között megvalósult Kaposvár IMCS kerül bemutatásra. A projekt előkészítésére Részletes Megvalósíthatósági Tanulmány (RMT) készült, aminek kiinduló változata a tehénpályaudvar kitépítésével és a vasúti pálya ívének módosításával teremtette meg a helyét a távolsági és a helyi buszközlekedést egyesítő új pályaudvarnak a vasúti felvételi épület mellett. A projekt nagy forrásigénye szükségessé

közösségi közlekedési fejlesztések értékelemzése és CBA felülvizsgálata. Az intermodális csomópont átépítése során az esélyegyenlőség biztosítása érdekében valamennyi állomási peronsk+55 cm magassággal épült át. A vasútállomás mellett az új buszpályaudvar helyigénye miatt a Budai Nagy Antal utca nyomvonalának korrekciójára volt szükség 450 m hosszban. Az új buszpályaudvar területén 10 csuklós, valamint 24 szóló busz számára szükséges érkező és induló állás, valamint 47 szóló és további 13 csuklós busz tárolási helyét biztosították, beleértve a turista buszok helyigényét is (32. ábra).

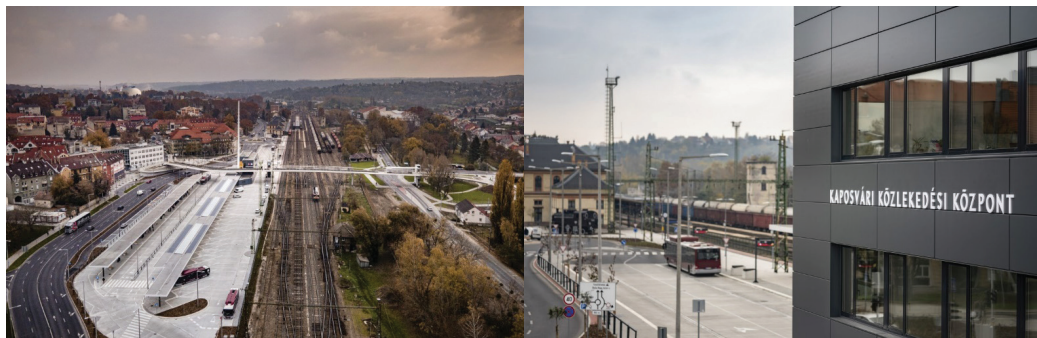
Az egyéni közlekedési módokat használó utasok számára P+R parkolók létesültek a Csík Ferenc sétány, a vasútállomás felvételi épülete, valamint az Újpiac téri körforgalom mellett. A beavatkozás révén az eddig kihasználatlan vasúti területek bevonásával gyakorlatilag megduplázódtak a városi funkciójú területek a térségben. Emellett megtörtént – a kapcsolódó úthálózat fejlesztésével és új gyalogos és kerékpáros híd építésével – az addig elvágott területek összekapcsolása (33. ábra).



32. ábra: Kaposvár IMCS terve (forrás: Magyar Építők)

tette egy „kis IMCS” koncepció kidolgozását, megnevezve azokat a programelemeket, amelyek városi szempontból feltétlenül szükségesek. A karcsúsított program alapelve az volt, hogy a vasúti pálya ne kerüljön átépítésre, helyette inkább a Budai Nagy Antal utca ívkorrekciójával kerüljön a fejlesztési terület biztosítása a vasút közelében. A javaslat alapján elkészült Kaposvár intermodális pályaudvar és kapcsolódó

Kaposvár, de a többi IMCS tervezése, előkészítése során szerzett tapasztalat, hogy önkormányzati oldalról az IMCS projekt keretében kívánták megoldani a település sokszor több évtizede halasztott fejlesztéseit, ami kezelhetetlen mértékű forrásigényhez vezetett. Az elkészült IMCS tervek országosan felülvizsgálatra kerültek, így Kaposváron is egy reálisan megvalósítható terv született, ami lehetővé tette elkészültét.



33. ábra: Kaposvár, a megvalósult IMCS (forrás: MÁV Zrt.)



Sustainability in Bridge Management

Keywords: railway property management, real estate utilisation, treasury-owned railway land, joint-stock company-owned railway land, utilisation of railway land for real estate, railway brownfield sites, complex plans for the development of railways and real estate, integration of railway land and land development, Budapest Kelenföld railway station, Kaposvár railway station

This series of articles is about property management in railway areas from the change of regime to the present day. In a market economy, real estate has regained its traditional importance in the economy, its importance in the use of railway areas has also increased. Building on this, the article explores the evolving role and objectives of railway property management, from the beginning to the development of complex railway and property development plans. Through concrete examples, it describes issues relating to the use of railway land and the lessons that can be learned from them. Railway stations, passenger stations, and freight transport areas, marshalling yards, which have slightly different characteristics, are discussed in a separate group, along with their utilization plans and results and failures of them. At the end of the article series, the general conclusions and suggestions drawn from the practice so far are summarised based on concrete examples. At the end of the series of articles, general conclusions and recommendations based on specific examples will be summarized, which are particularly relevant considering the recently publicized brownfield development program in the Rákosrendező area.

In part 3, Budapest-Kelenföld railway station and among the real estate development opportunities of rural railway stations, the example of Kaposvár railway station is presented.

E számunk lektorai

Aba Attila
 Dr. Katona András
 Dr. Lakatos András Rudolf
 Dr. Timár András
 Dr. Tóth László

Az új osztrák és svájci vasúti fejlesztési stratégiák tervezési alapelemei

Turi József István

MÁV Zrt.

e-mail: turi.jozsef.istvan@mavcsoport.hu

Absztrakt

A svájci és az osztrák vasúti szolgáltatások színvonalukban és működési hátterüket tekintve is követendő példát mutatnak Európa többi országa számára. A kiemelkedő szolgáltatás-minőség megalapozásához nagyban hozzájárul az egyes országok vasúti fejlesztésekre vonatkozó stratégia-tervezési és megvalósítási gyakorlata. A vasúti közlekedés Ausztriában és Svájcban is küzd a közúti közlekedés egyre nagyobb térnyerésével, teljesítménynövekedésével. A közelmúltban elkészült stratégiáik célja, a klímavédelmi intézkedések egyik fő részelemeként, a vasúti szolgáltatások jelentős színvonalnővekedésével a közúti közlekedés piaci részesedésének csökkentése. A vasút piaci versenyelőnyét megalapozó stratégiák alapelemeit foglalja össze a szakmai cikk.

Kulcsszavak: *stratégiatervezés; legjobb gyakorlatok; piaci verseny; vasúti rendszer; scenárium-önmegvalósítás; összehangolt ütemes menetrend*

DOI:<https://doi.org/10.24228/KTSZ.2025.6.2>

1. BEVEZETÉS

A közép-európai, német nyelvű országok – Ausztria, Németország, Svájc – vasúti szakemberei a vasút megjelenésétől fogva élen jártak a fejlesztések, jó gyakorlatok kialakításában, bevezetésében és a tudásuk egymás közötti megosztásában. A klíma- és közlekedéspolitikai célkitűzések alapján készült vasúti stratégiáik alapelemeinek megismerése a hazai szakemberek munkáját is nagyban segítheti a vasúti stratégiák készítése során.

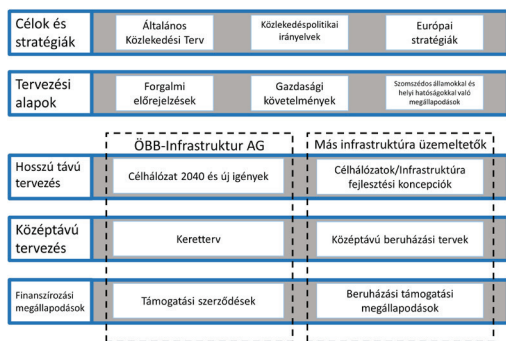
2. AZ ÚJ OSZTRÁK VASÚTI INFRA-STRUKTÚRA-FEJLESZTÉSI STRATÉGIA ALAPELEMEI

Az osztrák vasúti szektor fejlesztési projektjeinek azonosítása, tervezése és végrehajtása

hierarchikus struktúrába rendezett folyamatok és ellenőrzési eszközök segítségével történik. A közlekedéspolitikai irányelveket nemzeti szintű stratégiai programok és tervek határozzák meg, amelyek a nemzeti követelmények és igények mellett a globális és az európai célkitűzéseket is figyelembe veszik (1. ábra). A Zielnetz 2040 (továbbiakban: Célhálózat 2040) [1] létrehozása idején érvényes 2030-as Osztrák Általános Közlekedési Terv szerinti mobilitási szektorra érvényes keretfeltételek a következők: a közlekedési igények csökkentésének és az energiahatékony közlekedési módokra való átállásnak a támogatása, a közlekedési módokon belüli folyamatos fejlesztés erősítése.

A korábbi Célhálózat 2025+-ról [2] 2012 elején döntött az akkori szövetségi kormány. A Célhálózat 2040 logikus folytatása és frissítése a korábbi Célhálózat 2025+-nak. Az új vasúti fejlesztési

stratégia a keretfeltételekben időközben bekövetkezett változásokat is figyelembe veszi, mint pl. a klímajegyek bevezetésével megnövekedett személyszállítási igényt. A Célhálózat 2040 legfontosabb eleme az ÖBB-Infrastruktur AG vasúti hálózatára vonatkozó fejlesztési javaslata, amelyet a következő 15-20 évben valósítanak majd meg az évente aktualizált Kerettervekbe való betervezéssel. A Célhálózat 2040 a fejlesztési beruházásokhoz kapcsolódó pénzügyi költségeket az általuk generált közlekedési és szociális haszonnal együtt mutatja be. A szövetségi kormány az elfogadott Keretterveken keresztül biztosítja a beruházások finanszírozását. A Célhálózat 2040 azonban nem jelenti azt, hogy a célhálózati projektek automatikusan bekerülnek a jövőbeni Kerettervekbe.



1. ábra: A vasúti infrastruktúra-fejlesztés tervezése és finanszírozása Ausztriában [3]

2. 1. Célkitűzések

A Célhálózat 2040 kiindulópontját a létrehozás fő szakaszában érvényes finanszírozási programok (Keretterv 2023-2028, közlekedési szolgáltatási szerződések) alkotják, így a vasúthálózat fejlesztése a 2020-as évek végére már nagyrészt meghatározott, és a korábbi Célhálózat 2025+ nagyrészt megvalósult. A Célhálózat 2040 öt célkitűzést (2. ábra) fogalmaz meg, amelyek a jövő osztrák vasúthálózatával szemben támasztott követelményeket tükrözik. Ezek a célok mutatják meg, hogy az osztrák vasúthálózat mely piaci szegmensben, milyen fejlődési lépéseket fog végrehajtani 2040-ig. A célok a kapacitás, a technológia és a versenyfeltételek átfogó és hosszú távú keretfeltételein alapulnak, amelyek megvalósítása a Célhálózat 2040 egy vagy több projektet összefogó moduljaiban történik.

Nemzetközi kapcsolatok

A Célhálózat 2040 növeli a környező országok felé irányuló eljutási lehetőségek számát. Ily módon járul hozzá Ausztria a vasúti személy- és áruszállítás európai hálózatának következő fejlesztési szakaszához és teljesíti a felülvizsgált TEN-T irányelvek Ausztriára vonatkozó kötelezettségeit. Nyugat- és Kelet-Európa meglévő és tervezett nagysebességű vasúti hálózatai a Duna-tengely mentén kapcsolódnak össze. A Célhálózat 2040 valamennyi határon átnyúló útirányon a szomszédos országokkal összehangolt fokozatos kapacitásbővítést irányoz elő.

Összehangolt ütemes menetrend

A Célhálózat 2040 megalapozza a korábbi Célhálózat 2025+ megvalósításával fokozatosan bevezetett, összehangolt ütemes menetrend következő bővítési szakaszát. Ausztria fő útirányain lévő fontos állomások kapcsolatai bővülnek és tovább gyorsulnak. Kihasználják a Semmering-alagút, a Koralmbahn és a Bécs és Wels közötti négyvágányú vonal forgalomszervezési előnyeit. Ausztria egész vasúti hálózatán optimálisan összekapcsolódnak és szinkronizálódnak a fő csomópontok közötti eljutások. A csomópontok és a tartományi fővárosok közötti útvonalakon egyre több és gyorsabb távolsági közlekedési lehetőség válik elérhetővé. A csomópontokhoz való kapcsolódással a helyi régiók is kötődnek az országos hálózathoz.

Vasúti áruszállítás

A vasúti áruszállítás pályaudvali kapacitásigényét és versenyképességi feltételeit a többi célnál is figyelembe veszik. A kapacitások következetes bővítése és biztosítása szerves részét képezi a főbb belső és határon átnyúló útirányok továbbfejlesztésének. A Célhálózat 2040 jelentősen javítja a vasúti áruszállítás versenyképességét azáltal, hogy lehetővé teszi a hosszabb és nehezebb vonatok folyamatos közlekedését a fontos útirányokon. A nagyforgalmú nagyvárosi területek és csomópontok környezetében a vasúti áruszállítás optimalizálását és a személyforgalomtól való elválasztását is megvalósítják.

Agglomerációs területek

A Célhálózat 2040 további lökést ad a nagyvárosi agglomerációkban a vasúti közlekedés fejlődésének. A kapacitásnövelő intézkedések lehetővé

teszik a gyakoriság növelését és az eljutási idők csökkentését a tartományi fővárosok és a regionális központok agglomerációiban, kiemelten kezelve a nagy keresletű magterületeket. Az új megállóhelyekkel és a gyakoribb közlekedéssel a városi területek vasúti kiszolgálása javul.

Regionális közlekedés

A nagy keresleti potenciállal rendelkező regionális útvonalakon a Célhálózat 2040 a járatok számának növekedésével, az eljutási idők csökkentésével, a nagyobb csomópontokkal való menetrendi ütem harmonizációval számol. A régiós áruszállításhoz szükséges kapacitásokat szintén figyelembe veszik. A regionális elérhetőség javításához a főbb belső és határon átnyúló útvonalak fejlesztése is hozzájárul.

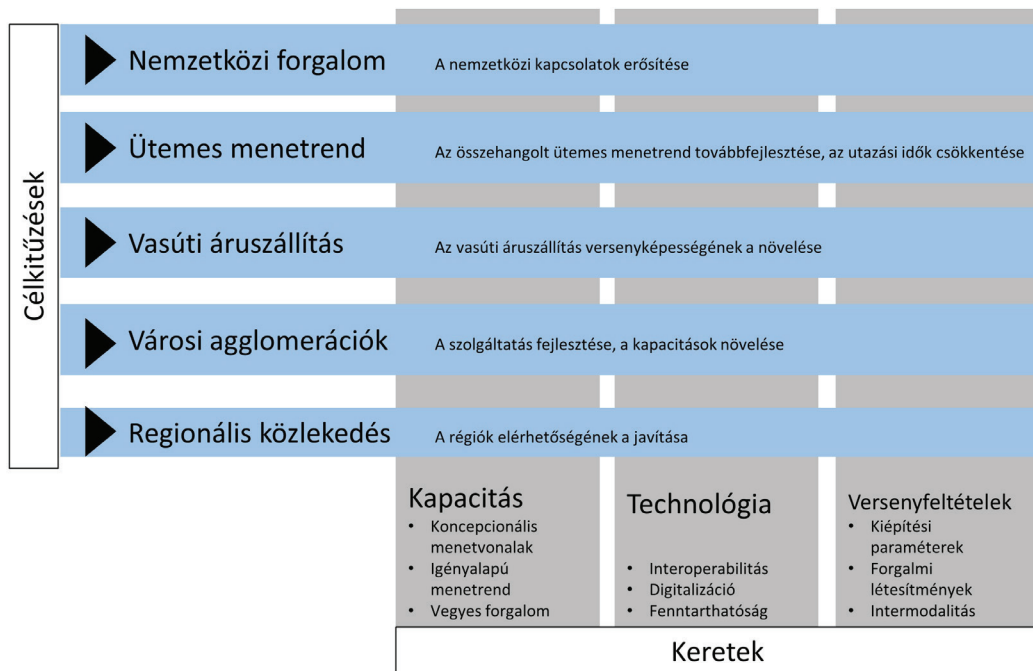
További keretfeltételek és programok

Ahhoz, hogy a stratégiai fejlesztési projektek kifejthessék hatásukat, további, párhuzamos programok és kezdeményezések folytatására van szükség, amelyek önmagukban nem részei a Célhálózat 2040-nek, de mind az intézkedések megalapozásához, mind az értékeléséhez hozzájárulnak:

- vonatirányítás, vonatvédelem és digitalizálás,
- kapacitás- és minőségoptimalizált vasúti üzemeltetés,
- fenntarthatóság,
- dekarbonizáció és energiaellátás,
- akadálymentesség,
- vasútállomások és megállóhelyek fejlesztése,
- az ügyfelek tájékoztatása,
- felújítás és karbantartás,
- járműoldali fejlesztések,
- gyártási rendszerek és interfészek.

2. 2. Piaci stratégia

A pályavasúti rendszerek tervezésekor az eltérő sebességek és terhelések miatt sokféle nyomvonal- és bővítési paramétert kell figyelembe venni. Emellett az eltérő menetdinamikai jellemzők és sebességek megkövetelik a menetrendi és az üzemeltetési koncepciók alapos átgondolását is. Így biztosítható a rendszerek hatékony használata. A különböző piaci szegmensek eltérő célok és igények szerint fejlődnek, amelyeket differenciáltan kell előre jelezni, ez további rugalmasságot igényel a vasúti hálózat stratégiai tervezésében. A rövid távú gazdasági és piaci folyamatok befolyásolhatják a szállítási keresletet, azonban a szállítási igényekre adott ajánlatok nem



2. ábra: A Célhálózat 2040 célkitűzései [1]

alapulhatnak kizárólag a piaci potenciálon, hanem hosszú távon is stabilnak kell maradniuk a vasúti rendszer sajátosságaiból adódóan.

Piaci szegmensek

A vasúti rendszer fejlesztése során fontos szempont a személy- és áruszállítás más közlekedési módokhoz viszonyított versenyképességének figyelembevétele, annak biztosítása. A versenyképességet befolyásoló fő tényezők a kívánt utazási vagy szállítási sebesség és az ebből származtatható utazási vagy szállítási távolságok és idők (1. és 2. táblázat). Amennyiben a vasút egy adott piaci szegmensben sem sebességben, sem időben már nem tud lépést tartani a versenytárs közlekedési módokkal, akkor abban visszaesik a kereslet a vasút iránt.

vállalatok számára fontos rövid szállítási idők miatt nem lehet gazdaságosan biztosítani azt, hogy az „utolsó mérföld”-re áttérjenek közútról a vasútra.

2. 3. Az infrastruktúra méretezésének tervezési alapja a koncepcionális menetvonal

A Célhálózat 2040 az osztrák vasúthálózat kínálatközpontú fejlesztési stratégiája. A stratégia fokozatos megvalósítását szolgáló intézkedések mind a hálózat egészére vonatkozó általános, mind bizonyos útvonalakra vagy részterületekre meghatározott speciális kínálati koncepciót is kiszolgálják. A 2040-es célhorizont hosszú távú tervében a vasúti személy- és áruszállítá-

Piaci szegmens	Szolgáltatási terület	Fő versenytárs	Elvart utazási sebesség [km/h]	Max. utazási idő, távolság	Alap járatgyakorlás [perc]	Átlagos megállóhely/állomás távolság [km]
NSV, kiemelt távolsági forgalom	Ütemcsomópontok és a tartományi székhelyek összekötése nemzetközi vonatokkal.	Repülés és az autópályát használó szgk.	120-nál nagyobb	4 óra, 480 km	belföldi: 60 nemzetközi: 120	100
Kiemelt távolsági forgalom	Ütemcsomópontok összekötése belföldi távolsági vonatokkal.	Autópályát használó szgk.	90-120	8 óra, 960 km	60	25
Interrégió	Ütemcsomópontok, regionális és turisztikai központok összekapcsolása belföldi távolsági vonatokkal.	Autópályát, főutat használó szgk.	90	8 óra, 720 km	60-120	20
Gyorsított helyi közlekedés	Városregiók közvetlen környezetéhez kapcsolódó területek, valamint a városregiók periférikus vagy közepesen sűrűn lakott területeinek elérése.	Autópályát, főutat használó szgk.	75-90	1 óra, 90 km	Fővonal: 30-60 Szárnyvonal: 60	6-12
Nagyvárosi területek	Nagyvárosi területek feltárása	Főutat használó szgk.	45-60	1 óra, 60 km	Fővonal: 15-30 Szárnyvonal: 30	3
Regionális területek	Regionális területek feltárása	Főutat használó szgk.	60	1 óra, 60 km	Fővonal: 30-60 Szárnyvonal: 60	3-6

1. táblázat: A vasúti személyszállítási piaci szegmensek és versenyképességi tényezők

Az áruszállításban a vasút nagy szállítási mennyiségekkel és nagy szállítási távolságokkal tudja kihasználni rendszerezőnyét. A ráhordó vonalakon erős verseny van a közúti tehergépkocsi forgalommal, ami méretosztálytól és árutól függően akár 40 t össztömegű járműveket is használhat. Rövid szállítási távolságokon vagy közvetlen vasúti összeköttetések nélkül a

szolgáltatás koncepcionális menetvonalak formájában van meghatározva, ezek paramétereit: a jelentősebb ütemcsomópontok, a hozzájuk kapcsolódó cél utazási idők, a szükséges menetvonal kínálat és elhelyezkedés. (3. táblázat, 3. ábra) Ez egyrészt a teljes hálózatra, másrészt meghatározott útvonalakra vagy részterületekre lehatárolt fejlesztési modulonként kerül

Piaci szegmens	Szolgáltatási terület	Fő versenytárs
Távolsági áruszállítás	Nemzetközi vagy belföldi útvonalakon.	Belvízi áruszállítás, repülés, tehergépkocsi
Regionális áruszállítás	Ráhordó vonalak illetve a rendező pályaudvarok környezete.	Tehergépkocsi

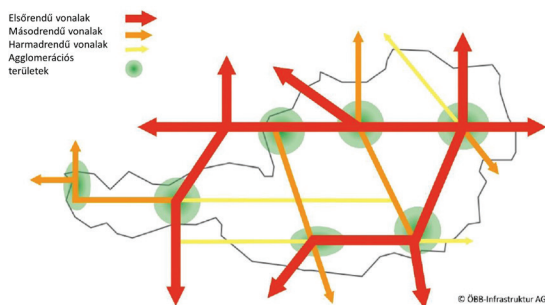
2. táblázat: A vasúti áruszállítási piaci szegmensek és versenytársak

megszabásra. A kitűzött célok és az előre jelzett piaci változások alapján állnak elő a kínálati menetvonal mennyiségek. Az egyes piaci szegmensekre vonatkozó óránkénti koncepcionális-menetvonal szám és irány meghatározása mellett az egyes piaci szegmensek koncepcionális-menetvonalainak összehangolása is megtörténik.

el kell érni a kitűzött közlekedéspolitikai célokat és a kívánt vasúti rendszerhatásokat is. A teljes projektportfólió ezen időszakon belüli megvalósítása rendkívül ambiciózus, de alapvetően lehetséges forgatókönyv kell, hogy legyen. A Célhálózat 2040 szándékosan tartózkodik az egyes fejlesztési modulok, illetve a bennük található projektek konkrét prioritizálásától, valamint az

Vonaltípus	Szolgáltatási terület	Jellemző műszaki paraméterek
Elsőrendű vonalak	TEN-T törzshálózat. Európai főhálózati csatlakozások.	Elvi négyvágányos kiépítés (2+2 pálya: távolsági személy/áruszállítás és helyi személy/fejlesztés). Sebesség ≥ 200 km/h a távolsági személyszállításban az európai nagysebességű hálózat részeként. Kis emelkedésű pálya. Alap forgalom: 2 koncepcionális menetvonal/óra távolsági személyszállítás, 2 koncepcionális menetvonal/óra áruszállítás.
Másodrendű vonalak	Kiterjesztett TEN-T törzshálózat. Jelentős kapcsolatok az ausztriai és a külföldi csomópontok között.	Elvi kétvágányos kiépítés. Sebesség 160 km/h. Alap forgalom: 1 menetvonal/óra távolsági személyszállítás, 1 menetvonal/óra áruszállítás.
Harmadrendű vonalak	TEN-T átfogó hálózat. Ausztrián belüli és a külföldi csomópontok közötti további kapcsolatok biztosítása. Jelentős alternatív útvonalak a határon átnyúló forgalomban a hálózat ellenálló képességének biztosításához.	Részleges kétvágány (különösen a csomópontok közelében). Sebesség ≥ 100 km/h. Alap forgalom: Gyorsított helyi közlekedés/interregionális közlekedés, óránként 1 menetvonal.
Negyedrendű vonalak	Egyéb, rendszeres személy- és/vagy áruforgalmat bonyolító vonalak.	Igények és területi adottságok szerinti fejlesztés. Rendszermegfelelőség ellenőrzése.
Agglomerációs területek	Bécs és a tartományi fővárosok illetve a TEN-T csomópontok.	Kapacitásvezérelt fejlesztés a városközpontból belülről kifelé a különböző piaci szegmensek lehető legnagyobb elkülönítése a csomópontokban (több vágány, átkötések, stb.)

3. táblázat: A vasúti hálózat szolgáltatás alapú műszaki paraméterei, koncepcionális menetvonalak



3. ábra: Az ÖBB vasúti hálózatának vonali hierarchiája [1]

2. 4. A megvalósítás tervezése

A Célhálózat 2040 törekszik arra, hogy olyan projektportfóliót hozzon létre, amely időbeli, tartalmi és pénzügyi szempontból 2040-re megvalósítható. Továbbá a tervezett intézkedésekkel

átfogó, lépésről lépésre történő tervezéstől. Ez a következő szempontok miatt alakult ki így:

- A Célhálózatban 2040 projektjeinek ütemezése csak a konkrét tervezés, a megvalósítási idők meghatározása és azok jóváhagyása után tehető meg. A Célhálózat 2040-nél alkalmazott rugalmas prioritizálással a helyzettől függően lehet reagálni a különböző projektfejlesztésekre és egyéb változó körülményekre.
- A Célhálózat 2040 egyes projektjeinek megvalósítását a jövőbeni Kerettervek határozzák meg, ezért a Célhálózat 2040 nem szándékozik előre megítélni a későbbi finanszírozás függőségét vagy kötelezettségét, mivel ez a politikai kerettől, a pénzügyi prioritásoktól és a makrogazdasági lehetőségektől függ.

- A Célhálózat 2040 projektjeinek megvalósítását a lehetséges humán és piaci erőforrások is erősen befolyásolják. Ez egyrészt érinti az ÖBB-Infrastruktur AG-t mint infrastruktúra-működtető erőforrásait és az építőipari szolgáltatások piaci kínálatát is. Emellett figyelembe kell venni a projektek tematikus és régiós egyensúlyát is.
- A projektek megvalósítása során figyelembe kell venni, hogy az beépüljön az ÖBB-Infrastruktur AG építési ütemtervezési folyamataiba és lehetőségeibe. Egy útirányon vagy egy csomóponton az intézkedések átfedése rendszerszintű nézőpontból csak meghatározott mértékig tervezhető előre. Ebben az összefüggésben a folyamatban lévő felújítások, karbantartási munkák és egyéb programok intézkedéseit együtt kell kezelni.

Az említett feltételek miatt a rangsorolás előre nem adható meg. A jövőbeni megvalósítási lehetőségektől függetlenül a célhálózati prioritások szemszögéből körvonalazódnak a későbbi rangsorolási vagy finanszírozási programok, például a Kerettervek iránymutatásai alapján:

- Előnyben kell részesíteni azokat a projekteket, amelyek logikai vagy rendszerszintű folytatását jelentik a Keretterveknek.
- Amennyiben egy intézkedés egy útirányon vagy egy csomópontban jelentős első lépést tehet a kínálat vagy a teljesítmény javítása felé, akkor ezt előnyben kell részesíteni az ezen a területen lévő többi projekttel szemben.
- A projektek kiválasztásakor ügyelni kell arra, hogy a 2040-es célhorizontig a lehető legnagyobb hatást ériék el.
- A projekteket úgy kell rangsorolni, hogy a kínálat és a hatás szempontjából figyelembe vegyék az egy útirányon vagy egy csomópontban a vég-vég vagy vég-kezdet kapcsolatokat.
- A megvalósítandó projektek kiválasztásakor adott esetben a felújítási igényeket és más folyamatban lévő programok intézkedéseit is figyelembe kell venni.
- Amennyiben az intézkedések hozzájárulnak a vasúti infrastruktúra jogilag vagy műszakilag kötelező érvényű kialakításához (pl. a TEN-T specifikáció), akkor ebből a szempontból kell beépíteni a prioritásokba.

- Egyedi projekteknél a helyi hatóságokkal vagy harmadik felekkel (pl. EU, szomszédos országok) való társfinanszírozás is befolyásolhatja a prioritást.

A Célhálózat 2040 fókuszában a legfontosabb fejlesztési és bővítési projektek állnak, de nem részei a meglévő hálózat fenntartását biztosító beruházások. Az ÖBB-Infrastruktur AG-n belül erre külön stratégiák léteznek, ez a hálózatfejlesztési terv és az eszközstratégia. A Célhálózat 2040-ben bemutatott kulcsfontosságú fejlesztési és bővítési projektek jelentős befolyást gyakorolnak az ÖBB-Infrastruktur AG ezen alárendelt stratégiai dokumentumaira és folyamataira, amelyeket ennek megfelelően össze kell azzal hangolni.

2. 5. Finanszírozás

Európa-szerre a vasúti ágazatban a szükséges nagyberuházások általában nem finanszírozhatók csak a pályahasználati díjakból. A vasúti infrastruktúra üzemeltetőinek ezért állami támogatásra van szükségük ezekhez. A Célhálózat 2040 lépésről lépésre valósulhat meg hatéves, évente aktualizált és kormányzati jóváhagyású beruházási programokon, a Keretterveken keresztül. A Kerettervek tartalmazzák a fejlesztési és bővítési projekteket, valamint a felújításokra és karbantartásokra szánt pénzügyi forrásokat is. Az infrastrukturális beruházások megvalósításához és a hálózat üzemeltetéséhez szükséges támogatásokra a szövetségi kormány és az ÖBB-Infrastruktur AG között finanszírozási megállapodás jön létre a szövetségi vasúti törvény alapján.

Helyi hatóságok társfinanszírozása

A szövetségi vasúti törvény előírja azt is, hogy a helyi hatóságok társfinanszírozást biztosítsanak a regionális érdekű intézkedésekhez. A Célhálózat 2040 egyes moduljainak helyi és regionális közlekedési vonatkozásairól megállapodásokat kell kötni az adott szövetségi állammal. A stabilitás biztosítása és a projektek hosszú távú megvalósítása érdekében a múltban sikeresnek bizonyult az úgynevezett állami csomagok megkötése az önkormányzatokkal.

3. A SVÁJCI VASÚTI STRATÉGIAI ALAPELEMEK

Az elmúlt évtizedekben készült, széles körű jóváhagyást nyert és megvalósítás útjára lépett svájci vasúti stratégiák alapvető jellemzője az egymásra épülés, szakterületi alábontás és a részterületek összehangolt kezelése, továbbá a megfelelő finanszírozás kialakítása és hosszú távú biztosítása, az innovációk és meglévő eszközök költséghatékonyság érdekében történő felhasználása, a minél nagyobb piaci bevételek elérése érdekében az ügyfelek számára vonzó vasúti szolgáltatások kialakítása, az elvégzett feladatok folyamatos nyomon követése, a folyamatokról, elért eredményekről a nyilvánosság tájékoztatása (4. ábra).



4. ábra: Svájci vasúti stratégiai alapelemek (saját szerkesztés)

3. 1. Egymásra épülő stratégiák, fejlesztési programok

A közúti közlekedés nagyarányú növekedésének megállítására, a vasút piaci részarányának visszaszerzésére a korábbi ütemes menetrend-tervezési tapasztalatok alapján készült el 1985-re a Bahn 2000 (Vasút 2000) stratégia és fejlesztés program [4]. A program a meglévő kapcsolatok felgyorsítására és sűrítésére, valamint a gördülőállomány korszerűsítésére több mint 130 projektet valósított meg előre elkészített ütemterv alapján, lépcsőzetesen, egymással összehangolva. A stratégia végrehajtása során folyamatos gördülőtervezést és ellenőrzést biztosító finanszírozási és a projektkontrolling rendszert alakítottak ki, amelynek segítségével az első fázis 2004-es befejezéséig ténylegesen 5,9 milliárd svájci frankot használtak fel a beruházásokra úgy, hogy a kitűzött szolgáltatási célok is teljesültek [5].

A Bahn 2000-rel párhuzamosan megkezdődött a NEAT (Die Neue Eisenbahn-Alpentransversale – Új alpesi közlekedési tengelyek) vasúti áruszállítási program tervezése is, amely az Alpokon való átjutást biztosító vasúti kapacitások növelését, az ún. bázislagutak és a hozzájuk kapcsolódó vasútvonalak kiépítésével, így az áruszállító vonatok számára a menetrendben óránként előre betervezett időablakok képzésével tette lehetővé. A NEAT 22,8 milliárd svájci frank költséggel (21,1 milliárd bázislagutak, 1,7 milliárd kapcsolódó vonalak) a Gotthard, Lötschberg, Ceneri bázislagutak építését és a kapcsolódó vasútvonalak fejlesztését hajtotta végre [6].

2005-ben elfogadott HGV (Netz für den Hochgeschwindigkeitsverkehr – Nagysebességű hálózati elemek) programban a francia és a német nagysebességű vasúti hálózathoz való csatlakozással, a szomszédos országok nagyvárosainak (Párizs, München, Stuttgart) gyorsabb elérését tervezték 1,1 milliárd svájci frankos költséggel [6].

ZEB (Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur – A vasúti infrastruktúra jövőbeli fejlesztése) a Bahn 2000-et követő vasútfejlesztési program (több helyen a Bahn 2000 második fázisaként hivatkoznak rá, mert ebbe kerültek bele azok a projektek, amelyek finanszírozási okokból a Bahn 2000-ből kimaradtak). A 2025-ig szóló, 5,4 milliárd svájci frankos program súlypontjában az új bázislagutakhoz kapcsolódó vonalak fejlesztése áll, kiemelten kezelve a vonatok csökkentett követési idejét biztosító forgalomirányítási rendszereket [6].

A Bahn 2030 (Vasút 2030) stratégia a Svájci Szövetségi Közlekedési Hivatal (Bundesamt für Verkehr, BAV) és a Svájci Szövetségi Vasutak (SBB) azon stratégiai terveit foglalja össze, amelyek a svájci vasúti rendszer 2030-ig és részben az utáni továbbfejlesztésére irányulnak. A Bahn 2030 a Bahn 2000 és a ZEB utódprojektjeként készült el. A Bahn 2030 keretében kezdetben két változatot dolgoztak ki 12 milliárd svájci frankos, illetve 21 milliárd svájci frankos költségkerettel. Az új stratégiában lévő projektek tervezése és megvalósítása több bővítési lépésben (Ausbauschnitt), gördülő tervezés alkalmazásával történik [7].

A 6,8 milliárd svájci frankos Ausbauschritt 2025 célja a tervezett vasúti szolgáltatásbővítések megnövelt kapacitásigénye alapján egyes viszonylatokon a negyed-, illetve félórás ütemes menetrend bevezetéséhez szükséges infrastrukturális követelmények megteremtése, hosszabb és emeletes vonatok peronigényének kielégítése. Az Ausbauschritt 2025 program a ZEB programmal párhuzamosan valósul meg [8].

A következő megvalósítási lépés az Ausbauschritt 2035 végrehajtására a Svájci Parlament mintegy 16 milliárd svájci frank értékű beruházást hagyott jóvá. Ezáltal a kínálat mind a távolsági, mind az S-Bahn közlekedésben tovább bővíthető és a növekvő kereslethez igazítható. Bővítések a méteres nyomtávú vasutakra és a vasúti áruszállítási szolgáltatásokra is vonatkoznak. Több vasútállomást is korszerűsítene és új megállóhelyeket építenek. A pénz egy részét mozgáskorlátozottak számára is használható peronokra és parkolóhelyekre fordítják [9].

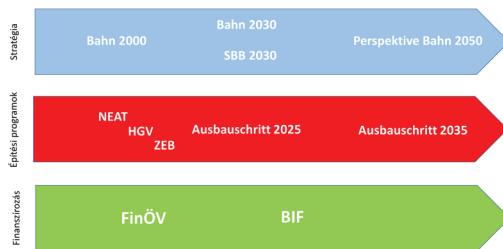
A SBB 2030-ig szóló, 2021. novemberi keltezésű stratégiája, az SBB 2030 [10], négy célirányt kitűzve alapozza meg a vállalatcsoport jövőjét:

- ügyfélközpontúság a rugalmasság növelésével, a mobilitás különböző formáinak/eszközeinek integrálásával,
- piaci részesedés növelése „okos” fejlődéssel,
- gazdaságos erőforrásfelhasználás, hatékony vasúti rendszerek bevezetése a jobb közszolgáltatások érdekében,
- „Emberek az emberekért.” Társadalmilag, gazdaságilag és ökológiailag fenntartható vasút létrehozása.

A célirányok és a 13 kitűzött cél megvalósítása az Ausbauschritt 2025 és az Ausbauschritt 2035 keretében valósul meg.

A következő évtizedek vasúti fejlesztéseinek megalapozására készítette a BAV a Perspektive Bahn 2050 (Vasúti jövőkép 2050) stratégiát. A stratégia figyelembe veszi a 2050-ig szóló közlekedési fejlődési lehetőségeket, az ágazati terveket, valamint Svájc éghajlat- és energiasztratégiáit is. A stratégia szerint a közlekedés iránti kereslet hosszabb távon is növekedni fog, ezért a 2050-ig szóló hosszú távú klímasztratégia részeként a motorizált egyéni közlekedés széles körű villamosítására és a közúti közlekedésről a vasútra való áttérésre törekszik. A Perspektive

Bahn 2050 fő célja a vasút erősségeinek hatékony kihasználása annak érdekében, hogy hozzájáruljon a 2050-ig szóló hosszú távú éghajlatstratégiához. További célja a vasútfejlesztés és a területfejlesztés összehangolása, a vasút arányának növelése mind a belföldi, mind a határokon átnyúló személy- és áruszállításban. A meglévő hálózat intenzív használata elsőbbséget élvez a további infrastruktúra-bővítésekkel szemben. Ennek előfeltétele a technológiai lehetőségek következetes kihasználása [11].



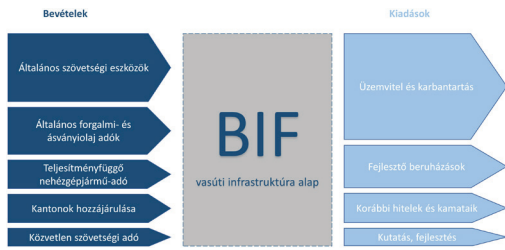
5. ábra: A svájci stratégiák, fejlesztési programok egymásra épülése (saját szerkesztés)

3. 2. Stabil finanszírozási háttér

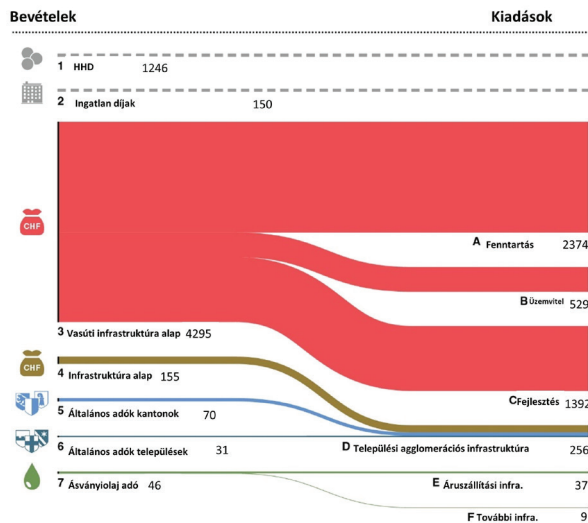
A tervekben szereplő fejlesztések megvalósítása és működtetése nem képzelhető el egy állandó finanszírozási forrás megteremtése nélkül.

Az 1998-ban jogszabályban elfogadott FinÖV-alap segítségével biztosították a Bahn 2000, a NEAT, HGV programok 30,5 milliárd svájci frankos (1995) finanszírozását úgy, hogy ahhoz a forrásokat meghatározott állami bevételekből: a teljesítményfüggő nehézgépjármű-adóból, az áfából, az ásványolajadóból, valamint szövetségi hitelekből teremtették elő [12].

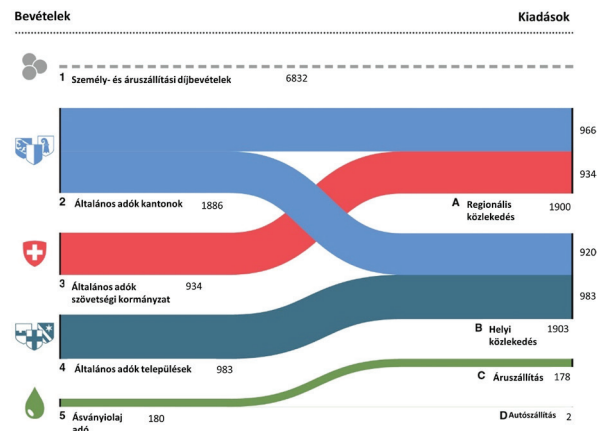
2016. január 1-jével a vasúti infrastruktúra finanszírozása egyszerűbbé és áttekinthetőbbé vált, mert a karbantartási, üzemeltetési és bővítési költségeket immár egyetlen alapból, az új Bahninfrasturcturafondsól (BIF, vasúti infrastruktúra alap) [13] finanszírozzák. A BIF az SBB és a magánvasutak számára is elérhető. A BIF bevételi és kiadási oldalát mutatja be a 6. ábra. A 2017-es évre vonatkozó vasúti infrastruktúra és szolgáltatás finanszírozási pénzáramokat mutatja be a 7. és a 8. ábra.



6. ábra: A vasúti infrastruktúra alap bevételei és kiadásai [13]



7. ábra: A vasúti infrastruktúra finanszírozása, bevételi és kiadási oldal (millió CHF, 2017.) [14]



8. ábra: A vasúti szolgáltatások finanszírozása, bevételi és kiadási oldal (millió CHF, 2017.) [14]

Ez a fajta forrásmeghatározás egyfajta szabályozó szerepet is betölt a közlekedési rendszerben, mert a közúti közlekedés terheit növelve támogatja a vasúti közlekedés működését és fejlesztését.

3. 3. Rendszer- és hálózati szintű gondolkodás

A vasúti rendszer hosszú távon gazdaságos fejlődésének megteremtéséhez alapos ismeretek szükségesek annak belső működéséről.

A vasúti rendszeren belüli, az egyes részrendszerek közötti kapcsolatrendszer térképezte fel az SBB „Ensemble” (együttes, zenekar) projektje [15, 16]. A vasúti rendszer modelljének részrendszereit a következőkben határozták meg:

- a vasúti személyszállítási és
- áru fuvarozási szolgáltatások,
- a vasúti infrastruktúra (a vasúti pályahálózat és tartozékai, felsővezeték, jelzőberendezések stb.),
- a vasúti (állomási és rakodóhelyi, stb.) ingatlanok,
- a vasúti gördülőállomány (vontató és vontatott járművek, motorvonatok).

A projekt során a működési hatékonyság növelését célzó folyamatfelvevél a vasúti értékláncon belül öt, egymástól jól elkülöníthető, koordinációt megvalósító folyamatcsoportot azonosított, amelyek a következők:

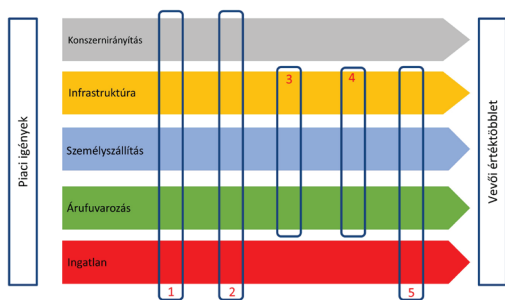
1. hosszú távú szolgáltatás- és erőforrás tervezés,
2. középtávú üzleti tervezés,
3. éves menetrendtervezés,
4. éven belüli menetrendtervezés,
5. forgalomlebonyolítás, az utasok, fuvaroztatók és a vasút vállalatok tájékoztatása.

A projekt alapján a vasúti rendszer tekinthető egyfajta összetett hálózati rendszernek is, amelyben a következő fő hálózatképző elemek működnek:

- menetrend – viszonylathálózat (pl. a vonalak összehangolt ütemes menetrendje),

- pályainfrastruktúra – vágányhálózat,
- villamosenergia szolgáltatás – vasúti felsővezeteki hálózat,
- információtovábbítás – távközlési hálózat,
- munkavállalók – szociális hálózat.

A fenti rendszeremlékek és hálózati rendszerek összetettségének és egymáshoz való kapcsolatának feltárása és megértése szükséges a stratégiák és fejlesztési beavatkozások megtervezéséhez is.



9. ábra: A vasúti értéklánc folyamatai [15]

3. 4. Innovációk, alkalmazásmenedzsment, szabványosítás

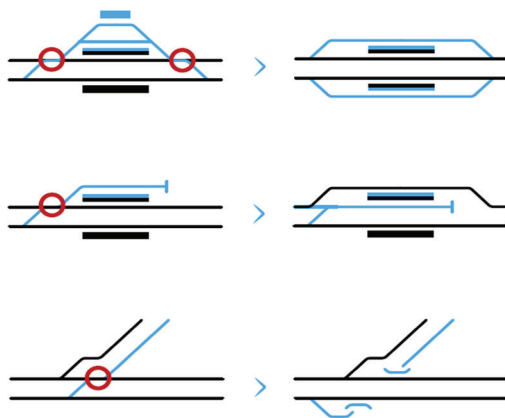
A „vasúti tudás”, a know-how ismerete, ezen ismeretek folyamatos bővítése elengedhetetlen a hosszútávra szóló tervezés során. A tapasztalatokból szerzett ismereteket felhasználják, továbbadják, közösen fejlesztik és új know-how-val egészítik ki [16].

A Bahn 2000 program megvalósítása során a sűrű ütemes vonatközlekedéshez elvárás volt a 2 perces vonatkövetési idő biztosítása a forgalmas szakaszokon, az ezt megvalósító beruházások költségének a csökkentése érdekében felhasználták a legújabb vasútechnikai újításokat, így a forgalomirányítási rendszerek automatizálása (ETCS) és a járműoldali fejlesztések kerültek előtérbe a „betont igénylő” megoldások helyett [4].

A Perspektive Bahn 2050-ben is fontos elem a jövőben alkalmazható technológiák, a technológiai fejlesztési potenciál, az innovációk azonosítása és a bennük rejlő lehetőségek értékelése. E célból a teljes technológiai skálát figyelembe veszik, kezdve a meglévő technológiáktól, amelyeket csak alkalmazni kell, egészen a forradalmian új rendszerekig, amelyek jelenleg még kutatás alatt állnak, pl.:

- automatikus, vezető nélküli vonatüzem,
- innovatív infrastruktúra és járműhasználat,
- átjárhatóság,
- új anyagok és energetikai megoldások,
- új szolgáltatástervezés és –lebonyolítás-irányítás,
- dinamikus menetrend,
- valós idejű információk biztosítása és felhasználása,
- automatizált összekapcsolás, automatizált fékpróba [17].

Vasútszakmai fórumokon [18] tárgyalják a fejlesztések háttérét biztosító elvi alapokat, pl. a nagyobb állomási kapacitás biztosításához, a forgalmi konfliktusok pályainfrastruktúra oldali kezelésre mutatnak példát a 10. ábrán szereplő, szabványosításra kerülő állomáskialakítások [19].



10. ábra: Kapacitásnövelő vágányelrendezések

3. 5. Piaci szemlélet

A svájci közlekedési stratégiák alapvető célkitűzése a fenntartható mobilitás megteremtése a vasút piaci részarányának folyamatos növelésével, amelynek kulcsa a szolgáltatások versenyképességének, így a megfelelő minőségi színvonalnak és gazdasági életképességnek a biztosítása. Így a fejlesztések tervezése során alapos piaci vizsgálatot kell lefolytatni, hogy a fejlesztés olyan vonalakra, területekre irányuljon, ahol a vasút hatékony és versenyképes, továbbá megfelelő mennyiségű keresletet tud kielégíteni. A fenntarthatósági cél elérése során azonban törekedni kell arra is, hogy ne jelentkezzenek nem kívánt mellékhatások, pl. indukált forgalom.

Személyszállítási szolgáltatások fejlesztése

A Perspektive Bahn 2050 [11] szerint a vasút legnagyobb növekedési potenciálja az agglomerációs magokban és az agglomerációk övezetekben, valamint a regionális és vidéki központok és az agglomerációk közötti kapcsolatokban rejlik. A távolsági személyszállítást ott kell fejleszteni, ahol a vasúti utazási idő még nem versenyképes a közúti közlekedéssel. A nemzetközi személyszállításban olyan gyakoriságot és utazásiidő-csökkenést kell elérni, amely növeli a vasút vonzerejét a légi közlekedéssel szemben.

Áruszállítási szolgáltatások fejlesztése

A Perspektive Bahn 2050-ban meghatározottak alapján a belföldi áruszállításban a kelet-nyugati és észak-déli folyosókon a vasúthoz való hozzáférést elsősorban további intermodális átrakók révén kell javítani. Ezek egyes kocsis és kombinált szállítást is ki fognak szolgálni. A további vasúti városi logisztikai rendszerek a nagyobb és közepes méretű agglomerációk jobb elérését is lehetővé teszik, ezen elemek megépítéséhez szükséges városi területek és megközelítési lehetőségek meghatározása azonban nehézségekbe ütközik a sűrű beépítésű területeken. A belföldi áruszállítási útvonalakat biztonságossá és rugalmassá kell tenni. Az alpesi áruszállításban meglévő kapacitások elegendők a forgalom áterelési cél eléréséhez. A belföldi szállítással való kapcsolat javul a további intermodális átrakó platformoknak köszönhetően.

3. 6. Megvalósulás nyomon követése

A stratégia programok folyamatos nyomon követésével biztosítható azok egymásra épülő tervezése, valamint ez a nyilvánosság meggyőzésének is hatékony eszköze Svájcban. [8, 9] Az olyan nagymértékű változásokat okozó helyzetek, mint a koronavírus miatti lezárások vagy a vasúti rendszeremlék árának nagyarányú növekedése csak úgy kezelhetők megfelelően, ha a hosszú távra kitűzött célok eléréséhez rendelkezésre áll az a háttér rendszer, mely a megfelelő eszközökkel menet közbeni korrekciókat képes hatékonyan eszközölni a programokban.

4. KONKLÚZIÓ

A vasúti stratégiakészítés egy összetett rendszerre vonatkozó, bonyolult folyamat. A stratégiák sikeréhez számtalan tényező együttes megléte szükséges. A stratégiakészítés és annak megvalósítása nem egy egyszeri alkalom, hanem folyamatos figyelmet, állandó és mély ismeretekre alapozott felkészültséget kívánó tevékenységgé vált.

Mind az osztrák, mind a svájci vasúti stratégiák alapvető jellemzője a több évtizedet átfogó egymásra épülő tervezés és megvalósítás. A német nyelvű közép-európai országok vasúti szakemberei ugyanazon eljárás rendek szerint, közös szakmai alapokat használva készítik stratégiáikat. A hálózati kapcsolatok miatt mindkét országnak szükséges a stratégiák készítése és megvalósítása során is egyeztetniük. Lényeges különbségként jelentkezik a legutolsó vasúti stratégiák között, hogy az osztrák ÖBB társasági Célhálózat 2040 stratégiája az előrejelzések alapján várható igényekből levezetve fejleszti a vasúti hálózatot. Ezt a gyakorlatot a svájci állami Vasúti jövőkép 2050 viszont annyival haladja meg, hogy a környezeti fenntarthatóság alapján elvárt vasúti piaci részarányt is meghatároz célként. A svájci stratégiában is elismerik, hogy a környezeti fenntarthatóság alapú stratégiai célkitűzések ambiciózus elvárásokat támasztanak a vasúti rendszerrel szemben, azonban a klímaváltozás kezeléséhez szükséges ezen lépéseket megtenni.

Magyarországon ma hiányzik egy olyan állandó intézmény, szervezet, amely az osztrák vagy a svájci példákban bemutatott feladatokat, elemeket megfelelő minőségben tudja tervezni és végrehajtani, az állami tulajdonú, integrált vasúti vállalkozásokat stratégiájuk készítési és végrehajtási feladataiban támogatni. A stratégiával való folyamatos foglalkozás nem csak társasági, hanem az országos közlekedési stratégia készítésekor is fontos segítséget jelentene, ami a mai projektszerű működés megváltoztatását igényli ezen a területen is a jövőben.

A múlt évben elindult a „Nemzeti Közlekedési Infrastruktúra-fejlesztési Stratégia (NKS) felülvizsgálata” projekt. A projekt első ütemében elkészült az NKS felülvizsgálata. A munka további tervei között szerepel egy olyan intézményi háttér megteremtése is, amely folyamatos támogatást nyújt majd pl. az országos közlekedési modell kialakításával és fejlesztésével mind

az állami, mind a gazdasági oldali szereplői felé. A készülő NKS-ben előreláthatólag nem projekteket, hanem célkitűzéseket és eszközöket fognak meghatározni. A megvalósítás az alsóbb szintű alágazati, társasági stratégiák és fejlesztési tervek feladata lesz.

Fontos, hogy a svájci finanszírozási háttérhez hasonló pénzügyi rendszerek is támogassák a vasúti stratégiák megvalósítását Magyarországon.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:ad67d636-a043-4314-862a-76af9fc5404/Zielnetz2040_Fachentwurf.pdf (2025. 03. 28.)
- [2] Rixer, A., Turi, J. I. (2016) Stratégiatervezési alapelvek és alapelemek a vasúti infrastruktúra-fejlesztés tervezésében az Osztrák Vasutak Infrastruktúra Vállalata példáján, Közlekedéstudományi szemle, 66(4), pp. 4-21.
- [3] <https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/ausbauplan/leitstrategie.html> (2025. 03. 28.)
- [4] Kräuchi, C., Stöckli, U. (2004) Mehr Zug für die Schweiz: Die Bahn-2000-Story, AS Verlag. ISBN: 978-3909111060
- [5] <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/publikationen/medienmitteilungen.msg-id-12397.html> (2025. 03. 24.) <https://www.bav.admin.ch/de/nsb?id=12397> (2025. 12. 02.)
- [6] Neue Wege durch Europa: Schweizer Verkehrspolitik von A bis Z, Bundesamt für Verkehr
- [7] https://de.wikipedia.org/wiki/Strategisches_Entwicklungsprogramm_Bahnhofinfrastruktur (2025. 03. 24.)
- [8] <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/verkehrsmittel/eisenbahn/bahnhofinfrastruktur/ausbauprogramme/step-ausbauschritt-2025.html> (2025. 03. 24.) <https://www.bav.admin.ch/de/ausbauschritt-2025> (2025. 12. 02.)
- [9] <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/verkehrsmittel/eisenbahn/bahnhofinfrastruktur/ausbauprogramme/ausbauschritt-2035.html> (2025. 03. 24.) <https://www.bav.admin.ch/de/ausbauschritt-2035> (2025. 12. 02.)
- [10] <https://company.sbb.ch/de/ueber-die-sbb/profil/strategie.html> (2025. 03. 24.)
- [11] <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/verkehrsmittel/eisenbahn/bahnhofinfrastruktur/ausbauprogramme/perspektive-bahn-2050.html> (2025. 03. 24.) <https://www.bav.admin.ch/de/perspektive-bahn-2050#Studien> (2025. 12. 02.)
- [12] <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/glossar/finov-fonds.html> (2025. 03. 24.) <https://de.wikipedia.org/wiki/Fin%C3%B6V> (2025. 12. 02.)
- [13] <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/verkehrsmittel/eisenbahn/bahnhofinfrastruktur/bahnhofinfrastrukturfonds.html> (2025. 03. 23.);

<https://www.bav.admin.ch/de/bahnhofinfrastrukturfonds-bif> (2025. 12. 01.)

- [14] <https://www.voev.ch/> (2025. 03. 23.)
- [15] Stephan Pfuhl, Dr. Martin Schenk, Heidrun Buttler, Daria Martinoni, Michael Schürch, Stefan Spiegel, Bruno Stehrenberger: Die nächste Optimierungsstufe im Schweizer Bahnsystem – Eisenbahn Revue International 10/2010
- [16] Meyer, A., Tyssen, C. Ein Konzert für unsere Kunden – Komplexitätsmanagement in der SBB AG – Unternehmerisches Management Herausforderungen und Perspektiven ISBN 978-3-258-07770-3
- [17] Nold, M., Büchel, B., Leutwiler, F., Lotz, S., Marra, A. D. Corman, F. (2022) Studie: Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050 Im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr (BAV), IVT, ETH Zurich. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000554905>
- [18] <https://forumoevplanung.event.sbb.ch/de/> (2025. 03. 26.)
- [19] Die Rolle der Bahn in der Mobilität der Zukunft: Überlegungen der SBB – 20.06.2024 Forum ÖV-Planung, Annette Antz, SBB



Basic planning elements of the new Austrian and Swiss railway development strategies

Keywords: strategic planning; best practices; market competition; railway system; scenario management; integrated timetables

The Swiss and Austrian railway services set an example to follow in terms of their quality and operational background for the other European countries. The strategic planning and implementation practices of the specific countries regarding railway developments greatly contribute to the establishment of the outstanding service quality. Railway transport in Austria and Switzerland is also struggling with the increasing popularity and performance of road transport. The aim of their recently completed strategies, as a main component of climate protection measures, is to reduce the market share of road transport by significantly increasing the quality of railway services. The basic elements of the strategies that establish the competitive advantage of railways in the market are summarized in this professional article.

Útépítési bitumenek dinamikai viszkozitása a lágyuláspont alternatívájaként

Rosta Szabolcs¹ – dr. Gáspár László^{2,*}

¹doktorandusz, Széchenyi István Egyetem, 9026 Győr Egyetem tér 1.

²professzor emeritus, Széchenyi István Egyetem, 9026 Győr Egyetem tér 1.

e-mail: rosta.szabolcs@dunaaszfalt.hu, gaspar.laszlo@kozut.hu

Absztrakt

A kutatás két útépítési bitumentípusnak háromféle módszerrel mért (Brookfield és kapilláris dinamikai, valamint DSR komplex) viszkozitása közül a lágyuláspont helyettesítésére legmegfelelőbbet kereste. A hőmérséklet kiválasztása az EN 12 591-2009, illetve AS 2008-2013 útépítési bitumenekre vonatkozó előírásokban jelölt dinamikai viszkozitás és komplex viszkozitás mérésekhez ajánlott 60 °C-os értékek voltak. A nyírési sebesség változása a komplex viszkozitás értékeit jelentősen befolyásolja. A viszkozitásokból átszámított és a ténylegesen mért lágyuláspont között 1 rad/sec frekvenciánál jobb egyezést találtak, mint 10 rad/sec frekvencia esetében.

Kulcsszavak: útépítési bitumen, bitumenosztályozás, viszkozitás, lágyuláspont, DSR, Brookfield, Kapilláris

DOI:<https://doi.org/10.24228/KTSZ.2025.6.3>

1. BEVEZETÉS

Az útépítési bitumenekre vonatkozó, érvényben levő európai keretszabvány (EN 12591) a kötőanyagok melegviselkedési tulajdonságaként – a kontinensen elterjedt empirikus, gyűrűs-golyós lágyuláspont mellett – másik tulajdonságot is meghatároz, a 60 °C-on mért, dinamikai viszkozitást. Bár ez fizikai paraméterként, fundamentális tulajdonságnak számít, ez a kategória a nemzeti szabályozásokba nem került be. A vonatkozó magyar előírás (e-UT 05.01.26), illetve a német szabályozások (FGSV 794 TL Bitumen-Stb 07/13) sem támasztanak követelményt a paraméterrel szemben. Mellőzésének fő indoka, hogy a keretszabvány kizárólag a vákuumkapilláris módszerrel történő dinamikai viszkozitás (EN 12 596) alkalmazását teszi lehetővé, ami – egyéb, elterjedt módszerekhez viszonyítva – nagyon körülményes módszer.

Sokat fejlődtek a forgóorsós készülékek (EN 13 302), amelyekkel, megfelelő orsókat használva, nagy megbízhatósággal lehet 60 °C-on dinamikai viszkozitást mérni. DSR készülékekkel történő komplex viszkozitás meghatározásával is ugyanazon jellemzőt sokkal gyorsabban meg lehet határozni.

2. A LÁGYULÁSPONT ÉS A VISZKÓZITÁS KAPCSOLATA

A bitumen lágyuláspontja és viszkozitása elválaszthatatlan paraméterek. A két paraméter összefüggésének szemléltetésére 1973-ban Heukelom elkészítette a BTDC-t (Bitumen Test Data Chart). Ez a diagram nemzedékeknek segítette a bitumen tulajdonságainak hőmérséklethez fűződő kapcsolatát megérteni. Amíg a Fraass-töréspontot, a penetrációt, a

lágúlaspontot és a kapilláris módszerrel mért dinamikai viszkozitást vizsgálják, ez a diagram értékes referenciaeszközként szolgál.

1955-ben Williams, Landel és Ferry egyenlete polimerekhez leírta a hőmérséklet és a reológiai viselkedés közötti kapcsolatot:

$$\log(aT) = -C1(T - Ts)/(C2 + T - Ts)$$

ahol

- aT: relaxációs idő, adott hőmérsékleten,
- Ts: referenciahőmérséklet,
- T: változó hőmérséklet.

Ezt az egyenletet Heukelom bitumenekhez igazította:

$$\log(\eta/\eta_{ref}) = -C1(T - T_{ref})/(C2 + T - T_{ref})$$

ahol:

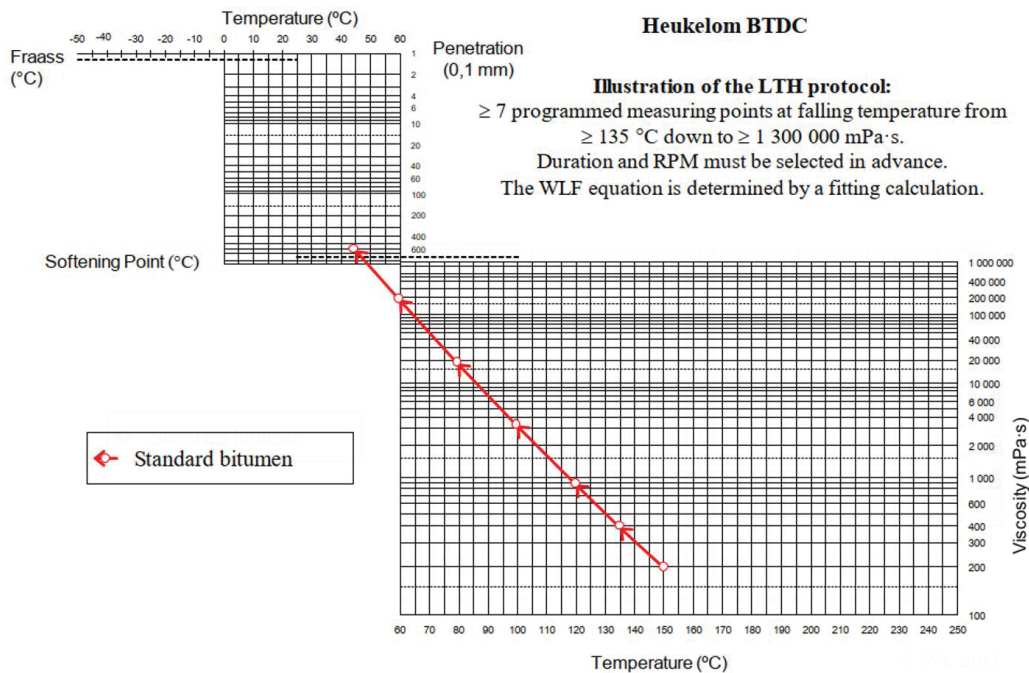
- η_{ref} : referencia viszkozitás, általában 1,3 kPa·s (lágúlasponti viszkozitás),
- η : számolt viszkozitás,
- T_{ref} : referenciahőmérséklet, általában a lágúlaspont,
- T: hőmérséklet (változó).

A korábbi egyenletben szereplő C1 és C2 az adott adathalmazon illesztési számítással meghatározott állandók. A viszkozitás és a hőmérséklet közötti összefüggést ez általában nagyobb pontossággal írja le, mint az egyszeres vagy kettős logaritmusok, amelyeket gyakran használnak kényelmi okokból. Heukelom az útépítési bitumenekre C1=8,5 és C2=110 értéket határozott meg.

3. A HEUKELOM-EGYENLET MEGBÍZHATÓSÁGA

A svéd Lundi Műszaki Egyetemen eljárást fejlesztettek ki, amellyel a Heukelom-egyenlet megbízhatóságát rotációs Brookfield-féle viszkoziméterrel való mérések alapján ellenőrizni tudták.

Először a BTDC-diagramot pontosan digitalizálták, majd az új készüléket úgy programozták be, hogy a mért viszkozitásokat automatikusan mentesse (Parhamifar et al., 2016). Az 1. ábrán – az előző fejezetben bemutatottak szerint – desztillációs bitumen viszkozitási görbéje látható.



© SVC 2015

1. ábra: Útépítési bitumen viszkozitási görbéje

A mintát hét vagy több, előre beállított hőmérsékleten tesztelik, kezdve 135 °C-ról vagy még magasabb hőmérsékletéről, és folytatva egészen a lágyuláspontig (lásd az 1. ábrát). A hőmérséklet és a viszkozitás közötti összefüggést a Heukelom-egyenlet segítségével számítják ki, amely lehetővé teszi, hogy a viszkozitás ismeretében bármely hőmérsékleten, különösen a lágyulásponton, meghatározzák azt (itt a viszkozitás 1.300 Pa·s).

Útépítési bitumeneknél a Heukelom-diagramról leolvasott és a mért érték közötti különbség átlagos variációs együtthatója 1%-on belüli volt (Nilsgart et al., 2014).

A Heukelom-egyenlet két állandójára kissé alacsonyabb értékek adódtak, A kutatás B 50/70 és B 330/430 penetrációjú bitumenekre, illetve ezek 1/3-2/3, illetve 2/3-1/3 arányú elegyeire terjedt ki. A C1 paraméter a 7,8-8,0 tartományban, a C2 pedig az 100-105 tartományban mozgott (Erlandsson, 2012).

4. LÁGYULÁSPONT

A lágyuláspont (LP) az MSZ EN 1427:2016 szabvány szerint vizsgálható. Két gyűrűbe bitument, majd arra szabványos tömegű golyót tesznek. A mérőközeget (jellemzően vizet) melegítve, amikor a golyó a bitumennel a minta alatti lemezt eléri, azt a hőmérsékletet tekintik a bitumen lágyuláspontjának.

A gyűrűs-golyós lágyuláspont (EP RuK) megközelítőleg az aszfaltburkolatok felső használati hőmérsékleti határát jelöli:

- Heukelom (1973) szerint a LP azt a hőmérsékletet adja meg, amelyen a bitumen folyékonnyá válása megkezdődik.
- Neumann (1995) szerint a LP-on, a bitumen pszeudoplasztikus (= szerkezeti viszkozus) viselkedésből newtoni áramlási viselkedésbe megy át.
- Guericke (2010) szerint a LP a szilárd halmazállapotból a folyékony állapotba történő átmenetet jelenti.
- Az MSZ EN 12591:2009 szabvány szerint a LP a magasabb használati hőmérsékleteknél fennálló konzisztenciát írja le.

Minél magasabb az LP értéke, annál ellenállóbb melegben az aszfaltburkolat a maradó deformációval szemben. Ez a konvencionális jellemző azonban nem teszi lehetővé a bitumen fizikai állapotjellemzőinek közvetlen megállapítását, hanem egy bizonyos jellemző állapothoz tartozó hőmérsékletet határoz meg.

A bitumen állapotát a lágyulásponti hőmérsékleten nem határozták meg pontosan, gyakran viszkozitást leíró jellemzőnek tekintik, ami reológiai szempontból érthető, mivel a próbatest állandó terhelés alatti deformációja a viszkozitásra utaló jel lehet (Mezger, 2014).

A következő teljesítmény elvű, reológiai vizsgálatokat hajtottuk végre:

- dinamikai viszkozitás, vákuumkapilláris módszerrel,
- dinamikai viszkozitás, forgó orsós készülékkel, rotációs módban,
- komplex viszkozitás, dinamikai nyíróreométerrel, oszcillációs módban.

5. DINAMIKAI VISZKOZITÁS MÉRÉSE VÁKUUMKAPILLÁRIS MÓDSZERREL

A bitumenre szakosodott, például, bitumengyártókhoz kapcsolódó laboratóriumokban a személyzet mindenféle vizsgálatot, mintaelőkészítést és oldószerekkel való bánásmódot ismer. A maradványok könnyen ártalmatlaníthatók, mivel közel vannak a finomítóhoz. Egészen más a helyzet a kivitelező vagy az aszfaltgyártó közúti laboratóriumaiban. Az aszfaltkeverékek és a burkolatok elemzése mellett, a bitumenen kívül számos összetevő minőségét is ellenőrzik. A bitumen viszkozitásának mérése ezért a legtöbb laboratóriumi dolgozó számára ritkán fordul elő. A berendezések állapota és a tudásszint nem lehet mindig a csúcson. A kapilláris vizsgálatok időigényesek, és a berendezéseket gyakran kell használni a pontos eredményekhez. A minta előkészítése és az oldószerekkel történő utólagos tisztítás nemcsak munkaigényes, hanem környezetvédelmi és egészségügyi szempontból is problémát okoz. Az üvegkapillárisok törékenyek és drágák. Nem meglepő, hogy ez az MSZ EN 12596 szerinti vizsgálat nem népszerű a közúti laboratóriumi személyzet körében, ami a fontos méréseknek rossz előfeltétele.

6. A KOMPLEX VISZKOZITÁS MEGHATÁROZÁSA DSR-REL

A bitumenes kötőanyagok reológiai tulajdonságainak mérésére alkalmas dinamikus, nyíró-reométeres (DSR) vizsgálat leírását az MSZ EN 14770 szabvány tartalmazza. A mérés jól reprodukálja a pályaszerkezetek jellemző igénybevételét, a dinamikai terhelés alatti, ismétlődő, előjelváltó nyírófeszültséget. A vizsgálati módszer során ismert oszcillációs nyírófeszültséget alkalmazva, mérik a kötőanyagminta előírt körülmények (hőmérséklet, geometria) közötti alakváltozását (Desmazes et al., 2000).

A szabványban levő két fontos paraméter a komplex modulus és a fázisszög. Az oszcillációs mérésekből viszkozitási jellemzők is levezethetők, amelyek valós és képzetes komponensből állnak. Ezek kombinációjából számítható ki a komplex viszkozitás (η^*). A komplex nyíró modulus (G^*) és a komplex viszkozitás (η^*) az oszcillációs körfrekvencia (ω) segítségével kapcsolódik egymáshoz. A komplex nyíró modulusból a komplex viszkozitás a következő módon számítható ki:

$$\frac{|G^*|}{\omega} = \frac{1}{\omega} * \sqrt{G'^2 + G''^2} = |\eta^*|$$

$$|\eta^*(\omega)| = \eta(\gamma) \quad , ahol \quad \omega = \dot{\gamma}$$

ahol:

- $|G^*|$ - komplex nyírási modulus abszolút értéke [Pa]

- G' - komplex nyírási modulus rugalmas részét jelölő, valós része; tároló modulusnak is nevezik [Pa]

- G'' - komplex nyírási modulus képzetes része, amely az anyag viszkózus részét jelöli, veszteségi modulusnak is nevezik [Pa]

- $|\eta^*|$ - komplex viszkozitás abszolút értéke [Pa·s]

η - dinamikai viszkozitás [Pa·s]

- ω - oszcillációs terhelés körfrekvenciája [rad/s]

- $\dot{\gamma}$ - rotációs terhelés nyírási sebessége [1/s]

A komplex viszkozitás tehát, a 2. ábrán látható módon, a szögfrekvencia függvényében változik (Phillips et al., 1996):

$$|\eta^*| = \sqrt{\eta'^2 \cdot \eta''^2}$$

ahol

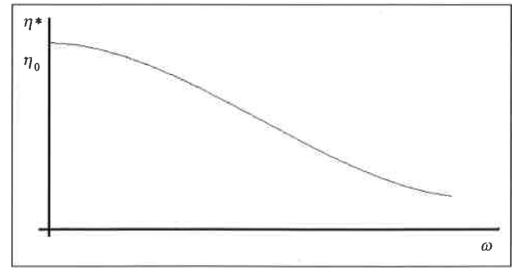
$$\eta' = \frac{G'}{\omega}$$

$$\eta'' = \frac{G''}{\omega}$$

- η' - komplex viszkozitás valós része [Pa·s]

- η'' - komplex viszkozitás veszteségi része [Pa·s]

- ω - szögfrekvencia [rad/s]



2. ábra: A komplex viszkozitás és a szögfrekvencia összefüggése

A vonatkozó európai keretszabvány (MSZ EN 14770), nem tér ki a komplex viszkozitás mérési technikájára, hanem a különböző nyírási modulus tartományokhoz használható minták átmérőjét és a hézagtavolság beállításokat írja elő. Az 1–100 kPa tartományban, a 25 mm-es átmérőjű mintán, az 1 mm-es réstávolságot javasolja, míg 100 kPa–10 MPa tartományban, 8 mm-es átmérőjű mintán, 2 mm-es réstávolságot határoz meg. Az alacsony hőmérsékleti viselkedés meghatározására a szabvány 2023-as kiadásában megjelent már a 4 mm-es átmérőjű minta, amelyet a 10 MPa–1 GPa tartományhoz és 1–3 mm-es réstávolsághoz javasolnak. Az 1 kPa-nál alacsonyabb tartomány méréséhez olyan 25 mm-es minta alkalmazását javasolja, amit valamilyen ismert anyagon teszteltek. A szabvány rendelkezik még a frekvenciasópréről is.

A hagyományos DSR készülékek (3. ábra) mérési tartományai:

hőmérséklet: (20-90 °C)

viszkozitás: 1 kPa–1 GPa–(10²–10⁷) Pa·s

nyírási sebesség: 10⁻³–10² Hz.



3. ábra: Dinamikus nyíró reométer
(forrás: saját kép)

Tóth (2006) a bitumenek és az aszfaltok különböző hőmérsékleti tartományához tartozó vizsgálati rendszerét taglalva, a magas környezeti hőmérsékletre tartozó vizsgálati módszert, az alacsony nyírási viszkozitásnak a mérését DSR-készülékkel javasolta.

Az európai gyakorlatban a komplex viszkozitás mérésére szolgáló eljárás szabvány formában nem jelent meg, azonban sokan foglalkoztak a lágyuláspont helyettesítésére szolgáló DSR-készülékkel való mérési eljárások fejlesztésével.

Alisov (2017) szerint leggyakrabban az útépitési bitumenek komplex modulusát mérik a lágyuláspont hőmérsékletén. A komplex nyírási modulus értékének alakulása a T (LP) hőmérséklethez közeli pontok között az $y = a * e^{(b * x)}$ típusú exponenciális függvényvel írható le. A függvénybe a T (LP) hőmérsékletet helyettesítik be változóként, és a G^* értékét függvényértékként határozzák meg.

Guericke (2010) az oszcillációs mérések alapján, dinamikus nyíróreométerrel (DSR) végzett vizsgálatok során, alacsony ($f=0,159$ Hz) frekvencián, a lágyulásponti hőmérsékleten fennálló állapotot a komplex viszkozitással jellemezte, amely $\eta^*=1.300$ Pa·s értéknek adódott.

Ausztráliában külön vizsgálati szabvány foglalkozik a kötőanyagok komplex viszkozitásának a meghatározásával (Austroads AGPT/T192). A modifikált bitumenek a desztillációs bitumenek és az RA-ból visszanyert kötőanyag viszkozitása igen fontos paraméter, amely dinamikus nyíróreométerrel mérhető. A DSR-mérés során két párhuzamos, kör alakú lemez közé helyezett, előírt átmérőjű, korong alakú bitumenmintát oszcillációs terhelés mellett, előre beállított feszültségzinten nyírnak. A viszkozitást oszcillációs terhelési, 60 °C-os hőmérséklet, $f=0,159$ Hz (1 rad/s) nyírási frekvencia és $0,1$ alakváltozás amplitúdó mellett határozzák meg. A ciklusok során rögzített csúcserőt (nyomatékot), csúcsmozdulást és a két csúcserték közötti időkülönbséget használják fel a komplex viszkozitás (η^*), valamint, szükség esetében, a komplex nyírási modulus, a fázisszög és egyéb reológiai paraméterek kiszámításához.

7. DINAMIKAI VISZKOZITÁS MEGHATÁROZÁSA FORGÓ ORSÓS KÉSZÜLÉKKEL

Az MSZ EN 13302 (2018) szabvány foglalkozik a modifikált és az útépitési bitumen és bitumenes kötőanyagok dinamikai viszkozitásának meghatározásával, forgó orsós berendezés (koxiális vagy Brookfield-viszkoziméter) alkalmazásával (4. ábra). A vizsgálat alapelve, hogy vizsgálati mintába merített orsó forgatásához szükséges nyomatékból a dinamikai viszkozitás meghatározható. A nem newtoni viszkozitások csak ugyanolyan nyírási sebesség és feszültség mellett végzett mérésekkel lehetségesek.



4. ábra: Brookfield-viszkoziméter
(forrás: saját kép)

A már évek óta jól ismert, rotációs viszkoziméter, – amit a bitumenes szakemberek korábban még nem tekintettek teljesen alkalmasnak a nagy pontosságot igénylő vizsgálatokra – elektromos fűtőberendezéssel és a számítógép által vezérelt műveletekkel „feljavítva”, már a hagyományos módszerekkel egyenrangú.

Ha feltételezzük, hogy a rotációs viszkozitásmérés során a nyírási sebesség az oszcillációs mérés körfrekvenciájával megegyezik, akkor a komplex viszkozitás ($\eta^* \setminus \eta^* \setminus \eta^*$) és a dinamikus viszkozitás ($\eta \setminus \eta$) értékei közel azonosak (Cox et al., 1958). Ez az összefüggés azonban kizárólag a lineárisan viszkoelasztikus tartományon belül érvényes.

A viszkozitás előrejelzésének és következképpen a fordulatszám megválasztásának szükségessége a nyomatékugó korlátozott erejéből adódik. Ez meglehetősen gyenge a várt eredmények körüli pontosság biztosításához és a forgó orsós Dynamic Shear Rheometer, DSR kialakítása sokkal robusztusabb, mivel jóval erősebb nyomatékugóval rendelkezik, a mérési tartományt kiszélesítve (Parhamifar et al., 2016).

A Brookfield-készülék mérési tartománya (Remisova et al., 2016):

- viszkozitás: 10^{-2} – 106 Pa s
- nyírási sebesség: 10^{-2} – 10^4 (bitumeneknél 10^{-1} – $2 \cdot 10^2$)
- hőmérsékleti tartomány: 40 – 200 °C.

A kutatás 60 °C-on a bitumenek magas használati hőmérsékleti tartományára irányult, ami Brookfield-készülékekkel a szokásos keverési és bedolgozási hőmérsékletnél alacsonyabb. Az előzetes vizsgálatok alapján és a MSZ EN 12591-ben, illetve az AS 2008-ban szereplő 60 °C-on mért viszkozitási kategóriák alapján, továbbá hasonló kutatásokban mért eredményeket felhasználva, úgy ítéltük, hogy az RV DV2T típusú reométer – megfelelő orsók használatával – ezeknek a tartományoknak a mérésére megfelelő eszköz.

A Brookfield-rendszerben a leggyakoribb rugó nyomatékok (LV alacsony, RV közepes, HA magas, HB nagyon magas) mérési tartományokat határoznak meg, amelyeket különböző orsómérettel szűkíteni lehet. Közepes tartományú eszközzel az útépítési bitumen 60 °C-os tartományában nyílt lehetőség állandó nyírási sebességű mérésekre.

A teljes mérési tartomány meghatározására vonatkozó képlet, a TK (forgatónyomaték állandó), az SMC (orsóállandó) és az RPM (fordulatszám) függvényében:

$$Teljes\ mérési\ tartomány\ (cP) = TK \times SMC \times 10000 / RPM$$

Ez adja meg az adott orsó- és fordulatszám kombinációval mérhető maximális viszkozitást.

A rugón mérhető nyomaték a maximálisan mérhető érték 10 – 100% -áig pontos eredményhez vezet. Ezért az állandó nyírási sebéségen történő mérési tartomány megállapítható. Ennek következtében, viszont egy mintán csak nagyon korlátozott tartományban lehet frekvenciasöpést végrehajtani, azaz egy orsó sebességhez/frekvenciához tartozó mérési tartomány/viszkozitási tartomány a DSR-éhez képest sokkal korlátozottabb. Az elsősorban fejlett viszkoelasztikus mérésekhez szánt DSR azonban meglehetősen drága (ára akár hétszerese a rotációs viszkoziméterének).

A nyírási sebesség számítása:

$$Nyírási\ sebesség\ (1/s) = SRC \times RPM$$

8. A LÁGYULÁSPONT ÉS A 60 °C-OS VISZKOZITÁS ÖSSZEHASONLÍTÁSI LEHETŐSÉGE

Bármilyen hőmérsékleten mért viszkozitás átszámítható másik hőmérsékleten mért értékke, a Heukelom-képlettel:

$$\log \eta = \log \eta_{ref} + \frac{-C_1(T - T_{ref})}{(C_2 + T - T_{ref})}$$

A korábbi tapasztalatok alapján, az útépítési bitumenek lágyuláspontján mért viszkozitás 1.300 Pa.s-nak tekinthető (Heukelom, 1973). Ennek felhasználásával, a képlet átrendezésével valamely bitumen átszámított lágyuláspontja bármilyen hőmérsékleten mért viszkozitás értékéből megkapható.

$$T_{ref} = T - \frac{C_2 * \log\left(\frac{\eta}{\eta_{ref}}\right)}{-C_1 - \log\left(\frac{\eta}{\eta_{ref}}\right)}$$

9. A KUTATÁS VIZSGÁLATI TERVE

A hazánkban legelterjedtebb útépitési bitumenek nagyszámú mintáját vizsgáltuk; a hazai aszfaltkeverékekre vonatkozó szabályozás (e-UT 05.02.11, 2021) szerinti (N)-es és (F)-es aszfaltkeverékek alapanyagául szolgáló B 50/70-es, illetve ugyanezen keverékek 10-40%-os RA adagolásig javasolt B70/100-as útépitési bitumeneket.

A vizsgálatokra, az európai (EN 12 591, 2009) és az ausztrál (AS 2008, 2013) keretszabványban a vákuumkapilláris módszerhez rögzített hőmérsékleti értékhez igazodva, 60 °C-on került sor. A keretszabványokban megadott tartományok, illetve előzetes vizsgálatok alapján ezen útépitési bitumenek viszkozitási tartományát 80 és 450 Pa.s értékek közé becsültük.

A DSR-rel végzett frekvenciasöprésekben (0.1–10 Hz) az ausztrál irányelv szerinti 0,159 Hz és az európai gyakorlatból vett 1,59 Hz frekvencián mért értékeket, illetve a legmagasabb 10 Hz-hez tartozó értéket emeltük ki.

A vákuumkapilláris módszer szerint a 100-as viszkozimétert használtuk, amely a 60–1280 Pa.s tartományban volt képes mérni.

A Brookfield-féle forgóorsós készülékkel a nyírási sebesség értékét az ausztrál irányelv szerinti tartományhoz nagyon közel lehetett állítani. Ugyanis az RV-s rugó nyomaték mellett, SC4-27 orsóval és 0,5 RPM fordulatszám-beállítással az 50-500 Pa.s mérési tartományra nyílt lehetőség, ahol a nyírási sebesség $0,5 \cdot 0,33 = 0,17$ Hz-re adódott, azaz kvázi megfelelt a DSR-rel mért 0,159 Hz-es beállításnak.

A kutatás célja az volt, hogy a három viszkozitásmérési módszer közül melyikkel lehet a lágyuláspontot legjobban helyettesíteni. Az átszámított lágyuláspont értékekhez használt Heukelom-képletben az állandók: $C1=8,5$ és $C2=110$, a lágyuláspontoz tartozó viszkozitás: 1.300 Pa.s. Az összehasonlításra statisztikai módszerként hibanalízist alkalmaztunk.

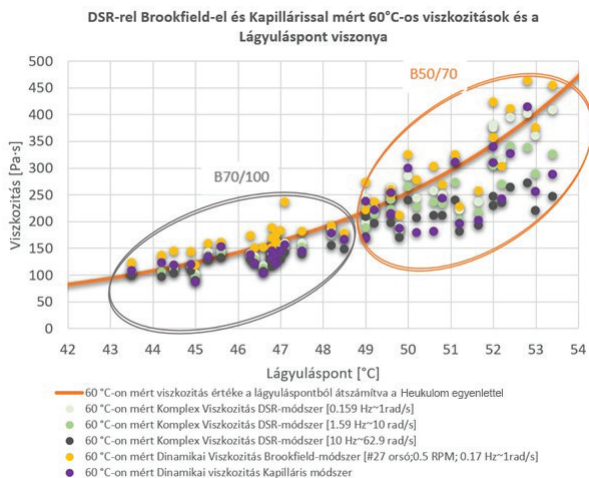
10. A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

20 db B50/70 és 20 db B70/100 bitumenmintát vizsgáltunk, amelyek egy bitumengyártó folyamatos gyártásából, 100-200 t-s egységekből származtak. Minden bitumenmintán elvégeztük az előzőekben ismertetett viszkozitás vizsgálatokat, illetve a lágyuláspont mérését. Reprezentatív értékek a mért értékek mediánját választottuk, mert néhány kiugró érték a mediánt kevésbé befolyásolja, mint az átlagértéket.

Az 5. ábrán a 20 db B50/70 és 20 db B70/100-as útépitési bitumen DSR-rel, Brookfield-del és kapillárisal, 60 °C-on mért viszkozitások és a lágyuláspont értékek láthatók.

Említésre méltó, hogy a mért (43–49 °C-os) lágyuláspont eredmények (x tengely) a B70/100 esetén megengedhető, 43–51 °C-os határtartomány alsó határértékéhez közelítettek, míg a B 50/70-es bitumenek 49 és 54 °C között alakultak, így a megengedhető 46–54 °C-os határtartomány felső határértékéhez voltak közelebb, 51,0 °C átlaggal.

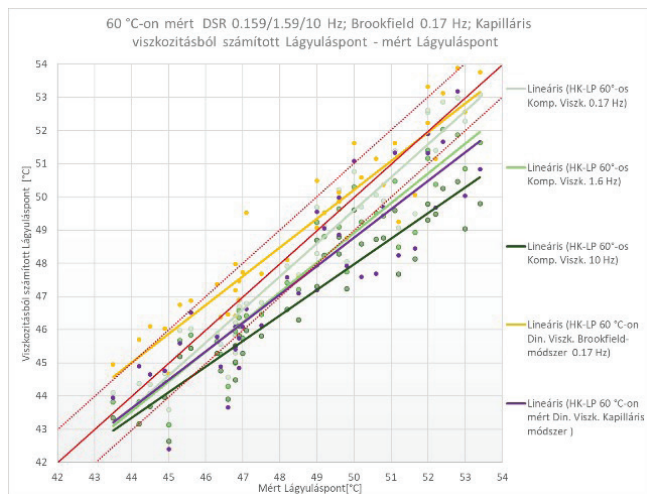
Az 5. ábra narancssárga függvénye megmutatja, hogy 60 °C-on mért viszkozitás értékhez, milyen lágyuláspont érték tartozik, $C1=8,5$, $C2=110$, $T_{ref}=L_p$, $\eta_{ref}=1.300$ Pa.s, feltétel mellett. Minél közelebb helyezkednek el a különböző színű pontok a narancssárga függvényhez, annál szorosabb egyezésre utalnak.



5. ábra: 60 °C-on mért dinamikai viszkozitás és lágyuláspont értékek összefüggése

A 60 °C-on mért viszkozitási értékek és a mért lágyuláspont értékek statisztikai értékeléséhez, a viszkozitási értékeket, az átszámítási képletrel lágyuláspont értékekké alakítottuk. A mért lágyuláspontokat az x tengelyen és a számított lágyuláspontokat az y tengelyen ábrázoltuk (6. ábra). A grafikonon 45 °C-os vastagított piros vonala jelenti a teljes egyezést. A piros szaggatott vonalak a (+1 -1 °C-os) lágyuláspont tartományt jelölik. A 6. ábrán egy pont a számított és mért lágyulásponton kívül az egyes módszerekhez meghatározott, B50/70 és B70/100-as bitumenek lineáris trendvonalainak egy elemét is képezik. Így az egyenesek illeszkedéséből lehetett az egyezés mértékét felmérni.

Megállapítható, hogy trendvonalak közül a 0,159 Hz-es DSR és a 0,17 Hz-es Brookfield-mérés (+1 -1 °C-os) tartományban helyezkedik el, az előbbi annak inkább alsó, az utóbbi pedig inkább felső részén. A DSR-rel 1,59 Hz-en mért viszkozitás a -1 °C os egyenesen belül helyezkedik el, a B70/100-as tartományban, majd abból kilép a B50/70-es tartományban. Ehhez hasonló trendet mutat a kapillárisal mért viszkozitás. A magas, 10 Hz-en mért DSR-viszkozitás a legalacsonyabb lágyuláspont-tartományba még a -1 °C-os egyenes felett található, azt metszve egyre távolodik az egyezést mutató, 0 °C-os egyenestől.



6. ábra: 60 °C-on, különböző módszerekkel mért dinamikai viszkozitásból átszámított lágyuláspont és a mért lágyuláspont összefüggését jellemző lineáris trendvonalak jellemzői

Annak eldöntéséhez, hogy az öt közül melyik viszkozitásmérési sorozat illeszkedik legjobban a mért lágyuláspont sorozatához, a grafikus ábrázoláson felül statisztikai módszerek is szóba jöhetnek. Erre szolgálhat a hibaelemzés. Az 1. táblázatban ennek eredményeit foglaltuk össze. Az átlagos hibát a mért és a számított lágyuláspont közötti különbségek átlagából lehet kiszámolni. A hibák szórása azt mutatja meg, hogy az átlagolt hibáktól a hibák átlagosan mennyire térnek el. A hibák %-os eltérése a mért lágyuláspont átlagától az átlagos hiba eltérése %-ban kifejezve. Ezeket a paramétereket külön-külön a B50/70-es adathalmazra és a B70/100-as adathalmazra, illetve az összes 40 mintás adathalmazra is meghatároztuk.

Az összes adatot figyelembe véve, most már pontos rangsor állítható fel a különböző frekvenciákon és módszerekkel mért viszkozítások között.

Az átlagos hibák -0,4 °C és +1,7 °C-os eltérést között szórtak, így állítható, hogy a Heukelom-képlettel 60 °C-on mért viszkozitásból számított lágyuláspont a méréssel megkapott L_p -vel nagyon jó egyezést mutat. A Heukelom-egyenlet alapján az alacsony nyírási sebességhez tartozó viszkozitás mérések a ~ 1 rad/sec=0,159 Hz, 43–54 °C-os lágyuláspontú tartományban $\pm 0,5$ °C-on belüli átlagos egyezést mutattak a L_p -tal. Az alacsony frekvencián két különböző módszerrel mért viszkozítások közül a Brookfield-féle módszerrel átlagban 0,5 °C-kal magasabb értékeket kaptunk, míg a DSR-rel mértnél 0,4 °C-kal alacsonyabb lágyuláspont adódott. A kapilláris módszerrel közel azonos eredményű DSR 10 rad/sec=1,59 Hz-en mért viszkozitás értékek átlagban 0,9, illetve 1,0 °C-kal hoztak alacsonyabb L_p értéket.

A kapilláris módszerrel számított L_p értékek hibáinak szórása mindegyik tartományban, a másik két módszer eredményeihez képest 0,3–0,5 °C-kal magasabb értékre adódott. A Brookfield-féle módszerből számított hibák szórása pedig a DSR-mérésekből számított hibák szórásához képest, kb. 0,1 °C-kal adódott magasabbra.

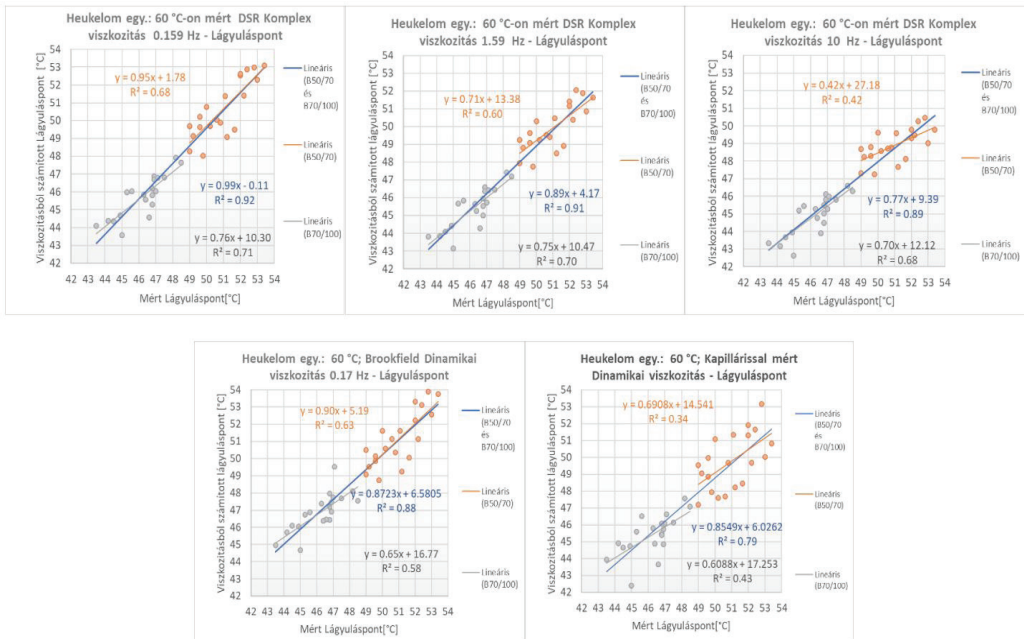
		60 °C-on különböző módszerrel mért viszkozitásból Heukelom egyenlettel átszámított L _p .				
		DSR 0.159 Hz	DSR 1.59 Hz	DSR 10 Hz	Brookfield 0.17 Hz	Kapilláris
B50/70 L _p .	átlagos hiba [°C]	-0.3	-1.1	-2.1	0.2	-1.2
	hibák szórása [°C]	0.9	0.9	1.0	1.0	1.4
	hibák %-os eltérése a mért L _p . átlagától [%]	-0.6%	-2.1%	-4.1%	0.4%	-2.4%
B70/100 L _p .	átlagos hiba [°C]	-0.5	-0.8	-1.3	0.6	-0.8
	hibák szórása [°C]	0.7	0.7	0.7	0.8	1.0
	hibák %-os eltérése a mért L _p . átlagától [%]	-1.0%	-1.8%	-2.9%	1.3%	-1.8%
B50/70 és B70/100 L _p .	átlagos hiba [°C]	-0.4	-0.9	-1.7	0.5	-1.0
	hibák szórása [°C]	0.8	0.8	1.0	0.9	1.2
	hibák %-os eltérése a mért L _p . átlagától [%]	-0.8%	-1.9%	-3.5%	0.9%	-2.1%

7. ábra: 5 viszkozitási módszerből számított lágyuláspont és a mért lágyuláspont közötti összefüggés hibaanalízise

Megállapítható, hogy a nyírási sebesség hatása az alacsonyabb viszkozitási kategóriához tartozó B70/100-as bitumeneknél kisebb mértékű, mint a magasabb viszkozitási tartományú B50/70-es bitumeneknél. A 0,159–1,59–10 Hz-es méréseknél, a B70/100 esetében, a mérési hiba nagysága az alacsony tartományhoz képest a közepes és a magas

tartományban 0,3–0,8 °C-kal növekszik, míg a B50/70-es tartományban ugyanez a különbség 0,8 és 1,8 °C-kal nő.

A 7. ábrán ábrázolt 60 °C-on 0,159/1,59/10 Hz-en DSR-rel mért, komplex viszkozitásból Heukelom-egyenlettel átszámított L_p és mért L_p kapcsolata látható, lineáris trendvonalak egyenleteivel és a determinációs együtthatókkal, a teljes adatsorra és külön-külön a B70/100 és B50/70-es bitumenekre. Ha a B50/70-es és a B70/100-as adatsorok trendvonalainak egyenleteit a nyírási sebesség függvényben vizsgáljuk, az előző állítással megegyező következtetésre jutunk. Az $y=ax+b$ képletben a B70/100-as kategóriában jól illeszkedő kapcsolat mellett, az „a” 0,77-ről 0,70-re csökken, míg a „b” 10,3-ról 12,1-re növekszik, a B50/70-es tartományban, közepesen illeszkedő kapcsolat mellett. „a” 0,95-ről 0,42-re történő csökkenése mellett, „b” 1,7-ről 27,1-re növekszik. Megfigyelhető, hogy az alacsony, 0,159 Hz-es nyírási sebesség mellett, a két kategória adataiból képzett trendvonal egyenlete $y=0,99x-0,1$; ez nagyon jó ($R^2=0,92$) korrelációt mutat.



8. ábra: 60 °C-on a háromféle viszkozitásmérés eredményeiből Heukelom-egyenlettel átszámított lágyuláspont és a mért lágyuláspont kapcsolata

A 60 °C-on, 0,17 Hz-en, Brookfielddel mért dinamikai viszkozitásból Heukelom-egyenlettel átszámított lágyuláspont és a mért lágyuláspont kapcsolatánál a két kategóriára illesztett egyenes egyenlete $y=0,87x+6,6$, ami kissé gyengébb $R^2=0,88$ kapcsolatot ír le, mint az alacsony nyírási sebességű, DSR-féle viszkozitásból számított eredményeknél. Ebben az esetben a B70/100-as bitumenek eredményei mutatnak alacsonyabb regressziós kapcsolatot, a DSR-féle komplex viszkozitásból számított $R^2=0,68-0,72$ helyett, ez csupán $R^2=0,58$. A kapilláris viszkozitási értékekből számított lágyuláspont és a mért lágyuláspont összefüggésére illesztett egyenes regressziós kapcsolata gyengébb volt a másik két módszerrel mért adatoknál regisztrálthoz képest. Ez az $R^2=0,79$ összefüggésben áll azzal a megállapítással, hogy a hibák szórása is itt a legmagasabb értékű. Érdekes, hogy a regressziós egyenes lefutása szinte párhuzamos a Brookfield-féle módszerből számított adatokéval, azonban nagyobb egyezést mutat, a 43–54°C-os lágyuláspont-tartományban, a közepes nyírási sebességű DSR mérésből kapott értékekével. Ebben az esetben, önmagukban a B50/70-es és a B70/100-as mérési eredmények csak gyenge lineáris regressziójú kapcsolatot mutatnak.

11. ÖSSZEFOGLALÁS

Mindegyik adatsorból kiderült, hogy a 60°C-on mért viszkozitás értékekből, a Heukelom-képlettel, $C1=8,5$, $C2=110$, $T_{ref}=L_p$, $\eta_{ref}=1.300$ Pa.s, feltétel mellett számított lágyuláspont a mért lágyuláspont értékét nagyon jól megközelíti.

A különböző módszerrel mért viszkozításokból átszámított lágyuláspontok és a mért lágyuláspontok között a legszorosabb korreláció az ausztrál előírásban szereplő 1 rad/sec frekvencián való mérésre adódott; az európai gyakorlatból ismert 10 rad/sec beállítással kissé alacsonyabb egyezést találtunk, és a frekvencia növelése mellett, a számított viszkozítások a valós mérések eredményeit alul becsülték.

Megállapítható tehát, hogy a 60 °C-on mért viszkozitásból Heukelom-képlettel, $C1=8,5$, $C2=110$, $T_{ref}=L_p$, $\eta_{ref}=1.300$ Pa.s, feltétel mellett számított lágyuláspont a legjobb egyezést a mért lágyuláspontokkal, alacsony nyírási sebesség mellett szolgáltatja.

Megállapítható, hogy a nyírási sebesség hatása az alacsonyabb viszkozitási kategóriához tartozó, 43–48 °C közötti lágyuláspontú, B70/100-as bitumeneknél kisebb mértékű, mint a magasabb viszkozitási tartományú, 49–54 °C közötti lágyuláspontú, B50/70-es bitumeneknél. Az utóbbi esetben feltételezhetően ez azzal magyarázható, hogy a 60 °C-os hőmérsékleten az elasztikus tulajdonságok sokkal jobban dominálnak, mint az alacsonyabb viszkozitású bitumeneknél.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Alisov, A. (2017) Typisierung von Bitumen mittels instationärer Oszillationsrheometrie (Doktori disszertáció) Braunschweig: Braunschweigi Műszaki Egyetem, Útburkolatmérnöki Központ p. 114.
- [2] AS 2008 (2013) Bitumen for pavements,
- [3] Austroads, Austroads Test Method AGPT/T192 (2015) Characterisation of the Viscosity of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Binder Using the Dynamic Shear Rheometer (DSR).
- [4] Austroads, Austroads Test Method AGPT/T193 (2015) Design of Bituminous Binder Blends to a Specified Viscosity Value.
- [5] Cox, W. P., Merz, E. H. (1958) Correlation of dynamic and steady flow viscosities. Journal of Polymer Science, 28, pp. 619-622. <https://doi.org/10.1002/pol.1958.1202811812>
- [6] Desmazes, C., Lecomte, M., Lesueur, D., Phillips, M. (2000) A protocol for reliable measurement of zero-shear-viscosity in order to evaluate the anti-rutting performance of binders. In Proceedings of the papers submitted for review at 2nd Eurasphalt and Eurobitume Congress, 20-22 September, Barcelona, 1 (1).
- [7] Erlandsson, I. (2012) Predicted viscosities for blends of various bitumen grades. Master Thesis. LTH, Lund University, Sweden (In Swedish; abstract in English). p. 30.
- [8] e-UT 05.01.26 (2018) Bitumenes kötőanyagok.
- [9] e-ÚT 05.02.11.(2021) Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok keverékeinek követelményei

- [10] Guericke, R. (2010) 100 Jahre Erweichungspunkt Ring und Kugel: was kommt danach? Straße und Autobahn 61(7), pp. 481-491. URL: <http://worldcat.org/oclc/7286414>
- [11] Heukelom, W. (1973) An improved method of characterizing asphaltic bitumens with the aid of their mechanical properties. Klo-ninklijke/Shell-Laboratorium, Amsterdam. Proc Assoc Asph Pav Tech, (42), p. 62-98.
- [12] Heukelom, WW. (1974) Eine verbesserte Methode der Charakterisierung von Bitumen mit Hilfe ihrer mechanischen Eigenschaften, Übersetzung von Güsfeldt, Bitumen 2, pp. 45-56.
- [13] Mezger T. G. (2014) The Rheology-Handbook, Hannover: Vincentz Network, p. 432.
- [14] MSZ EN 12596 (2023) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A dinamikai viszkozitás meghatározása vákuumkapilláris-módszerrel.
- [15] MSZ EN 13302 (2018) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A bitumenes kötőanyag dinamikai viszkozitásának meghatározása forgó orsós készülékkel.
- [16] MSZ EN 14770 (2023) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A komplex nyírási modulus és a fázisszög meghatározása. Dinamikus nyíróreométer (DSR).
- [17] MSZ EN 1427 (2016) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A lágypont meghatározása. Gyűrűs-golyós módszer.
- [18] MSZ EN 1426 (2016) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A tüpenetráció meghatározása.
- [19] MSZ EN 12591 (2009) Bitumen és bitumenes kötőanyagok. Az útépítési bitumenek minőségi követelményei.
- [20] Neumann, H. (1995) Was ist Bitumen? Bitumen, Heft 4/95.
- [21] Nilsgart, E., Grybb, T. (2014) Rotational Viscometer, RVB - An alternative to conventional methods for measurement of bitumen viscosity. Master Thesis. LTH, Lund University, Sweden (In Swedish; abstract in English). p. 44.
- [22] Parhamifar, E., Tyllgren, P. (2016) Assessment of asphalt binder viscosities with a new approach. In Proceedings 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Prague, Czech Republic, 1-3 June, 2016, pp. 8. <https://dx.doi.org/10.14311/EE.2016.035>
- [23] Phillips, M. C., Robertus, C. (1996) Binder rheology and asphaltic pavement permanent deformation; the zero-shear-viscosity. In 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Strasbourg, 7-10 May, 3: 5.134.
- [24] Remisová E., Zatkaliková V., Schlosser F. (2016) Study of rheological properties of bituminous binders in middle and high temperatures. Civil and Environmental Engineering 12, pp. 13-20.
- [25] TL Bitumen-StB-Technische Lieferbedingungen für Straßenbaubitumen und gebrauchsfertige Polymermodifizierte Bitumen, Ausgabe 2007/Fassung 2013 (R 1)
- [26] Tóth S. (2006) Bitumen és aszfaltszabványok követelményrendszerének reológiai alapjai. Az Aszfalt, 1, pp. 4-48.
- [27] Williams, M.L., Landel, R.F., Ferry, J.D. (1955) The temperature dependence of relaxation mechanisms in amorphous polymers and other glass-forming liquids. Dept. of Chemistry, Univ. of Wisconsin. Journal of American Chemistry Society, 77: p. 370.



Dynamic viscosity of Road Construction Bitumen as an Alternative to Softening Point

Keywords: road construction bitumen, bitumen classification, viscosity, softening point, DSR, Brookfield, capillary

The research sought to find the most suitable replacement for softening point among the viscosities of two types of road construction bitumen measured using three methods (Brookfield and capillary dynamic, and DSR complex). The temperature was selected based on the values recommended for dynamic viscosity and complex viscosity measurements in the EN 12 591-2009 and AS 2008-2013 specifications for road construction bitumen, which was 60 °C. Changes in shear rate significantly affect complex viscosity values. A better correlation was found between the softening point converted from the viscosities measured and the actual measured softening point at a frequency of 1 rad/sec than at a frequency of 10 rad/sec.

Az M2 metró és a H5 szentendrei HÉV összekötés megvalósítási lehetőségeinek vizsgálata

Solymosi Krisztián^{1,*} – Dr. Vinkó Ákos² – Pap Zsigmond³

¹MSc Hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

²Adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

³Projektvezető mérnök, Budapesti Közlekedési Központ Zrt.

e-mail: solymosikrisztian@edu.bme.com, vinko.akos@emk.bme.hu, zsigmond.pap@bkk.hu

Absztrakt

A kutatás a két vonal Batthyány téri összekötésének [1] létjogosultságát és műszaki megvalósíthatósági lehetőségeit kívánja meghatározni. Előzetes utasforgalmi igényfelmérés és szimulációfuttatások után komplex menetrend készült az összesen 4 viszonylatból álló Stadtbahn-szerű vonalakra, az Örs vezér terén már meglévő összekötés feltételezésével. A műszaki tekintetben kompromisszumos megoldás az új HÉV Tervezési előírásokkal [2] egyszerűbben kivitelezhető lenne. A vizsgált projekt gazdaságilag megtérülő.

Kulcsszavak: hibrid rendszer, városi és elővárosi gyorsvasút, átjárhatóság, költséghasznelmézés, menetrend tervezés, forgalmi szimuláció, utazási igényfelmérés, vasúti pályatervezés

DOI:<https://doi.org/10.24228/KTSZ.2025.6.4>

1. A TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA, ELŐZMÉNYEK

Átszállás nélkül Szentendréről Budapest belvárosába metró? Létezhet az M5-ös metrónak egy lényegesen olcsóbb változata? Vajon képes egy 2 km hosszú alagút megduplázni a HÉV-et használók számát?

Az összefoglaló munka többek között a fentiekre keresi a választ. A kutatás és tervezés folyamán több meglepő eredmény is született.

Mégis azonban honnan jött a téma?

Egy felvetés szerint, ha az Örs vezér terén megteremthető a HÉV és a metró közötti közvetlen kapcsolat, akkor ugyanez ugyanennek a metróvonalnak a Batthyány téri állomásán is

kivitelezhető. A H5-ös szentendrei HÉV-et ugyanis azért hosszabbították meg 1972-ben, hogy elérje az akkor épülő 2-es metró, ezzel megkönnyítve az utasok belvárosba való eljutását. A helyszíni utasszámlálás során számszerűsíthető információhoz való hozzájutás volt az egyik cél, illetve megvizsgálni, hogy a metróon milyen arányban oszlanak el az átszállások. Mindez a két irány között egy esetleges delta összeköttetés jogosultságának igazolására szolgál.

Az átmenő rendszerek európai elterjedése az elmúlt évtizedekben felvetette a kérdést, hogy Budapesten lehetne-e tovább integrálni a H5-ös HÉV-et a metróhálózatba. Annak milyen követelményei és műszaki megoldásai lehetnek, illetve, hogy mennyire lenne megtérülő egy ilyen jellegű beruházás.

A mindenkori utasszámlálások kimutatták, hogy a Batthyány téren az utasforgalom legnagyobb része nem is jön a felszínre, az a HÉV és a metró között történik.

A két vonal utasforgalmi kölcsönhatásának meghatározására helyszíni mérések készültek az utazási igények felmérésére. A több alkalommal elvégzett számlálás eredményeképpen átfogó kép alakult ki a csomóponton történő továbbutazások megoszlásáról. A hipotézis további vizsgálata érdekében célszoftveres forgalmi szimulációk készítése volt a következő lépés. Ehhez segítségével a BKK rendelkezésre bocsátotta az Egységes Forgalmi Modellt (továbbiakban EFM). Ezek a szimulációk azt szolgálták kideríteni, hogy ha valóban összekötésre kerülne a két üzem, akkor hogyan változnának az utazási szokások.

Az előzőekkel párhuzamosan készült egy komplex, több viszonylat összevonásából keletkező, S-Bahn rendszerszerű kialakításra szóló menetrend. Azzal a feltételezéssel élve, hogy a 2-es metró és a H8-as és H9-es HÉV vonalak már össze vannak kötve az Őrs vezér terén [3] tulajdonképpen a város alatt lévő egy közös szakasz mindkét végén két irányba válna szét. Nyugati oldalon Szentendre és a Déli pályaudvar felé, keleti oldalon pedig Gödöllő és Csömör felé ágazna szét a Batthyány tértől Cinkotáig tartó közös szakasz.

Az összekötő műtárgy, maga az alagút megtervezése jelentené azonban talán a legnagyobb kihívást minden feladat közül. Rengeteg adottság van, aminek mind meg kell felelni, és egyesek ki is zárnak másokat. Az előzetes nyomvonalváltozatok után 4 került részletes kidolgozásra, amelyek közül egyet kellett kiválasztani a kutatás végén. Erre egy preferencia összehasonlító szempontrendszert készítettek.

A győztes változat meghatározása után készült arra egy költség-haszon elemzés, hogy gazdasági szempontból is igazolva legyen a feltételezett projekt létjogosultsága.

Felmerült annak a lehetősége, hogy a Budapesti Agglomerációs Vasúti Stratégiában szereplő, Déli és Nyugati pályaudvar összekötő Duna alagúttal [4] létesüljön átszállási lehetőség az összekötő alagútról. Ezek megjelennek a négy részletesen kidolgozott változat helyszínrajzaiban. Az állomások terveit a kutatás terjedelmi korlátai miatt műszakilag nem készítettük el.

A lehetőségeket főleg utasforgalmi szempontból vizsgáltuk, szintén a forgalmi modellező szoftver segítségével. A költség-haszon elemzés során e lehetőség megtérülését vizsgáltuk.

2. A PÁLYA-JÁRMŰ INFRASTRUKTÚRA ÖSSZEANGOLÁSI KÉRDÉSEI

Fontos tisztázni, hogy a vizsgálat mind a metró, mind a HÉV üzem teljes szakaszán a jelenlegi fő műszaki rendszerek módosítását, illesztését igényli-e vagy sem. Jelenleg ugyanis a HÉV és a metró üzemekben merőben mást alkalmaznak mindkét tekintetben. Ahhoz, hogy egy átjárható viszonylat jöhesse létre, az kell, hogy a két rendszerben is közlekedni képes járművek járjanak a vonal teljes hosszában. Ez magával vonzaná a pályainfrastruktúra egységesítését, ami többek között azt jelentené, hogy azonos peronhossz, és -magasság, azonos biztosító- és jelzőberendezések, továbbá áramellátás kiépítése válna szükségessé [5].

Mivel a középső, közös szakaszon, a mai 2-es metró alagútja jelentős kötöttségeket jelent, így egyszerűbb lenne ahhoz a rendszerhez igazítani a másikat, mint fordítva. A felszínen viszonylag könnyebb módosítani a meglévő állapotokon, mint a föld alatt.

A HÉV-metró közös rendszert az M2+GHÉV projektben tervezték meg, beleértve a padlómagasság, áramellátás (áramszedő vagy harmadik sín) szerelvények kapacitását érintő kérdéseket. Ezeket a kutatás folyamán adott-ságként kezeltük [6].

3. HELYSZÍNI UTAZÁSI IGÉNYFELMÉRÉS A BATTHYÁNY TÉRI CSOMÓPONTBAN

A műszaki tervezés megkezdése előtt érdemes megvizsgálni a HÉV és a metró közötti utasforgalom megoszlásának aktuális állapotát. Ennek megismeréséhez helyszíni utazási igényfelmérés készült. Ez összesen négyféle mérést jelent, amelyek mind különböző kérdésekre adnak választ.

- Az alujáróban a HÉV-ről leszálló összes utassal számoltunk, és hogy közülük hányan szállnak át a metróba (1).

- A metróállomáson az összes, mozgólépcsővel az állomásra érkező utast számba vettük, és számba vettük, hogy közülük hányan szállnak fel Pest felé (2).
- Az aluljáróban az összes a metróállomásról a mozgólépcsőn érkező utas és a közülük a HÉV-re átszállók száma került meghatározásra (3).
- A Batthyány téri metróállomáson az összes leszálló és közülük a Pest felől érkező utasokat számoltuk (4).

Annak érdekében, hogy a mérések a mértékadó időszakokban készüljenek, az első két mérés reggeli, míg a 3. és 4. a délutáni csúcsidőben készült. Figyelembe véve, hogy hétfőn és pénteken már módosulhat a munkahelyi forgalom, ezért ezeken a napokon nem mértünk.

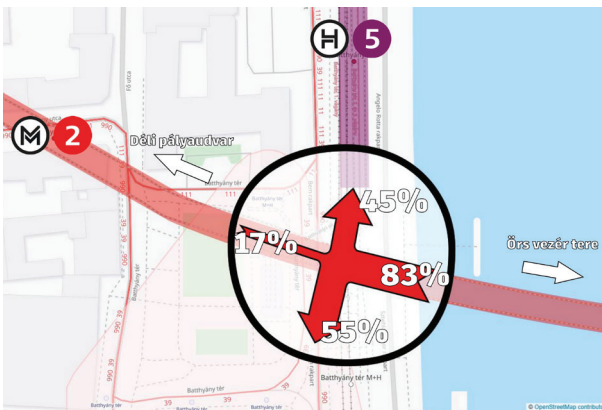
minden 5. utas halad tovább a Déli pályaudvar felé. Az érkező oldalon még drasztikusabb a különbség.

Mivel a HÉV-ről az M2-es metróra a Déli pályaudvar felé felszállva csak a Széll Kálmán tér és a Déli pályaudvar lehet célpont, és ezeket a pontokat a Déli pu. – Nyugati pu. vasúti alagút kiszolgálja, a H5-öst használó utasok a cikk tárgyát képező vizsgált műtárgyon javasolt vasúti átszállóhelyen a vasúti járatokra átszállva el tudnák érni ezeket a célpontokat. Kimondható, hogy hálózati szempontból is szükségtelen lenne a H5-ös vonalról külön a Déli pályaudvar felé kanyarodó metróműtárgy építése.

4. MENETREND TERVEZÉS

A kutatás összetettségét jelentette, hogy a kutatott projektnek egyszerre sok szempontnak kellene megfelelnie, ahhoz, hogy megvalósíthatónak tekinthető legyen. Egyik ilyen volt egy megfelelő menetrend kialakítása.

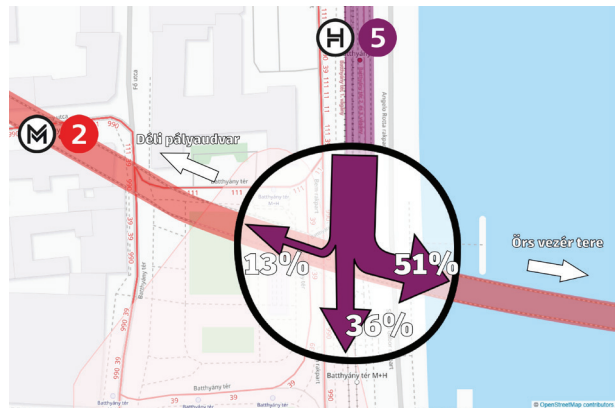
Az alap koncepció, hogy a Batthyány tértől Cinkotáig tartó közös szakaszon a 2-es metró jelenlegi követési ideje megmaradjon, és mindemellett az összes ágra, végállomásra nagy mennyiségű és hatékonyságú kiszolgálás történjen. Az utazások megfelelő hatékonyságú kielégítése érdekében három időszakra készült menetrend:



1. ábra: A Batthyány térre HÉV-vel érkezők tovább utazási szokásai (forrás: saját szerkesztés)

Az 1. és 3. mérés célja a metró és HÉV forgalmának összefüggését vizsgálta, célja a kutatott fejlesztési lehetőséggel közvetlenül előnyben részesített utasszám becslése volt. A 2., illetve 4. mérés azt a kérdést célozta megválaszolni, hogy szükség van-e egy delta elágazásra vagy elég egy egyszerű elágazás a Batthyány téren.

Az 1. és 2. ábrák jól szemléltetik, hogy a HÉV-nek és a metrónak nagyon erős hatása van egymásra az utazási szokásokat tekintve. Mindemellett az is megállapítható, hogy nincs szükség delta elágazásra, ugyanis a metróba érkezők mintegy 80%-a Pest és csupán



2. ábra: A Batthyány térre metróval érkezők tovább utazási szokásai (forrás: saját szerkesztés)

- hétköznap csúcsidőszak
- hétköznap napközben és egésznapos hétfői időszak
- peremidőszak (üzemkezdettől reggel 6 óráig és 21 órától üzemzárásig)

A nehézséget egyrésztől az jelentette, hogy a csúcsidőszakban minden ágon elég sűrűn járnak a szerelvények, azonban összeérve a közös szakaszon ne merítsék ki annak teljes kapacitását. Másrésztől pedig az, hogy peremidőszakban, mikor a közös szakaszon is ritkábban járnak a vonatok, akkor is legyen érdembeli kiszolgálás mindegyik ágon, és mindez a járatrendszer az utazóközönség számára is kiismerhető legyen. Mindezen igények kielégítése érdekében az 1. táblázatban összegezett menetrendet vizsgáltuk.

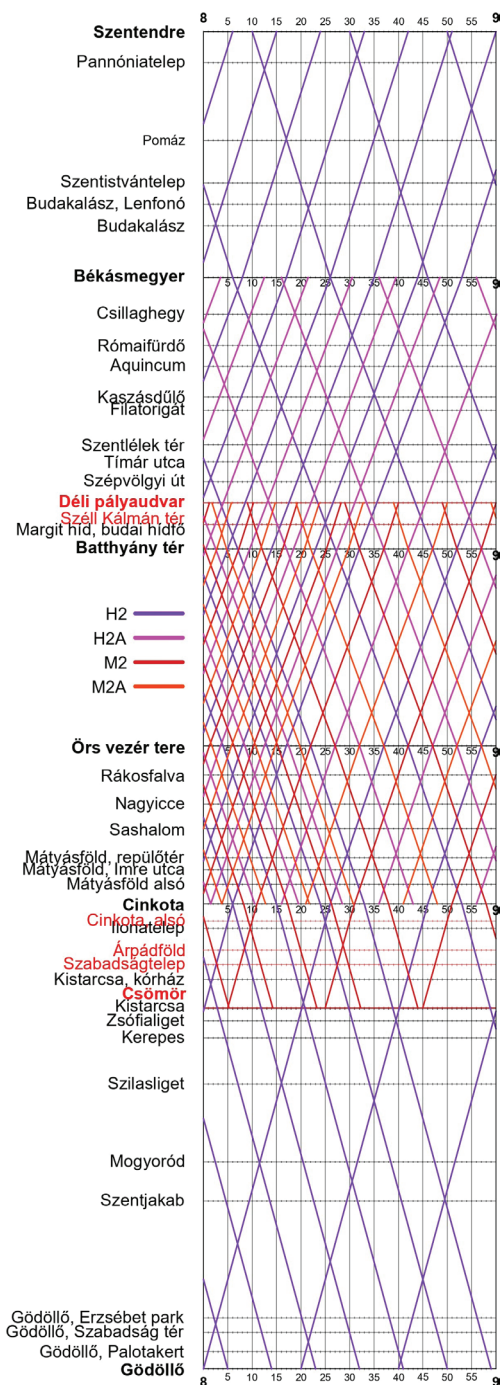
időszak	Követési idő [perc]	
	viszonylatonként	közös szakaszon
csúcs	10	2,5
napközben	20	5
perem	20, - (A)	10

1. táblázat: Követési idők
(forrás: saját szerkesztés)

Csúcsidőben a közös szakaszon a szerelvények 2,5 perces követési ideje mindkét elágazó állomáson 5-5 percre válna szét. A budai oldalon minden második a Déli pályaudvar és minden második Szentendre irányába menne tovább, amihez a mai HÉV kapacitás biztosított.

A békásmegyeri betétjárat végpont változatlanul feltételezett, így Budapest belvárosából 10 percenként lenne Szentendréig közlekedő járat, és 5 percenként lehetne a békásmegyeri betétjárat segítségével a városhatárig eljutni. Így összességében minden negyediknek lenne Szentendre a végállomása.

A keleti oldalon a két végállomás Csömör és Gödöllő lenne, amelyek szintén egyenlő 50-50%-os arányban haladnának tovább szerelvények, mindkettőnek a betétjárata azonban Cinkotáig közlekedne, így Szentendréhez hasonlóan csupán minden negyedik járat menne Gödöllőig, illetve Csömörre. A belvárosból Gödöllőre és Csömörre 10-10 percenként indulna járat, míg Cinkotáig mindegyik eljutna, vagyis itt 2,5 percenkénti követés lenne érvényes.



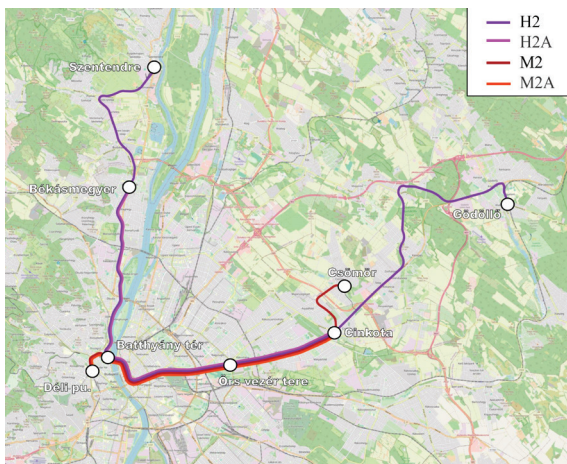
3. ábra: Tervezett grafikus menetrendre részlete (forrás: saját szerkesztés)

A napközbeni időszakban hasonló módon történne a felosztás, azzal az egyedüli különbséggel, hogy a közös szakaszon 2,5 helyett 5 percnként közlekednének a vonatok, így az összes ágon a követési idő a kétszeresére növekedne a csúcsideihez képest.

Peremidőszakban a közös szakaszon 10 perc követéssel járnának a szerelvények. Mivel, ha minden negyedik közlekedne teljesen a végállomásokig ebben az időszakban, az ritka kiszolgálást jelentene. Ezáltal mind a Déli pályaudvari, mind a szentendrei, gödöllői és csömöri végállomásra is 20 percnként járnának a vonatok. A békásmegyeri utasigények kiszolgálására az esti peremidőszak elején a kocsiszíni menetek felhasználásával a maival megegyező követés feltételezett.

Összesen négy feltételezett viszonylat képezte a vizsgálat részét. A mindkét oldalon két irányba szétágazó szárnyvonalak párba kerülnének, és mind a kettőnek lenne egy-egy betétjárata is. Ezekre azért lenne szükség, mert a forgalom nem indokolja, hogy a vonalak teljes hosszában minden időszakban maximális sűrűséggel közlekedjenek a vonatok, mint a középső, közös szakaszon. A négy viszonylat így a következő:

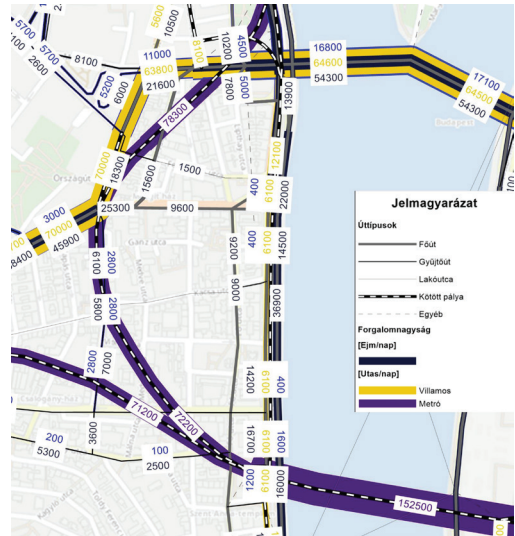
- H2 Szentendre – Gödöllő
- H2A Békásmegyer – Cinkota
- M2 Déli pályaudvar – Csömör
- M2A Déli pályaudvar – Cinkota



4. ábra: Viszonylati térkép
(forrás: OSM és saját szerkesztés)

5. FORGALMI SZIMULÁCIÓ

Az utazási igény további alátámasztása érdekében a német PTV Visum szoftverben készültek forgalmi szimulációk, amelyben alapmodellként a EFM-t használtuk. A programban több állapot, ún. szcenárió készült, amelyben az alap, jelenlegi modellel kerültek összehasonlításra. A két üzem összekötésével létrejövő vizsgált helyzetet az 5. ábra, míg a jelenlegi (2019-es mo-

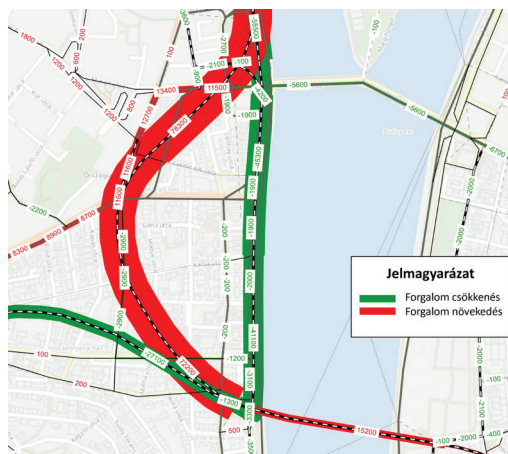


5. ábra: Az összekötéssel létrejött új forgalmi helyzet
(forrás: PTV Visum, EFM, saját szerkesztés)

dell) állapottól való eltérést a 6. ábra mutatja be. A keletkezett többlet utazásokat zölddel, míg a csökkenéseket pirossal jelöltük.

Megfigyelhető, hogy a HÉV jelenlegi Batthyány tér és Margit híd közti szakaszán nagyon nagy negatív, míg az új nyomvonalon kiemelkedő pozitív változást mutat a program. Ez azért van, mert az új nyomvonal miatt az összes jelenlegi eltűnne a régiről és a többletutazások a jelenlegivel együtt mind pluszban jelennének meg az új nyomvonalon.

Egyik mellékhatásként megfigyelhető a 4-es és 6-os számú villamosok forgalmának átrendeződése, a vizsgálatl a Margit hídi és Margit körüti szakasz forgalma sokkal kiegyenlítettebbé válna, ami a villamosforgalom szervezésében jelentős könnyebbség lenne.



6. ábra: Az összekötéssel módosult állapot
(forrás: PTV Visum, EFM, saját szerkesztés)



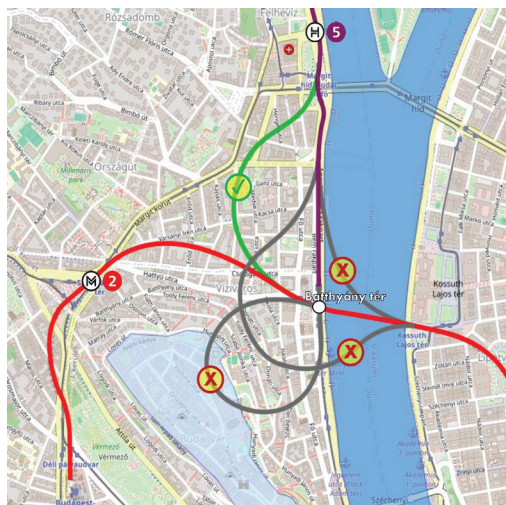
7. ábra: Duna-alagúttal van átszállási lehetőség vs. ha nincs
(forrás: PTV Visum, EFM, saját szerkesztés)

Az országos jelentőségű átszállási kapcsolatok lehetősége miatt készültek szimulációk arra az esetre, hogy hogyan változnának meg az utazási szokások, ha a tervezett Nyugati pályaudvar (Rákosrendezőt) a Déli pályaudvarral (Kelenfölddel vasútállomással) összekötő Duna-alagúton létesülne egy köztes állomás a Margit híd budai hídfőnél, amire közvetlen átszállási lehetőség lenne biztosított a vizsgált összekötésen áthelyezett, ugyanezen néven futó állomással.

A 7-es ábra azt mutatja be, hogy milyen különbség adódna, ha létesülne a Duna-alagúton állomás, amely össze lenne kötve az M2-H5 alagúttal. Ha mindkét műtárgy megépülne akkor azonban nem lenne átszállási lehetőség, továbbá a Duna-alagúton a jelenlegi tervek szerint nem lenne állomás a Margit híd, budai hídfőnél.

6. ELŐZETES NYOMVONALKERESÉS

Az összekötés megtervezésekor figyelembe kell venni, hogy a legnagyobb kihívást nem a helyszínrajzi nyomvonalvezetés adná, hanem a nagy magasságkülönbség rövid távon történő leküzdése miatt a magassági vonalvezetés. Így a 2-es metró elágazását követően a vágányok meredeken emelkednének. A két egymásra közel merőleges vonalat négy irányból lehetne elméletileg összekötni, amelyeket a 8. ábra szemléltet.



8. ábra: Előzetes nyomvonalvezetések
(forrás: OSM, saját szerkesztés)

Két irányt ki lehet zárni a Duna miatt, mert a vonal ott azonnal nem kezdődhetne emelkedéssel. A délnyugati hurok alagutat több szempontból sem lenne érdemes kialakítani. A minimális sugarú íves kialakítással a Várhegy alatt haladna át, ahol az ott található mészköves talaj műszakilag jelentősen megnehezítené alagút építést. Ezen felül kétszer érintené ugyanazon földrajzi pontot – csak másik magasságban, – ami utazási idő kiesést jelentene. Így összeségében egy lehetséges összekötési irány maradna: északnyugatról a Vízivároson át. Az itt

található altalaj ráadásul hasonlóan agyagos felépítésű, mint amiben az M2-es és M3-as metró egy része is halad. [7] A részletesen kidolgozott változatok ebbe az irányban haladnak.

7. VASÚTI PÁLYA TERVEZÉS

Négy fő változatot vizsgáltunk, amelyeket az elágazó állomás vágányainak száma és az elágazás szintbenisége szerint egy 2x2-es mátrix szerint lehet osztályozni a 2. táblázatnak megfelelően. A vizsgálathoz a Metró [8] – és HÉV tervezési előírásokat [9] egyaránt figyelembe vettük, amelyek közül azon esetekben, amikor azok elmentmondásba kerültek, a metró tervezési előírások voltak a mérvadóak.

Változat neve		vágányszám	
		2	3
elágazás	szintbeni	A/1	A/2
	külön szintű	B/1	B/2

2. táblázat: Kidolgozott változatok
(forrás: saját szerkesztés)

A H5-ös HÉV folyópályájához való csatlakozás mind helyszínrajzi, mind magassági értelemben azonosra terveztük mind a négy változatban. Annak érdekében, hogy a Margit hídtól északra elhelyezkedő jelenleg is havária esetén alkalmazott harmadik, kihúzóvágány, ami nem megy le a rámpán, hanem végig a felszínen marad, továbbra is megmaradjon jelenlegi helyzetében és funkciójában, annak a folyópályába becsatlakozását jelentő kitérőig a változatok a meglévő vonalvezetéshez igazodnának.

A HÉV jelenlegi keretlagútjában lévő vágányok járműtárolási lehetőségekre maradnának meg. Egy ilyen méretű flottát működtető rendszerben egy, a legforgalmasabb szakaszon igénybe vehető üzemi terület elengedhetetlen a stabil működéshez, az M3-as metrón is vannak éppen ezért vonalközi félreálló, szükségkarbantartó helyek. A keretlagút vágányaihoz való csatlakozás egy főirányban megszakításmentes kitérő biztosítaná, amely ez esetben a főirány a kitérőirány lenne. Ez a Szentendre felé tartó vágány (Dunához közelebbi) lenne, amelyről meg lehetne közelíteni a keretlagútban lévő tárolóvágányokat.

A Margit híd budai hídfő állomás beforgatva kerülne kialakításra, azonban közvetlen kapcsolata a 4-es és 6-os számú közúti vasúti vonalakkal továbbra is megmaradna. Az állomás közvetlenül azonos helyszínrajzi és magassági elhelyezkedésű lenne, a kisebb eltérések mind a keresztezés mivoltából adódnának. A felszínre az M2-es és M3-as metróvonalak belvárosi szakaszaihoz hasonlóan két lépcsőben lehetne feljutni. Először egy, a Margit körút alatt található aluljáróba érkeznének az utasok, ahonnan a különböző oldalakon elhelyezett lépcsőkkel az út bármelyik oldala, illetve a 4-es és 6-os villamosok megállóhelye is közvetlenül elérhetővé válna. Az akadálymentesítés, az aluljáróból mind az állomásra, mind az összes felszíni oldalra, beleértve a városi vasúti megálló liftekkel lenne megoldott.

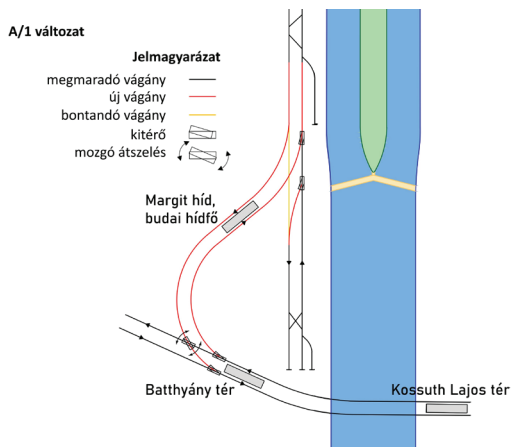
A Duna alagúton közlekedő vonatokra történő átszállási lehetőség vizsgálatának érdekében tervezett annak nyomvonalára egy nagyvasúti állomás az ahhoz tartozó metró - HÉV összekötő alagúton vizsgált állomásra és a felszínre egyaránt közvetlen kapcsolatokkal. Ezen állomás a koherencia miatt szintén „Margit híd budai hídfő”-nek lenne elnevezve, hiszen az azonosan elnevezett M2-H5 állomásra lehetne át- illetve annak környezetébe leszállni. Minden megközelítési oldalról liftekkel lenne megoldva az akadálymentesítés. Mindemellett a nagy forgalomlebonnyoló képessége miatt mozgólépcsővel lenne biztosított mind a felszínről, mind a másik állomásról való megközelíthetőség.

Mivel az egyes részletesen tervezett változatok közötti különbségek lényegében az elágazó állomásban, illetve a keresztezés milyenségében jelentkeznének, ezért az egyes vizsgált változatok bemutatásánál ezekre kerül a hangsúly.

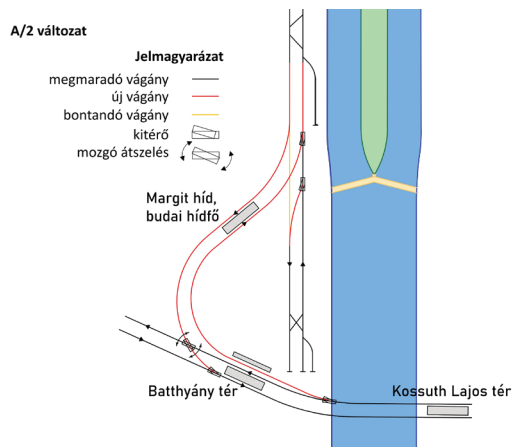
7. 1. A/1 változat

A Batthyány téri elágazó állomás megmaradna a jelenlegi állapotában, a Déli pályaudvar felé tartó és a Szentendre felől érkező vágányok egymást szintben kereszteznék egy mozgó keresztezéssel. A változat sematikus kialakítását a 9. ábra mutatja be.

A Szentendre felé és Déli pályaudvar felé tartó vágányok egy 800 1:14,3 típusú kitérővel válnának szét.



9. ábra: A/1 változat tematikus helyszínrajza
(forrás: saját szerkesztés)



10. ábra: A/2 változat tematikus helyszínrajza
(forrás: saját szerkesztés)

7. 2. A/2 változat

A szintbeni keresztezés hasonló, mint az A/1-es változatban. A Batthyány téri elágazó állomáson három vágány lenne található. A két jelenlegi mellett a harmadik északra helyezkedne egy külön ehhez, ennek északi oldalán kialakított szélsőperonnal együtt. A harmadik vágány még a Duna alatt válna ki a Déli pu. felé tartó vágányból egy 800 1:14,3 ag. típusú kitérővel, amelyet egy rövid ívet követően az állomási egyenes szakasz követne. A változat sematikus elrendezését a 10. ábra mutatja be.

A vizsgált változat előnye az A/1-essel szemben a forgalombiztonságban rejlik. Ezen elrendezés segítségével ugyanis kiküszöbölhető egy esetlegesen felmerülő forgalmi zavar, havária. A városi gyorsvasút a teljesen elszigetelt pályájának köszönhetően a legpontosabban közlekedtethető üzem. Ettől függetlenül azonban előfordulhatnak késések, nem várt események. A metró üzemeltetés egyik alapszabálya, hogy a jármű nem állhat alagútban, csak az állomáson.

Ebből adódóan, mivel a Szentendre felől érkező és a Déli pu. felé tartó vonat vágányai keresztesznék egymást, így menetrendtől függetlenül annak lenne elsőbbsége, amelyik már az alagútban van. Annak érdekében, hogy amíg a Déli pu. felé tartó szerelvény az állomáson várna, hogy a Szentendre felől érkező elhagyja a keresztezést, ne akadályozza a következő Pest felől érkező állomásra történő behaladását és ezzel torlódást okozva, az a harmadik vágányra be tudna

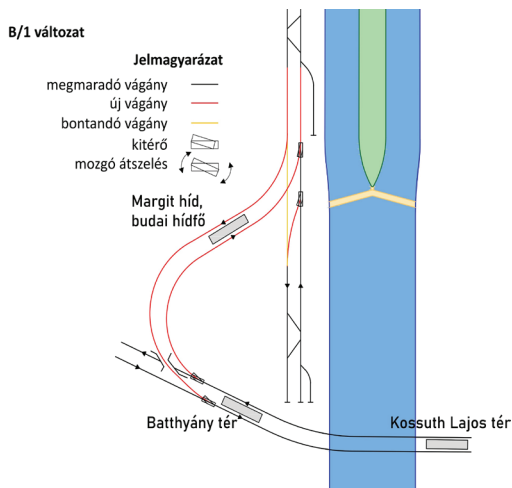
haladni. Ráadásul a menetrend kialakítása miatt a következő mindenképpen arra a vágányra kellene érkezzen, mert Szentendre felé haladna tovább. Amíg a következő azonos irányba tovább haladni szándékozó vonat megérkezne, addig a keresztezés mindenképpen felszabadulna, és el tudná hagyni az állomást a Déli pu. felé tartó jármű.

7. 3. B/1 változat

A Batthyány téri állomás megmaradna jelenlegi állapotában. Az induló oldalon az elválás megtörténne egy 800 1:14,3 típusú kitérővel. A keresztezés ebben a változatban külön szintben történné, a Szentendre felől érkező vágány elhaladna a Déli pu. felé tartó felett, így szemből érkező vonatok nem találkozhatnak. A változat sematikus elrendezését a 11. ábra mutatja.

A jelenleg hatályos metró tervezési előírások maximális 30,0%-es emelkedést engedélyeznek folyópályára, kivételes esetben (külön engedély köteles) 40,0%-est. Azon rövid szakasz, amit a Szentendre felől érkező vágány a 2-es metró feletti elhaladás és a Déli pu. felől érkező vágányba csatlakozás között tenne meg, túl rövid ahhoz, hogy akár 40,0%-es lejtéssel lehessen kivitelezni.

Ahhoz, hogy lehetséges legyen, olyan helyszínrajzi geometriát kellett volna kialakítani, ami az eredeti peremfeltételt, – az a jelenleg havária esetén használt harmadik vágányhoz vezető



11. ábra: B/1 változat tematikus helyszínrajza
(forrás: saját szerkesztés)

vágánykapcsolatig teljesen felveszi a HÉV jelenlegi vonalvezetését – nem teljesül. Ezért más megoldás lenne szükséges, ami szerint az M2-es metró Déli pályaudvar felé vezető alagútját – a kitérőt követően – meg kellene süllyeszteni mintegy 2,20 m-rel a jelenlegi magassági vonalvezetéshez képest azért, hogy a Szentendre felől érkező vágány alagútja haladhasson felette. Mindezen számításokhoz és tervezésekhez a metró jelenlegi 6,40 m széles külső átmérőjű alagúti kialakítása szolgált alapul.

7. 4. B/2 változat

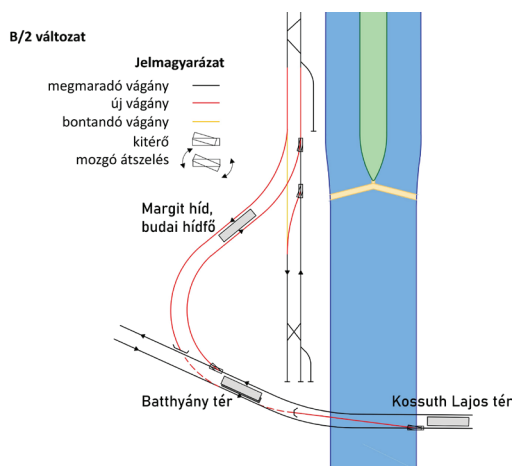
Annak érdekében, hogy a külön szintű keresztezés kialakításához ne kelljen a jelenlegi alagutakat módosítani, további vizsgálat volt szükséges.

Mi van, ha az elágazó állomáson eleve nem egy szintben lenne a két kérdéses vágány?

Akkor nem kellene arra figyelni, hogy elegendő hossz legyen a kitérő és a keresztezés között ahhoz, hogy egy bizonyos magasságkülönbséget legyőzzön, szabadabbá téve a helyszínrajzi tervezést. Már csak az a kérdés, hogy mégis a meglévő alagút felett vagy alatt érkezne a vágány az állomásra. Mivel utána a Duna alatt kellene elérnie a meglévő vágányok szintjét a Kossuth Lajos téri állomás előtt. Így a meglévő alatt érkezne az állomásra. A változat tematikus helyszínrajzát a 12. ábra mutatja be.

A Szentendre felé tartó vágány a többi változathoz hasonlóan egy egyszerű átmenőköríves 800-as kitérővel válna ki a meglévő pályából. Az onnan érkező a Margit híd, budai hídfő állomást követően intenzív (36,3%) süllyedést követően haladna át a Déli pu. felé tartó, majd afelel érkező vágányok alatt.

A magassági vonalvezetés tervezésekor cél volt a megengedett emelkedések és magassági lekerítő sugarak optimalizálása. Ugyanis, ha az egyik kedvezőbb értéket vesz fel, az a másikat negatívan befolyásolja. Ez általánosságban igaz az összes vizsgált változat mindegyik vágányára.



12. ábra: B/2 változat tematikus helyszínrajza
(forrás: saját szerkesztés)

8. KIVÁLASZTOTT VÁLTOZAT

A négy vizsgált változat közül egy preferencia értékelési rendszerrel került kiválasztásra a legkedvezőbb megoldást, ami figyelembe vett összesen 21 paramétert, amelyek 14 szempontot alkottak és négy kategóriába sorolhatóak:

- pályatervezési paraméterek,
- építési és költségtényezők,
- pályafenntartási szempontok,
- forgalmi szempontok.

Minden paraméter kapott egy objektív pontot, ami vagy egy konkrétan mérhető műszaki érték vagy egy építőmérnöki, közlekedésüzemeltetői vagy -szervezői szakértő által meghatározott pont.

A 21 figyelembe vett szempont a következő:

- peronok kiüríthetősége, megközelíthetősége,
- újonnan tervezett állomás(ok) közlekedési kapcsolatainak jósága,
- állomási elrendezés bonyolultsága,
- függőleges vonalvezetés,
- szakaszok határérték közeli oldalgyorsulás / oldalgyorsulás-változás értékei,
- új kéregvezetésű és mélyvezetésű alagút hossza,
- új vágányok hossza,
- M2 metró folyópálya módosítása,
- H5 HÉV folyópálya módosítása,
- építési technológia bonyolultsága,
- Batthyány téri állomás módosítása,
- új kitérők $V=40\text{km/h}$,
- új kitérők $V=60\text{km/h}$,
- új kitérők $V=80\text{km/h}$,
- kitérők száma,
- átszelési kitérők száma,
- átszelések száma,
- zavarérzékenység,
- jövőbeli kapacitásbővítés lehetősége,
- akadálymentesíthetőség,
- tartalékszerelvények forgalomba állításának hatékonysága a vonali tároló vágányokról.

Az egyes paraméterek súlyozásait egy preferencia-mátrix segítségével határoztuk meg személynként, amelyek átlaga adta a felhasznált súlyokat. Az így meghatározott szorzókkal kialakított súlyozott pontok összegeként adódott az egyes változatok végleges pontszáma. A pontozásnak egy részletét mutatja be a 3. táblázat.

	A/2 változat	A/2 változat	B/1 változat	B/2 változat
szempont	súlyozott pt.	súlyozott pt.	súlyozott pt.	súlyozott pt.
I.	1,45	1,70	1,53	1,28
II.	0,00	-0,10	-0,10	-0,49
III.	1,48	1,28	1,43	0,79
...
VIII.	0,00	-0,43	0,00	-0,86
IX.	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
Végeredmény	1,56	2,84	2,59	-0,42

3. táblázat: Súlyozott pontszámok
(forrás: saját szerkesztés)

A pontozás alapján az A/2, azaz a háromvágányú elágazó állomással és szintbeni keresztezéssel vizsgált változat a legkedvezőbb.

9. KÖLTSÉG-HASZON ELEMZÉS

A kutatás teljessége érdekében készült egy gazdasági megtérülési analízis.

A költségeket meg kell határozni, hogy miből származnak. Vannak az egyszerű, építési, illetve a folytonos, üzemeltetési költségek. Mindkettőnek nagyon nehéz volt a becslése. Az egyes építési és üzemeltetési költségtényezők a műszaki tervezést követően, azok alapján képzett menynyiségek alapján állapítottuk meg.

A haszon részen már azt is nehezebb meghatározni, hogy miből származik. Közlekedési projektutatról lévén szó a fő hasznót a megtakarított idő teszi ki [10], amit további társadalmi hasznok egészítenek ki.

Ezeket felül elkészült a vizsgálat arra az esetre is, ha összekötésre kerülne a Duna alagúttal egy – egységesen Margit híd, budai hídfőnek elnevezett – állomáson. Ehhez a költség oldalon szükséges volt megtervezni a Duna alagútra egy köztes állomást, annak közvetlen összekötését mind a kutatott M2-H5 összekötésen létesített megállóval, mind a felszínnel.

Az üzemeltetési költséggel ezen átszállási lehetőség biztosításához nem volt szükséges külön számolni, mert az alagút ettől függetlenül épülne és járnának rajta vonatok, így nem az átszállási lehetőség kiépítésével keletkeznének többlet üzemeltetési költségek.

A haszon oldalán – a 7. ábrán is látható – átszállásokkal megspórolt utazási idő lenne a fő forrás, mely figyelembe lett véve.

Mind az üzemeltetési költségek, mind a megtakarított idők tekintetében 30 éves távlati megtérülési határidő került a számításokba, amelyek összefoglalóját a 4. táblázat mutatja be.

Ahogy a táblázatból megállapítható, a projekt 30 éves időtávon megtérülő. A Duna alagútra való átszállási lehetőség kiépítése önmagában nem számítana annak, azonban, ha a két projekt egyszerre együtt kerülne megépítésre, akkor ebben az időtávban továbbra is megtérülőnek számítana. A Duna alagútra való átszállási lehetőség egyébként 50 év elteltével már önmagában is megtérülőnek bizonyul. Fontos megjegyezni, hogy több helyen is erős közelítéseket alkalmaztunk. Mindemellett a Duna alagút és a

projekt	Költség [Mrd Ft]		Haszon [Mrd Ft]		Távlat (30 év) [Mrd Ft]	CBR (30 év)
	bekerülés	üzem	időmegtakarítás	új utasok		
Összekötés (Duna alagút átszállás nélkül)	101,82	130,94	184,81	151,08	+103,13	1,443
Duna alagút átszállás	48,47	0,00	3,77	21,09	-23,61	0,513

4. táblázat: A projekt költség-haszon elemzésének összefoglalója (forrás: saját szerkesztés)

vizsgált összekötés következtében olyan utazási szokások alakulhatnak ki, amelyek jelenleg még teljesen elképzelhetetlennek tűnnek, továbbá a megtérülésszámítástól függetlenül a tömegközlekedési hálózat felépítési logikája megkövetelné két ilyen térségi, országos jelentőségű, nagykapacitású gerincvonal közötti átszállás lehetőségét.

10. ÖSSZEFOGLALÁS

Az M2-es metró és H5-ös HÉV összekötési lehetőségeinek vizsgálata egy komplex feladat, amit sok szempontból kellett megvizsgálni annak érdekében, hogy megalapozott konklúziót lehessen levonni a kutatás eredményességével kapcsolatban.

A helyszíni utazási igényfelmérést követően kiderült, hogy van értelme foglalkozni a témával, amelyet aztán a szoftveres forgalmi szimulációk is megerősítettek, mi szerint az új rendszerrel sokak számára vonzóbbá válna a viszonylat napi használata.

A téma aktualitását adja az is, hogy az M5-ös metró valamennyi vizsgált nyomvonal-változata a mai metróvonalakkal érdemi funkcionális párhuzamosságot létesít, ezáltal meglévő vonalak hatékonyságát rontaná, emellett a Batthyány téri elágaztatás esetén sem az M2-es metró budai szakasza, sem a H5-ös vonal Szentlélek tér – Batthyány tér között meglévő szakasza nem válna fölöslegessé.

A menetrend tervezése során kiderült, hogy létre lehetne hozni egy olyan ütemes menetendet, amely egyaránt kielégíti az agglomeráció és a belvárosi utazási igényeket.

A műszaki tervezés folyamán négy változatot vizsgáltunk, amelyek mind valamilyen kompromisszummal oldanak meg a feladatot. Ezeket egy preferencia értékelési rendszerrel pontoztuk. Ez által a legjobb változat megállapításra került.

A gazdasági elemzésből kiderült, hogy a projekt a hosszútávú társadalmi hasznoknak köszönhetően megtérülő.

Amennyiben a két üzem közti jelenleg meglévő különbségeket össze lehet egyeztetni, akkor maga az összekötő műtárgy mind műszaki, forgalmi és gazdasági szempontokból is lehetővé tenné a két viszonylat összekötését.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Solymosi Krisztián (2024) szakdolgozata: Az M2 metró és a H5 Szentendrei HÉV összekötés megvalósítási lehetőségeinek vizsgálata
- [2] VMB NHVR (Nem Hagyományos Vasúti Rendszerek) Albizottság (2022) HÉV Vasúti Infrastruktúra Tervezési Szabályzat
- [3] M2 metró és H8-H9 HÉV összekötése Főmterv, <https://www.fomterv.hu/hu/node/215>
- [4] Schulek, J. (2021) A Duna Alagút Infrastruktúrája. Prezentáció
- [5] Dammers, N. (2018) The Effect of Interoperability on the Performance of an Urban Rail System
- [6] Dorner, L. (2018) A 2-es metró és a gödöllői HÉV összekötése. prezentáció, BKK, Eger, 2018. november 14
- [7] Dr. Vinkó, Á (2023) Földalatti gyorsvasutak II. - budapesti 2-, 3-, 4-es metró üzem műszaki jellemzői, PowerPoint prezentáció, BMEEOUVA-E5, Települési közlekedés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
- [8] Budapesti Közlekedési Zártkörűen Működő Részvénytársaság (2008) Metró Pályaépítési és fenntartási műszaki adatok, előírások
- [9] Budapesti Közlekedési Részvénytársaság (2004) HÉV Pályaépítési és fenntartási műszaki adatok, előírások

- [10] de Rus, G., Socorro, M. P., Valido, J., Campos, J. (2022) Cost-benefit analysis of transport projects: Theoretical framework and practical rules, *Transport Policy*, 123, pp. 25-39. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.04.008>



Feasibility study on the interconnection of metro line M2 and suburban railway line H5 in Budapest

Keywords: hybrid system, urban and suburban rapid transit, intermobility, cost-benefit analysis, timetable planning, traffic simulation, travel demand survey, railway infrastructure planning

The project intended to determine the demand and technical feasibility for the connection of the two lines. After a preliminary traffic demand assessment and simulation runs, a complex timetable for the Stadtbahn-like lines consisting of a total of 4 branches was designed, assuming that the connection of metro line M2 and suburban railway lines H8 and H9 at Örs vezér square is already implemented. The technically compromised solution becomes easier to implement with the new HÉV technical specifications. The project is economically profitable.



A közlekedési hálózati érzékenység kutatásának alakulása és a kritikus elemek sérülékenységének vizsgálata – szakirodalmi áttekintés

Gosztola Anett^{1,*} – Horváth Balázs²

¹forgalmi modellező, RelativeGAP Hungary Kft., Ildikó utca 33., 1115 Budapest

²tanszékvezető, Széchenyi István Egyetem, Egyetem tér 1., 9026 Győr

*felelős szerző

e-mail: anett.gosztola@relativegap.com, hbalazs@sze.hu

Absztrakt

A közlekedési hálózatok érzékenysége kulcskérdés a stratégiai tervezés és havariahelyzetek kezelése szempontjából. A tanulmány bibliometriai elemzést végezve tárja fel a kutatási irányokat, módszertani trendeket és azok időbeli változását. A szakirodalom hálózattudományi és egyéb megközelítéseket is bemutat, rávilágítva a részletes, integrált modellek és valóságghű hálózati értékelések szükségességére.

Kulcsszavak: forgalmi modellezés, hálózatérzékenység, hálózattudomány, közlekedési hálózat

DOI:<https://doi.org/10.24228/KTSZ.2025.6.5>

1. BEVEZETÉS

A közlekedési hálózatok érzékenységének vizsgálata napjaink egyik kiemelten fontos kutatási területévé vált, különösen a modern, egyre összetettebb városi rendszerek tervezése során. A hálózatok sérülékenységének ismerete kulcszerepet játszik a stratégiai közlekedésmodellezésben, valamint abban, hogy a későbbiekben elkerülhetők legyenek a súlyos következményekkel járó hálózati zavarok. Akár véletlenszerű meghibásodás, természeti katasztrófa vagy szándékos támadás következik be, a kritikus hálózati elemek működési zavara jelentősen befolyásolhatja a közlekedés biztonságát, az elérhetőséget és a mobilitást.

A kritikus pontok azonosítása ezért elengedhetetlen a robusztus és rugalmas infrastruktúrák kialakításához. A közlekedési hálózatok

érzékenységének elemzésére számos módszertani megközelítés létezik, amelyek különféle paramétereken alapulnak, gyakran egyszerűsített hálózati modellekre építve. Ugyanakkor az iparági és a tudományos igények egyre inkább részletes, integrált modellezési megoldásokat követelnek, amelyek képesek egyidejűleg kezelni a makroszintű (stratégiai) és mikroszintű (részletes) jellemzőket is.

A jelen tanulmány célja, hogy átfogó szakirodalmi áttekintés segítségével rendszerezze a közlekedési hálózati érzékenységgel kapcsolatos eddigi kutatási eredményeket, módszertanokat és megfigyeléseket. Ennek érdekében a publikációk elemzése két fő megközelítés szerint történt: egyrészt a hálózattudományi alapú, másrészt az attól eltérő, alternatív módszertanokat alkalmazó tanulmányok kerültek vizsgálatra. A bibliometriai elemzés eszközeként a

VOSviewer programot használtuk, amely lehetővé tette a társzerzőségi kapcsolatok, idézési mintázatok és kulcsszókészletek feltérképezését. Ezek az elemzések hozzájárultak a kutatási klaszterek, a meghatározó szerzők és az alulvizsgált tématerületek azonosításához is.

A feltárt eredmények együttesen rámutatnak arra, hogy a közlekedési hálózatok érzékenységének pontosabb, valóságghű értékeléséhez újfajta modellezési keretrendszerekre és útvonalválasztási algoritmusokra van szükség. Ezek a fejlesztések nemcsak a mindennapi forgalmi helyzetekben, hanem vészhelyzeti szcenáriók esetén is kulcsfontosságúak lehetnek a gyenge pontok felismerésében és a hatékony beavatkozások tervezésében. A cikk nem tartalmaz emberi döntéseken alapuló cselekményekkel kapcsolatos iratokat. Sokszor a balaseti szituációk az igény megváltozásához vezetnek, azonban a jelenleg feldolgozott irodalmak a kerülőutak megválasztásával és a hálózat elemzésével foglalkoznak. A tudományos publikációk gyűjtése 2024 decemberében zárult le.

2. TEMATIKUS KLASZTEREZÉS

Az utóbbi években jelentős növekedés tapasztalható a közlekedési hálózatok érzékenységével foglalkozó kutatások számában, ami jól jelzi a téma fokozódó szakmai jelentőségét. A meglévő szakirodalom különböző szempontok szerint csoportosítható, például a kutatási célkitűzések vagy az alkalmazott módszertani keretek alapján. Az elmúlt 5-10 év releváns publikációinak áttekintése után azonban egy hasznosabb osztályozás körvonalazódott: az elemzési megközelítés jellege alapján két fő kategória azonosítható:

- hálózattudományi megközelítések,
- nem hálózattudományi megközelítések.

Ez a megkülönböztetés indokoltnak bizonyult, mivel a hálózattudományon alapuló tanulmányok módszertana és alkalmazott paramétereire jellemzően konzisztensebbek és szemléletükben egységesebbek. Ezzel szemben a másik csoportba tartozó kutatásokban a módszerek nagyobb szórást mutatnak, így a paraméterek egységes rendszerezése nehezebb.

Látványos fellendülés történt a témában 2020 és 2021 során. Ezt több tanulmány is a hálózattudomány közlekedési modellezésen belül

térnyerésének fordulópontjaként azonosítja. Az alábbi alfejezetek részletesen bemutatják az e felosztás alapján nyert eredményeket (2.1 és 2.2).

A vizsgált publikációkat tovább rendeztük aszerint is, hogy milyen közlekedési mód hálózatát vizsgálták (pl. közúti, vasúti, légi). Az alkalmazott módszereket egymás mellett hasonlítjuk össze az 1. táblázatban. Fontos megjegyezni, hogy az elemzések nem mindig kötődnek konkrét közlekedési módhoz, néhány bemutatott módszertan általánosan is alkalmazható bármely hálózattípusra.

Vizsgált közlekedési mód	Hálózattudományi megközelítés	Nem hálózattudományi megközelítés
Közúti közlekedés	3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20	23, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 38, 41, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52
Légi közlekedés	-	25, 28, 51
Vasúti közlekedés	7, 8	51
Független közlekedés (általánosan)	2	24, 37, 40, 42, 44
Logisztikai hálózat	1	21, 22
Egyéb hálózat	9, 11, 13, 14	33, 39

1. táblázat: A vizsgált szakirodalom összefoglalása és csoportosítása (forrás: saját szerkesztés)

2. 1. 1-es csoport – Hálózattudományi megközelítések

A hálózattudományi szemléletű kutatások több alcsoportba sorolhatók. Az első tanulmány (Wen et al., 2022) például logisztikai hálózatok sérülékenységét vizsgálta három mutató alkalmazásával: szomszédság-alapú, gravitációs és iteratív finomítású centralitás. A módszert tengeri kikötők hálózatán alkalmazták, és az eredmények alapján jól azonosíthatók voltak a kiemelt szerepű csomópontok. A megközelítés közlekedési alágazat független, mivel kizárólag a hálózati kapcsolatokra épül.

A következő szakirodalmi áttekintés (Sugishita and Asakura, 2021) hat fő megállapítást fogalmazott meg a komplex hálózatok témakörében, kiemelve, hogy a közlekedési hálózatok és a komplex hálózatelmélet közötti kapcsolat még mindig alulreprezentált. Egy másik, rezilienciát

vizsgáló összefoglaló (Serdar et al., 2022) különböző indikátorokat és értékelési módszereket vetett össze.

Több tanulmány a kínai úthálózatokat vizsgálta szándékos támadások esetén (Liu et al., 2020), csomóponti centralitás alapján, és paraméterpárok közötti korrelációkat is feltárva. Megállapították, hogy a biztonsági elemzések továbbra is nagyban a mikroszintű tényezőkre koncentrálnak (Collins et al., 2018).

A városi közlekedési rendszereket szintén hálózattudományi eszközökkel vizsgálták (Chen and Lu, 2020), korábbi kutatások által bevezetett mutatókat alkalmazva (Sugishita and Asakura, 2021), (Liu et al., 2017), (Zhang et al., 2018), (Wang et al., 2017). Több tanulmány gráfelméleti alapokra építve elemezte a hálózati érzékenységet.

A közösségi közlekedés hálózatainak robusztusságát külön vizsgálták (Auerbach and Kim, 2022). Megállapították, hogy a hagyományos robusztussági mutatók nem megfelelőek olyan hálózatokra, ahol több kapcsolat is fennáll két csomópont között, ezért új robusztussági indexet vezettek be. Korábbi kutatások (Auerbach and Kim, 2021) az optimális hálózati kapcsolódás lehetőségeit vizsgálták, de megjegyezték, hogy a meglévő hálózatok újratervezése általában nehezen kivitelezhető.

A következő tanulmány (Leng et al., 2018) egy általános utazási költségmodellt alkalmazott, amely figyelembe vette az üzemeltetési költségeket, menetidőt és a használói kényelmet is. A hálózat érzékenységet a forgalmi egyensúlyi állapotból számított hatékonysági index alapján értékelték. Továbbá elemezték a csökkentett kapacitás, az útszakasz jellemzők és a térbeli elhelyezkedés hatását.

A hálózattudományi irodalomban gyakran hivatkoznak Barabási Albert (Barabasi and Albert, 1999), (Barabasi, Albert-Laszlo, n. d.) úttörő munkáira, amelyek a hálózatelmélet területén nyújtott hozzájárulásai révén széles körben elterjedté váltak a közlekedési kutatásokban is.

Egy másik tanulmány (Piraveenan and Saripada, 2023) új centralitásmutatót (az „All-Path centrality”-t) vezetett be, amely nemcsak a leg-rövidebb útvonalakat veszi figyelembe, hanem a teljes útvonalstruktúrát is.

Természeti katasztrófák esetén (Mahajan and Kim, 2020) azonosítottak megerősítendő kritikus infrastruktúra-elemeket, többféle jellemző alapján. Hasonló megközelítést alkalmaztak más kutatások is (Wu et al., 2021).

Malajziában az úthálózatot vizsgálták baleseti scenáriók mentén (Redzuan et al., 2022), ahol két indexet alkalmaztak: a sérülékenységi indexet (az alternatív útvonalak elérhetősége alapján) és a „támogató sérülékenységet” (amely egy szakasz terelési fontosságát mutatja). A modell főútvonalakra koncentrált, és Dijkstra-algoritmust, valamint átmeneti centralitást használt a számítások során.

Friss kutatások számítási szempontból hatékonyabb modellezési eljárásokat is javasoltak hálózatok elemzéséhez (Huang et al., 2024), (Liu et al., 2024), amelyek részletesebb eredményeket adnak anélkül, hogy túlzott számítási igényt jelentenének.

A hálózattudományi irodalomban leggyakrabban előforduló mutatók a csomóponti centralitás és az átmeneti (betweenness) centralitás, amelyek kulcsszerepet játszanak a kritikus hálózati elemek azonosításában.

2. 2. 2-es csoport – Nem hálózattudományi megközelítések

A közlekedési hálózatok érzékenységevel kapcsolatos kutatások jelentős része nem épül kifejezetten hálózattudományi keretrendszerre. Ezekben a tanulmányokban általában különböző mutatószámokat alkalmaznak, és esettanulmányokon keresztül próbálják meghatározni, hogy mely tényezők befolyásolják leginkább a hálózatok sérülékenységét.

Egyes kutatások például logisztikai hálózatok sebezhetőségét értékelték (Lu et al., 2021), mezoszintű módszertannal, amely az útszakaszok különböző infrastrukturális jellemzőin alapult. Ezen módszerek azonban nem kapcsolódnak közvetlenül a makroszintű forgalmi modellezéshez. Egy másik tanulmány saját fejlesztésű mutatót vezetett be a logisztikai hálózatok érzékenységének értékelésére (Wei et al., 2024).

Egy újabb kutatás két rétegű analitikai keretet alkalmazott a hálózati vizsgálatokhoz (Sugiura and Chen, 2021), azonban a mezoszint és a makroszint között nem volt tényleges kapcsolat.

A tanulmány elsősorban a forgalmi csomópontokra koncentrált, a kisebb utak figyelmen kívül hagyásával. Rávilágított a kapacitás és kereslet közötti arány hálózati hatásaira.

Egy másik tanulmány három fő fogalom (megbízhatóság, sérülékenység, ellenállóképesség) összevetésére vállalkozott (Gu et al., 2020). Megállapításuk szerint ezek a koncepciók nem feltétlenül vezethetők le egymásból, mivel a hálózat teljesítményének eltérő aspektusait ragadják meg.

Zhou (Zhou et al., 2021) a légi közlekedési hálózatok sérülékenységét vizsgálta a COVID-19 járvány példáján keresztül. Bár a járvány már elmúlt, jól mutatja, hogyan képes egy váratlan krízis átalakítani a közlekedési rendszereket. A kutatás új módszert vezetett be a repülőtéri kapcsolatok és kapacitásváltozások hatásainak értékelésére. Érdekesség, hogy bár a hálózattudomány kifejezetten nem szerepel a cikkben, a módszertan Barabási elvein alapul.

Természeti katasztrófákra felkészülve egy döntéstámogató eszközt is kidolgoztak (Ulak et al., 2022), amely a hálózat elemeit területhasználati adatok alapján súlyozza. Ezek az adatok a stratégiai modellekben is fontos szerepet játszanak a kereslet és vonzóképeség becslésénél. A vizsgálat során egyszerűsített hálózati struktúrákat alkalmaztak.

Egy másik kutatás az ismeretlen hibák elleni reziliencia (rugalmasság) növelését, valamint az utazási idő csökkentését tűzte ki célul (Rahdar et al., 2022). Háromlépcsős módszert javasoltak: először az optimális forgalomelosztást határozták meg, ezt követte a reziliencia értékelése, majd egy algoritmus segítségével azonosították a szükséges fejlesztéseket.

Légi közlekedési hálózatok ellenállóképességét négy esettanulmány segítségével elemezték (Malandri et al., 2023). A szerzők hangsúlyozták, hogy minden típusú zavar egyedi kezelést igényel, és nem érdemes általánosítani. A zavar időtartama és a hálózat érzékenysége közötti szoros összefüggést is kimutatták.

Egy városi úthálózat elemzése során az ArcGIS Desktop „Networkkrisk” modulját alkalmazták (Toma-Danila et al., 2020). Bár a modul fejlesztés alatt áll, már most is szabadon használható különféle esetek elemzésére. További kutatások

a hálózat egyes szakaszait a korábban bekövetkezett zavarok alapján rangsorolták (Ansari Esfeh et al., 2022), sok esetben térképes megjelenítéssel (Taylor and Susilawati, 2012), (Engidaw and Terdik, 2024).

A hálózati zavarok gazdasági következményeit Kurth vizsgálta (Kurth et al., 2020). A reziliencia mennyiségi értékelése többféleképpen is történhet, és több tényezőtől függ (Ganin et al., 2017), például az egészségügyi intézményekhez való közelségtől (Melkote and Daskin, 2001). A bal esetek költségeivel és a veszélyes helyzetek súlyosságával több tanulmány is foglalkozott (Ötvös and Török, 2024), (Holló and Sipos, 2020).

Egy újszerű megközelítés GPS-adatok alapján értékelte a közlekedési hálózat rezilienciáját, a New York-i taxik átlagos utazási idejének eltéréseiből kiindulva (Donovan and Work, 2017).

Fontos megjegyezni, hogy a hálózati reziliencia nem csupán a közlekedésben releváns, hanem például az ellátási láncok tervezésében is (Heckmann et al., 2015). Több korábbi kutatás közlekedési modelleket alkalmazott a reziliencia vizsgálatára (Mattsson and Jenelius, 2015), és megállapították, hogy az előrejelző komponensek javítják a modellezés pontosságát (He and Liu, 2012). A PAC-modell hasznos eszköznek bizonyult a kritikus kapcsolatok azonosításában (Timothy C. Matisziw and Alan T. Murray, 2009). További példák találhatók a robusztusság és reziliencia mérésére szolgáló indikátorok alkalmazására is (Cui et al., 2024), (Zhou et al., 2019).

A hidak és alagutak gyakran szűk keresztmetszetként jelennek meg a vizsgálatokban, de a nyomtáv is kulcsszerepet játszik a hálózat érzékenységének meghatározásában (Sventekova et al., 2021), (Urbanová and Sventeková, 2019). Ezzel szemben azok az urbánus hálózatok, amelyek jól elhelyezett és könnyen elérhető csomópontokkal rendelkeznek, jellemzően kevésbé sérülékenyek (Reggiani, 2022), (Buzna et al., 2006).

Számos tanulmány tér ki a már túlterhelt hálózatok kapacitásproblémáira is (Jiang et al., 2022), amelyekre a kritikus események további nyomást helyeznek. Egyre több kutatás célja, hogy a reziliencia alapú gondolkodást beépítse az infrastruktúra-fejlesztési stratégiákba (Lee et al., 2022).

A csomópontok elhelyezésének optimalizálása szintén a veszteségek mérséklését szolgálhatja (Cui et al., 2022), és a jövőbeni kutatások szempontjából is ígéretes irány. Több esettanulmány is alátámasztja, hogy a rosszul tervezett vagy túlterhelt csomópontok jelentős negatív hatással lehetnek a hálózat egészére (Farooq et al., 2024).

3. ÖSSZEHASONLÍTÁS

A 2. táblázat a feldolgozott szakirodalom egy szűkebb körének összehasonlítását tartalmazza az alábbi szempontok szerint: a vizsgált téma közlekedési szektoron belüli elhelyezkedése, az elemzett eseménytípusok (pl. balesetek, meghibásodások, támadások), valamint a vizsgálatok célkitűzései. A szűkítés a felsorolt szempontok alapján történt, ezeknek az irodalmaknak a tartalma sok információt tartalmaz a kutatáshoz szükséges kérdésekhez.

A kritikus városi útszakaszok azonosításához a következő hálózati jellemzők és azok értelmezése szolgált alapul:

(betweenness) centralitás, amelyek a csomópontok szerepét eltérő szempontból értékelik.

- **Kapacitás–terhelés aránya:** Egy útszakasz maximális áteresztőképességét (ideális körülmények között) veti össze az aktuális vagy becsült forgalmi terheléssel. Ha ez az arány 1-hez közeli vagy annál magasabb, az torlódásra utal.
- **Forgalom nagysága:** Egy adott útszakaszon meghatározott idő alatt áthaladó járművek száma, jellemzően jármű/óra vagy jármű/nap egységben kifejezve.
- **Alternatív útvonalak száma egy lezárt szakasz két végpontja között:** Azt mutatja meg, hogy hány eltérő kerülőút áll rendelkezésre, ha az elsődleges útvonal elérhetlenné válik. Ez a hálózat redundanciájának és rugalmasságának fontos mutatója.

A két megközelítés rövid összefoglalásából is kitűnik, hogy a hálózattudományi szemlélet esetén az alkalmazott jellemzők és hálózati paraméterek jóval egységesebbek, kisebb szórást mutatnak. Ez különösen igaz a csomóponti centralitásra, amely szinte minden vizsgálatban

Hivatkozás száma	Közlekedési mód	Hálózat sérülés típusa	Döntés-támogatás?	Hálózattudomány megemlítése?
1	Független, minden közlekedési módhoz	-	-	Igen
21	Közúti közlekedés	-	-	-
24	Független, minden közlekedési módhoz	-	-	-
2	-	-	-	Igen (összetett hálózat)
4	Közúti közlekedés	Tervezett támadás	Igen	Igen
6	Független, minden közlekedési módhoz	Többféle támadási módszer (természeti katasztrófa, direkt támadás, véletlenszerű meghibásodások)	Igen	Igen (összetett hálózat)
25	Légi közlekedés	Járvány	-	-
23	-	Havária	Igen	-
26	Közúti közlekedés	Természeti katasztrófák	Igen	-
10	Tömegközlekedés	-	Igen	Igen
16	Közúti közlekedés	Természeti katasztrófák (erdőtűzek)	Igen	-
18	Közúti közlekedés (cask főutak)	Balesetek, természeti katasztrófák	Igen	-
27	Közúti közlekedés (cask főutak)	Bizonytalan zavarok elleni ellenálló képesség	Igen	-
28	Légi közlekedés	Zavaró események	Igen	-
29	Közúti közlekedés	Természeti katasztrófák, hazard esetek	Igen	-

2. táblázat: A hálózati tudományon alapuló irodalmak összehasonlítása (forrás: saját szerkesztés)

- **Csomóponti centralitás:** A hálózat egyes csomópontjainak fontosságát méri. Ide tartozik többek között a foksám-centralitás, a közelségi centralitás és az átmeneti kulcsszerepet kapott. Ezzel szemben a nem hálózattudományi megközelítések jóval változatosabb jellemzőket alkalmaznak, sokkal kevésbé egységes módon.

Ezekben a tanulmányokban gyakran a forgalom nagysága, a kapacitáshoz viszonyított arány, valamint az alternatív útvonalak száma szolgál alapul a kritikus elemek értékeléséhez. A táblázatból az is kiderül, hogy a mikroszintű jellemzők csak néhány publikációban jelennek meg, alkalmazásuk inkább ritka, és a makroszintű tényezők dominálnak. Néhány helyen említést nyer, hogy a stratégiai modellekben a mikroszintű jellemzők is fontos szerepet játszanak, de ezek többnyire csak említés szintjén vagy kétszintű megközelítés keretében jelennek meg, ugyanakkor a két szint közötti visszacsatolás egyik publikációban sem szerepel.

Az áttekintett tanulmányok közül több nemcsak a kritikus elemek azonosítására törekedett, hanem a hálózatra gyakorolt negatív hatásokat is számszerűsítette. Ilyen paraméter volt például a késések mértéke, a torlódások intenzitása vagy az alapvető fontosságú helyszínek (pl. kórházak) elérhetőségének romlása. Több tanulmányban közlekedési modellek is szerepet kaptak az értékelések során.

4. VIZUALIZÁCIÓ ÉS ELEMZÉS

Ahogy a közlekedési hálózatok érzékenységeinek kutatása továbbfejlődik, egyre fontosabb megérteni, hogyan változnak a kutatási trendek az új kihívások, technológiák és társadalmi igények hatására. A bibliometriai vizualizációs eszközök (mint például a VOSviewer) hasznos betekintést nyújtanak a tudományos diskurzus alakulásába, különösen a kulcsszavak előfordulási gyakoriságának és együtt-megjelenésének térképezésével.

Ebben a kontextusban a sűrűségi ábrák intuitív módon jelenítik meg, hogy egy adott kutatási korpuszon belül mely témák kerülnek előtérbe. E fejezet két ilyen ábrát elemez, amelyek a Web of Science adatbázisából származnak: az egyik 2021-es publikációk alapján készült, a másik pedig a legfrissebb, 2023 és 2025 közötti cikkeket dolgozza fel. A kulcsszókép összehasonlítása lehetővé teszi, hogy azonosítsuk az alapvető fogalmak folytonosságát, valamint az új kutatási irányok, módszerek és problématerületek megjelenését, különösen a digitalizáció, reziliencia és környezeti fenntarthatóság témáiban.

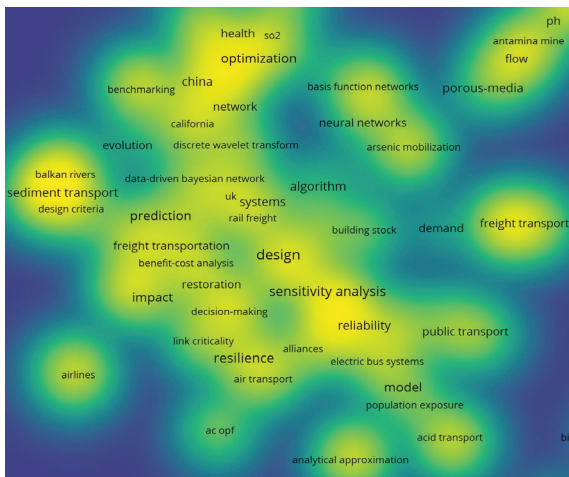
A következő elemzés először külön-külön tárgyalja a két ábrát, majd összehasonlító értékeléssel mutatja be a kutatási terület közelmúltbeli alakulását.

4. 1. Kulcsszóelemzés

A 2021-es kulcsszótérkép változatos tematikai képet mutat, ahol a „sensitivity analysis”, „resilience”, „reliability”, „design”, „model”, „impact” és „transport” kifejezések köré szerveződnek klaszterek, amely látható az 1. ábrán. Ez az év azért került kiválasztásra, mert a hálózati érzékenység és a hálózattudomány kutatásának egyik csúcspontja volt. Számos olyan tanulmány jelent meg ebben az időszakban, amely meghatározó fogalmakat és módszertani alapokat fektetett le, amelyek a mai napig hatással vannak a szakterületre.

Jellemző továbbá, hogy ebben az időszakban gyakran felbukkannak mezoszintű és makroszintű modellezési megközelítésekhez kapcsolódó kulcsszavak, például „prediction”, „optimisation”, „algorithm” és „public transport”. A „flow”, „networks” és „freight transport” típusú kifejezések pedig a közlekedés hálózati alapmodelljei és a logisztikai rendszerek iránti gyakorlati érdeklődést tükrözik.

Emellett olyan kifejezések is megjelennek, mint „airlines”, „health”, „restoration”, „decision-making” és „population exposure”, amelyek



1. ábra: : A közlekedési hálózatok érzékenységével kapcsolatos kulcsszavak sűrűségi térképe – 2021 (VOSviewer) (forrás: saját szerkesztés)

- hálózattudományi alapú megközelítések,
- nem hálózattudományi, alternatív értékelési módszerek.

Az első csoport esetében a tanulmányok jellemzően hasonló elemzési szempontokat alkalmaztak, például csomóponti centralitást, átmeneti centralitást, illetve más hálózati paramétereket. A második csoportba tartozó vizsgálatok ezzel szemben jóval nagyobb változatosságot mutattak a választott mutatók és módszerek terén. A két megközelítés összevetéséből kirajzolódik egy olyan jellemzőkészlet, amely különösen alkalmas lehet városi úthálózatok kritikus elemeinek azonosítására.

Az irodalom alapján két fontos következtetés fogalmazható meg:

- A hálózati érzékenység vizsgálatokor a makroszintű és topológiai jellemzők mellett a mikroszintű tényezők figyelembevétele is elengedhetetlen.
- Részletes és pontos modellezés szükséges ahhoz, hogy egy kritikus hálózati elem meghibásodásának hatása kvantitatív módon is értékelhető legyen.

Ez a két megállapítás szorosan összefügg: a legtöbb tanulmány olyan hálózatokat vizsgált, ahol a részletesség csökkentése érdekében egyszerűsítések történtek, például a lakóutcák kihagyása. Ennek oka elsősorban a városi modellek számítási igénye. Ugyanakkor a közlekedési modellezéssel szembeni elvárások ma már az ellenkező irányba mutatnak: egyre nagyobb az igény arra, hogy a legkisebb zavarok, beavatkozások hatásai is előre jelezhetőek legyenek. Az iparági szereplők részéről egyre fokozottabb az igény olyan modellek iránt, amelyek nagy felbontású adatokra és komplex algoritmusokra épülnek. Ez a tendencia azt indokolja, hogy a mikroszintű jellemzők beemelése elkerülhetetlenné válik.

Emellett kulcsfontosságú, hogy képesek legyünk kvantifikálni egy-egy kritikus elem kiesésének vagy eltávolításának hálózati költségét. Ennek érdekében több tanulmány stratégiai forgalmi modelleket használt a forgalmi viselkedés feltérképezésére, különös tekintettel a terelő útvonalakra, torlódásokra és a hálózat újraegyensúlyozódására. Azonban a jelenlegi modellek nem képesek megfelelő pontossággal kezelni a hirtelen, váratlan eseményeket (például baleseteket, szakszleléseket), mivel az

alkalmazott útvonalválasztási (routing) algoritmusok általában statikus vagy leegyszerűsített megközelítéseken alapulnak.

Mindezek alapján szükség van a hálózati érzékenység egy új, komplexebb értelmezésére, amely túlmutat a makroszintű, leegyszerűsített modelleken. A jövő kutatásainak választ kell adnia az alábbi kérdésekre:

- Hogyan lehet egyidejűleg figyelembe venni a mikro- és makroszintű jellemzőket a hálózati érzékenység értékelése során?
- Hogyan biztosítható valós idejű visszacsatolás a két szint között anélkül, hogy a hálózat túlságosan leegyszerűsödne?
- Milyen útvonalválasztási algoritmus képes pontosabb, környezetfüggő eredmények nyújtására?

E kérdések megválaszolásához új típusú modellezési keretrendszerek kidolgozása szükséges, amelyek képesek kezelni a zavarok és rendkívüli események negatív hatásait. A váratlan történések valóságghű szimulációja elengedhetetlen ahhoz, hogy a közlekedési rendszerek valóban rugalmasak, tervezhetőek és reagálóképességükben erősebbek legyenek a jövő kihívásaival szemben.

6. ÖSSZEGZÉS

A feldolgozott szakirodalom egyértelműen jelzi, hogy a közlekedési hálózatok érzékenységének vizsgálata további kutatásokat indokol. Mérnöki és modellezési szempontból egyre nagyobb az igény olyan részletes hálózati elemzésekre, amelyek nem támaszkodnak túlzott egyszerűsítésekre. Ennek megvalósításához olyan módszertani keretrendszerre van szükség, amelyben a mikro- és makroszintű jellemzők együttesen jelennek meg.

A kritikus hálózati elemek meghibásodása valószínű hatásainak értékeléséhez a jelenlegi stratégiai forgalmi modellek továbbfejlesztése szükséges. A kutatás azt is feltárta, hogy a jelenleg alkalmazott ráterhelési eljárások nem alkalmasak rendkívüli helyzetek, például balesetek, háváriaesemények vagy támadások pontos szimulálására. Ezért a jövőbeni kutatások célja egy új ráterhelési módszer kidolgozása, amely kifejezetten az ilyen vészhelyzetekre van optimalizálva. Az eljárás több kutatási szakaszon

alapul, amelyek célja a személygépkocsival közlekedő járművezetők viselkedésmintáinak feltérképezése.

Az új módszert a meglévő PTV Visum szoftverrel és Python programozási környezettel integrálva kívánjuk implementálni, annak érdekében, hogy a kritikus hálózati események hatásait pontosabban és adaptívan lehessen modellezni. Továbbá fontos megemlíteni, hogy az esetleges balesetek az igények megváltozását is jelentik. A ráterhelési eljárás fejlesztésénél ezt is figyelembe kell venni a későbbi lépések folyamán.

Köszönetnyilvánítás: A projekt megvalósítását támogatták segítették. A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap, valamint a Kulturális és Innovációs Minisztérium támogatásával valósult meg. A projekt azonosítószáma: 2024-2.1.2.-EKÖP-KDP-2024-00016.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Ansari Esfeh, M., Kattan, L., Lam, W.H.K., Salari, M., Ansari Esfe, R. (2022) Road network vulnerability analysis considering the probability and consequence of disruptive events: A spatiotemporal incident impact approach, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 136, 103549. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103549>
- [2] Auerbach, J., Kim, H. (2022) Measuring Robustness and Coverage of Transportation Networks with Multiple Routes and Hubs, *Annals of the American Association of Geographers*, 112, pp. 1741–1760. <https://doi.org/10.1080/24694452.2021.2000357>
- [3] Auerbach, J., Kim, H. (2021) Local network connectivity optimization: an evaluation of heuristics applied to complex spatial networks, a transportation case study, and a spatial social network, *PeerJ Computer Science*, 7, e605. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.605>
- [4] Barabasi, A.-L., Albert, R. (1999) Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286, pp. 509–512. <https://doi.org/10.1126/science.286.5439.509>
- [5] Barabasi, A.-L. (2016) *Network Science*, Libri.
- [6] Buzna, L., Peters, K., Helbing, D. (2006) Modelling the dynamics of disaster spreading in networks, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 363, pp. 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2006.01.059>
- [7] Chen, M., Lu, H. (2020) Analysis of Transportation Network Vulnerability and Resilience within an Urban Agglomeration: Case Study of the Greater Bay Area, China, *Sustainability*, 12, 7410. <https://doi.org/10.3390/su12187410>
- [8] Collins, A. J., Robinson, R. M., Jordan, C. A., Khattak, A. (2018) Development of a traffic incident model involving multiple municipalities for inclusion in large microscopic evacuation simulations, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, pp. 1223–1230. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.12.010>
- [9] Cui, C., Xiao, F., Aihui, P., Tao, L., Junli, Y. (2022) Mitigating the Vulnerability of a High-Speed Railway–Air Network by Optimizing the Location of Integrated Transportation Hubs, *IEEE Access*, 10, pp. 123920–123941. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3223709>
- [10] Cui, Y., Liu, Z., Wu, H., Sun, P., Zhou, F. (2024) Evaluation of Urban Transportation Resilience under Extreme Weather Events”, *Applied Sciences*, 14, 4947. <https://doi.org/10.3390/app14114947>
- [11] Donovan, B., Work, D. B. (2017) Empirically quantifying city-scale transportation system resilience to extreme events”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 79, pp. 333–346. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.03.002>
- [12] Engidaw, G., Terdik, G. (2024) The Processing Spatial Data for Statistical Modeling and Visualization Case study: INLA model for COVID-19 in Alabama, USA, *Acta Technica Jaurinensis* 17, pp. 130–142. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00746>
- [13] Farooq, D., Tufail, R. F., Ali, M., Iqbal, H., Tariq, A. R. (2024) Investigation of Traffic Issues at Unsignalized Taxila Intersection and their Countermeasures, *Period. Polytechnica Transportation Engineering*, 52, pp. 310–316. <https://doi.org/10.3311/PPtr.23326>

- [14] Ganin, A. A., Kitsak, M., Marchese, D., Keisler, J. M., Seager, T., Linkov, I. (2017) Resilience and efficiency in transportation networks, *Science Advances*, 3, e1701079. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701079>
- [15] Gu, Y., Fu, X., Liu, Z., Xu, X., Chen, A. (2020) Performance of transportation network under perturbations: Reliability, vulnerability, and resilience, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 133, 101809. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.11.003>
- [16] He, X., Liu, H. X. (2012) Modeling the day-to-day traffic evolution process after an unexpected network disruption, *Transportation Research Part B: Methodological*, 46, pp. 50–71. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.07.012>
- [17] Heckmann, I., Comes, T., Nickel, S. (2015) A critical review on supply chain risk – Definition, measure and modeling, *Omega*, 52, pp. 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.10.004>
- [18] Holló, P., Sipos, T. (2020) Közúti baleseti veszteségek aktualizálása, *Közlekedéstudományi Szemle*, 70(4), pp. 47–52. <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2020.4.4>
- [19] Huang, X., Hu, S., Wang, W., Kaparias, I., Zhong, S., Na, X., Bell, M.G., Lee, D.-H. (2024) Identifying Critical Links in Urban Transportation Networks Based on Spatio-Temporal Dependency Learning, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 25, pp. 5583–5597. <https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3339507>
- [20] Jiang, X., Shan, X., Du, M. (2022) Modeling Network Capacity for Urban Multimodal Transportation Applications, *Journal of Advanced Transportation*, pp. 1–22. <https://doi.org/10.1155/2022/6034369>
- [21] Kurth, M., Kozłowski, W., Ganin, A., Mersky, A., Leung, B., Dykes, J., Kitsak, M., Linkov, I. (2020) Lack of resilience in transportation networks: Economic implications, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102419. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102419>
- [22] Lee, C.-C., Rajput, A. A., Hsu, C.-W., Fan, C., Yuan, F., Dong, S., Esmalian, A., Farahmand, H., Patrascu, F. I., Liu, C.-F., Li, B., Ma, J., Mostafavi, A. (2022) Quantitative measures for integrating resilience into transportation planning practice: Study in Texas, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 113, 103496. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103496>
- [23] Leng, J., Zhai, J., Li, Q., Zhao, L. (2018) Construction of road network vulnerability evaluation index based on general travel cost, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 493, pp. 421–429. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.11.018>
- [24] Liu, J., Lu, H., Chen, M., Wang, J., Zhang, Y. (2020) Macro Perspective Research on Transportation Safety: An Empirical Analysis of Network Characteristics and Vulnerability, *Sustainability*, 12, 6267. <https://doi.org/10.3390/su12156267>
- [25] Liu, J., Lu, H., Ma, H., Liu, W. (2017) Network Vulnerability Analysis of Rail Transit Plans in Beijing-Tianjin-Hebei Region Considering Connectivity Reliability, *Sustainability*, 9, 1479. <https://doi.org/10.3390/su9081479>
- [26] Liu, S., He, M., Wu, Z., Lu, P., Gu, W. (2024) Spatial-temporal graph neural network traffic prediction based load balancing with reinforcement learning in cellular networks, *Information Fusion*, 103, 102079. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.102079>
- [27] Lu, Q.-C., Xu, P.-C., Zhang, J. (2021) Infrastructure-based transportation network vulnerability modeling and analysis, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 584, 126350. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126350>
- [28] Mahajan, K., Kim, A. M. (2020) Vulnerability assessment of Alberta's provincial highway network, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 6, 100171. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100171>
- [29] Malandri, C., Mantecchini, L., Postorino, M. N. (2023) A comprehensive approach to assess transportation system resilience towards disruptive events. Case study on airside airport systems, *Transport Policy*, 139, pp. 109–122. <https://doi.org/10.1016/j.jtrapol.2023.05.011>

- [30] Mattsson, L.-G., Jenelius, E. (2015) Vulnerability and resilience of transport systems – A discussion of recent research. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, pp. 16–34. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.06.002>
- [31] Melkote, S., Daskin, M. S. (2001) An integrated model of facility location and transportation network design, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35, pp. 515–538. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(00\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(00)00005-7)
- [32] Ötvös, V., Török, Á. (2024) Measurement of Accident Risk and a Case Study from Hungary, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 52, pp. 159–165. <https://doi.org/10.3311/PPtr.22731>
- [33] Piraveenan, M., Saripada, N. B. (2023) “Transportation Centrality: Quantifying the Relative Importance of Nodes in Transportation Networks Based on Traffic Modeling, *IEEE Access*, 11, pp. 142214–142234. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3339121>
- [34] Rahdar, M., Wang, L., Dong, J., Hu, G. (2022) Resilient Transportation Network Design under Uncertain Link Capacity Using a Trilevel Optimization Model, *Journal of Advanced Transportation*, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1155/2022/5023518>
- [35] Redzuan, A. A. H., Zakaria, R., Anuar, A. N., Aminudin, E., Yusof, N. M. (2022) Road Network Vulnerability Based on Diversion Routes to Reconnect Disrupted Road Segments, *Sustainability*, 14, 2244. <https://doi.org/10.3390/su14042244>
- [36] Reggiani, A. (2022) The Architecture of Connectivity: A Key to Network Vulnerability, Complexity and Resilience, *Networks and Spatial Economics*, 22, pp. 415–437. <https://doi.org/10.1007/s11067-022-09563-y>
- [37] Serdar, M. Z., Koç, M., Al-Ghamdi, S. G. (2022) Urban Transportation Networks Resilience: Indicators, Disturbances, and Assessment Methods, *Sustainable Cities and Society*, 76, 103452. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103452>
- [38] Sugishita, K., Asakura, Y. (2021) Vulnerability studies in the fields of transportation and complex networks: a citation network analysis, *Public Transport*, 13, pp. 1–34. <https://doi.org/10.1007/s12469-020-00247-9>
- [39] Sugiura, S., Chen, A. (2021) Vulnerability analysis of cut-capacity structure and OD demand using Gomory-Hu tree method, *Transportation Research Part B: Methodological*, 153, pp. 111–127. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2021.08.013>
- [40] Sventekova, E., Urbancova, Z., Holla, K. (2021) Assessment of the Vulnerability of Selected Key Elements of Rail Transport, Slovak Case Study, *Applied Sciences*, 11, 6174. <https://doi.org/10.3390/app11136174>
- [41] Taylor, M. A. P., Susilawati (2012) Remoteness and accessibility in the vulnerability analysis of regional road networks, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46, pp. 761–771. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.02.008>
- [42] Timothy, C., Matisziw, A., Murray T. (2009) Modeling s-t Path Availability to Support Disaster Vulnerability Assessment of Network Infrastructure, *Computers & Operations Research*, 36 (1), pp. 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2007.09.004>
- [43] Toma-Danila, D., Armas, I., Tiganescu, A. (2020) Network-risk: an open GIS toolbox for estimating the implications of transportation network damage due to natural hazards, tested for Bucharest, Romania, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, pp. 1421–1439. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1421-2020>
- [44] Ulak, M. B., Konila Sriram, L. M., Kocatepe, A., Ozguven, E. E., Arghandeh, R. (2022) Resilience Characterization for Multilayer Infrastructure Networks, *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 14, pp. 121–132. <https://doi.org/10.1109/IMITS.2021.3049368>
- [45] Urbancová, Z., Sventeková, E. (2019) Assessing vulnerability of key elements of railway infrastructure, *Transportation Research Procedia*, 40, pp. 1597–1603. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.221>
- [46] Wang, S., Zhang, J., Zhao, M., Min, X. (2017) Vulnerability analysis and critical areas identification of the power systems under terrorist attacks, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 473, pp. 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.01.003>

- [47] Wei, X., Wang, M., Meng, Q. (2024) Vulnerability Assessment and Reduction for Intermodal Freight Transportation Networks, *Reliability Engineering & System Safety*, 245, 109969. <https://doi.org/10.1016/j.res.2024.109969>
- [48] Wen, T., Gao, Q., Chen, Y., Cheong, K. H. (2022) Exploring the vulnerability of transportation networks by entropy: A case study of Asia–Europe maritime transportation network, *Reliability Engineering & System Safety*, 226, 108578. <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108578>
- [49] Wu, Y., Hou, G., Chen, S. (2021) Post-earthquake resilience assessment and long-term restoration prioritization of transportation network, *Reliability Engineering & System Safety*, 211, 107612. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107612>
- [50] Zhang, D., Du, F., Huang, H., Zhang, F., Ayyub, B. M., Beer, M. (2018) Resiliency assessment of urban rail transit networks: Shanghai metro as an example, *Safety Science*, 106, pp. 230–243. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.03.023>
- [51] Zhou, Y., Kundu, T., Qin, W., Goh, M., Sheu, J.-B. (2021) Vulnerability of the worldwide air transportation network to global catastrophes such as COVID-19, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 154, 102469. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102469>
- [52] Zhou, Y., Wang, J., Yang, H. (2019) Resilience of Transportation Systems: Concepts and Comprehensive Review, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20, pp. 4262–4276. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2883766>



The Evolution of Research on Transportation Network Sensitivity and the Examination of the Vulnerability of Critical Elements – a Literature Review

Keywords: traffic modelling, network sensitivity, network science, transportation network

The sensitivity of transportation networks is a key issue in terms of strategic planning and emergency management. The study uses bibliometric analysis to explore research directions, methodological trends, and their temporal changes. The literature review also presents both network science and other approaches, highlighting the need for detailed, integrated models and realistic network assessments.

Közlekedésbiztonság – Közlekedési környezetvédelem

A közlekedési balesetek során kialakuló mentális problémák kezelésének gyakorlata

Maráczai Rodrigó Dávid

PhD hallgató, Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Széchenyi István Egyetem

e-mail: rodrigo.maraczi@gmail.com

Absztrakt

A közlekedési balesetek esetén többnyire a fizikai sérülések kapnak hangsúlyt, miközben a pszichés következmények gyakran háttérbe szorúlnak. A túlélők-nél előfordulhat poszttraumás stressz, szorongás, alvászavar vagy a vezetéstől való tartózkodás. Kezelés nélkül ezek tartósan ronthatják az életminőséget, sőt a közlekedés biztonságát is veszélyeztethetik. A tanulmány bemutatja a traumák mentális hatásait és az ellátás hiányosságait.

Kulcsszavak: közlekedésbiztonság, mentális egészség, rehabilitáció, közlekedési baleset

DOI:<https://doi.org/10.24228/KTSZ.2025.6.6>

1. BEVEZETÉS

A közúti közlekedési balesetek továbbra is jelentős kihívást jelentenek mind a társadalom, mind az egészségügyi ellátórendszer számára. A következmények nem korlátozódnak a fizikai sérülésekre, hiszen hosszabb távon pszichés zavarok is megjelenhetnek.

Magyarországon évente több ezer ember válik érintetté, és sokan életüket vesztik az utakon. Bár az elmúlt évtizedben csökkenés figyelhető meg (2015-ben 20 890 sérültet és 644 halálos áldozatot jegyeztek fel, míg 2024-ben 14 241 sérültet és 446 halálestet), a probléma továbbra is aktuális (KSH, 2025).

A közlekedési balesetek kapcsán a figyelem többnyire a halálos áldozatokra és a súlyos testi sérülésekre irányul, miközben a mentális következmények gyakran háttérbe szorúlnak. Pedig ezek az érintettek (legyenek áldozatok, hozzátartozók, szemtanúk vagy a mentésben résztvevők)

életében ugyanolyan mély és tartós nyomokat hagyhatnak. A túlélők körében gyakran megjelenik a poszttraumás stressz szindróma (továbbiakban: PTSD), az alvászavar, a szorongás vagy akár a járművezetéstől való tartós elzárkózás, amelyek hónapokon vagy akár éveken át nehezíthetik a mindennapi életvitel helyreállítását. Az ilyen tünetek jelentősen befolyásolhatják a munkaképességet, a társas kapcsolatokat, az önbizalmat és az életminőséget (Maráczai, 2025).

2. A KÖZÚTI KÖZLEKEDÉSI BALESEK PSZICHOLÓGIAI HATÁSAI

A halálos balesetet okozó járművezető legtöbbször akkor érzékeli igazán tette súlyát, amikor szembesül az áldozattal. Ez rendkívül megrázó, és feldolgozása nehéz feladat. Fontos hangsúlyozni, hogy az emberi élet kioltására sem erkölcsi, sem pszichológiai értelemben nem lehet felkészülni. Az ilyenkor megjelenő büntudat komoly megpróbáltatást jelent, különösen, ha

a vezető saját felelősségét látja a történetekben. Még ha a baleset figyelmetlenségből adódott is, vagy nem volt szándékos, az a tény, hogy legalább egy ember életét veszítette, már nem változtatható meg (Ádámné, 2023).

Aki halálos közúti balesetben érintett, akár áldozatként, akár okozóként, fokozatosan változó, különböző szakaszokban jelentkező hatásokat élhet át:

1. Akut stresszreakció: A balesetet követően az érintett azonnal erőteljes testi és gondolati tüneteket tapasztalhat. Ez a kezdeti állapot gyakran napokig, akár néhány hétig, de előfordulhat, hogy egy hónapig is fennáll.
2. Hosszú távú hatások, poszttraumás stresszreakció: Normális körülmények között az ember úgy éli meg saját belső világát, hogy irányítja a gondolatait és élményeit. Egy erős traumatikus esemény azonban megszakíthatja ezt az érzést, hiszen az érintett többször gondol vissza a veszélyre, és emiatt az állandó feszültség jellemzővé válik. Ez a túlélési mechanizmus segíthet rövid távon, de hosszabb távon rendkívüli megterhelést jelent.
3. PTSD: Ha a történet feldolgozása nem történik meg vagy nincs meg hozzá a kellő támogatás (családi segítség, szakmai beavatkozás), kialakulhat a PTSD. Ennek korai jelei gyakran már a kezdeti időszakban megjelennek. Kezelés hiányában, a folyamatos készenléti állapot tartóssá válhat, és hosszú távon komoly következményekkel járhat (Ádámné, 2023).

Tanulmányok alapján a közlekedési baleseteket túlélő személyeknél az akut stressz zavar kialakulásának aránya 13–21% között mozog. A PTSD előfordulása a nőknél körülbelül kétszerese a férfiakénak. A lakosság nagy része (20–90%) élete során valamilyen traumát tapasztal, azonban ebből nem következik automatikusan PTSD kialakulása. Éppen ezért kulcsfontosságú kérdés, hogy mely tényezők növelik vagy csökkentik a betegség megjelenésének kockázatát (Ádámné, 2023).

Egy hazai kutatás szerint a közúti balesetet elszenvedettek 10–50%-ánál alakul ki PTSD, más felmérések ennél is magasabb, akár 46,5%-os arányt jeleznek (Ádámné, 2023).

A PTSD-ben szenvedők fiziológiailag is reagálnak olyan helyzetek esetén, amelyek a traumára emlékeztetik őket (Southwick et al., 1998). Egy kutatás során arra jutottak, hogy a poszttraumás betegek alap kortizolszintje alacsonyabb a megszokottnál akkor, amikor épp nem gondolnak a traumáikra (Yehuda, 2000). Mivel a kortizol felelős a stresszhelyzet utáni szimpatikus idegrendszeri működés lezárásáért, alacsony szintje a szimpatikus idegrendszer túlzott vagy elhúzódo aktivitását eredményezheti. Ez magyarázhatja, hogy a poszttraumás stresszben szenvedők miért reagálnak érzékenyebben a traumához kapcsolódó ingerekre, és miért hajlamosabbak a PTSD kialakulására (Atkinson és Hilgard, 2005).

Egy longitudinális kutatásban közlekedési balesetet szenvedett személyek kortizolszintjét mérték meg néhány órával a trauma után (Yehuda et al., 1998), majd hat hónappal később ismét megvizsgálták őket a poszttraumás stressz tüneteinek megjelenése szempontjából. Az eredmények azt mutatták, hogy elsősorban azoknál alakultak ki PTSD-re utaló tünetek, akiknek a baleset után jelentősen alacsonyabb volt a kortizolszintjük a többiekhez képest.

3. A MENTÁLIS SÉRÜLÉSEK SZEREPE A KÁRTÉRÍTÉSI RENDSZERBEN

A hivatalos eljárásokban a mentális sérülések gyakran háttérbe szorulnak. Míg a testi károsodások könnyen igazolhatók orvosi dokumentációval, addig a pszichés következmények sokszor rejtve maradnak, különösen akkor, ha az érintettek nem tulajdonítanak nekik kellő jelentőséget, vagy nem áll rendelkezésre pszichológusi szakvélemény. A kártérítési gyakorlat így egyben arról is árulkodik, mennyire hajlandó egy társadalom a traumákat elismerni, nem csupán a fizikai sérüléseket (Maráczai, 2025).

Bár a magyar jogrend elvben lehetőséget ad a pszichés károk megtérítésére, ennek érvényesítése a gyakorlatban sokszor nehézségekbe ütközik. Az érintettek akkor tudnak sikerrel fellépni, ha rendelkeznek pszichológus vagy pszichiáter által készített szakvéleménnyel, valamint olyan jogi képviselővel, amely képes világosan és hatékonyan megjeleníteni a mentális sérelmeket is.

Ebben a részben egy interjú tapasztalatait ismertetem konkrét esettanulmányokkal kiegészítve, amelyeket a III. Közlekedésbiztonsági Konferencián is bemutatam, bevonva az ott elhangzott visszajelzéseket is (Marácz, 2025).

Továbbá a jogi környezet elemzésén keresztül vizsgálom, miként kapnak helyet a pszichés következmények a kártérítési folyamatban. Rámutatok azokra a nehézségekre, amelyekkel az érintettek szembekerülnek, valamint arra, milyen személyes történetek húzódnak meg a hivatalos dokumentumok mögött.

Célom annak bemutatása, hogy a traumák elismerése túlmutat az adminisztratív kereteken, hiszen egy mélyen emberi folyamatról van szó, amely empátiát, érzékeny ügyintézkést és olyan szemléletet kíván, amely a mentális terheket a testi sérülésekkel egyenrangúan kezeli.

3. 1. Biztosítási és jogi háttér Magyarországon

Magyarországon a közlekedési baleseteket követő kártérítési eljárások jellemzően a testi sérülések és a vagyoni károk megtérítésére irányulnak. A pszichés hatások (mint például a szorongás, a depresszió vagy PTSD) ezzel szemben jóval kevesebb figyelmet kapnak, és ezek elismerése a gyakorlatban gyakran nehézségekbe ütközik.

A kártérítési rendszer alapját a kötelező gépjármű-felelősségbiztosítás (továbbiakban: KGFB) képezi, amely biztosítja, hogy a véletlen sérített a károkozó fél biztosítójától igényelhesen kártérítést, nem csupán az anyagi veszteségek, hanem a mentális sérelmek miatt is (2009. évi LXII. törvény).

A KGFB célja nem kizárólag a balesetek során keletkezett testi sérülések és vagyoni károk megtérítése. A biztosítás minden olyan megalapozott kárigényt magában foglal, amely a járműhasználattal összefüggésben keletkezik, ideértve a pszichés és mentális következményeket is. Ezt a szemléletet a jogszabály is rögzíti. A 2009. évi LXII. törvény 12. §-a kimondja, hogy a biztosítás fedezetet nyújt a gépjármű használat során okozott károkból eredő jogos igényekre.

Ez a rendelkezés tehát lehetőséget teremt arra, hogy ne csak a testi, hanem a pszichés sérülések is a kártérítés körébe tartozzanak. Ennek feltétele azonban, hogy a mentális sérelem jogilag alátámasztható legyen, és azt megfelelő szakértői vélemény is igazolja. Bár a törvényi háttér nem zárja ki az ilyen jellegű igények érvényesítését, azok elismerése és tényleges megtérítése a gyakorlatban továbbra is számos akadályba ütközik.

A közlekedési balesetkből eredő pszichés károk megtérítésének lehetősége nem kizárólag a KGFB rendszerre épül, hanem a Polgári Törvénykönyv rendelkezéseiből is levezethető. A Ptk. 6:518–534. §-ai tartalmazzák a kártérítési felelősség általános szabályait, amelyek minden kárformára kiterjednek. A 6:519. § kimondja: „Aki másnak jogellenesen kárt okoz, köteles azt megtéríteni, kivéve, ha bizonyítani tudja, hogy magatartása nem volt felróható.”

E szabályozás értelmében a kártérítési kötelezettség nemcsak a testi vagyoni károkra vonatkozik, hanem a mentális és érzelmi sérelmekre is, amennyiben azok bizonyíthatók, és igazolható az okozati összefüggés a balesettel.

A Ptk. 6:522. §-a a kártérítés mértékét is meghatározza, kimondva, hogy a károkozó köteles a károsult teljes kárát megtéríteni. A „teljes kár” fogalma magában foglalja a vagyoni értékcsökkenést, az elmaradt hasznot, valamint mindazon költségeket, amelyek a károsultat ért hátrányok megszüntetéséhez szükségesek.

Ez a rendelkezés tehát alapot teremt arra, hogy a mentális egészségromlásból eredő kiadások (például a pszichoterápiás kezelések, gyógyszeres ellátás, pszichológusi konzultációk vagy a munkaképesség-csökkenés miatti veszteségek) is a kárigény részét képezzék.

Mindezek alapján megállapítható, hogy a Ptk. jogi keretrendszere elvileg lehetőséget ad a mentális károk megtérítésére. A gyakorlati nehézségek azonban nem a jogszabályok hiányosságaiából fakadnak, hanem elsősorban a bizonyítási eljárás, valamint a pszichés sérülések társadalmi és jogi elfogadottságának korlátai-
ban keresendők.

3. 2. Szakmai tapasztalatok

A közlekedési balesetek következményeinek elemzésekor különös hangsúlyt érdemel annak vizsgálata, hogy a károsultak milyen gyakorlati nehézségekkel találkoznak akkor, amikor testi sérülés helyett mentális sérüléseik miatt kívánnak kártérítést igényelni.

A hazai kártérítési gyakorlat alaposabb megismerése érdekében megkerestem Sándli Margarétát, a PRO-JK Kft. (korábban Jogos Kártérítés Kft.) ügyvezetőjét, aki kérdéseimre írásban adott választ (Maráczi, 2025).

Az interjú hat fő témakört ölelt fel:

- A vállalkozás működésének általános bemutatása
- A biztosítási rendszerrel kapcsolatos tapasztalatok
- A mentális sérülések elismerésének gyakorlata
- A jogi és adminisztratív akadályok
- Konkrét esetpéldák bemutatása
- Gyakorlati tanácsok az érintettek számára

A kérdések előre meghatározott, tematikusan csoportosított struktúra mentén kerültek megfogalmazásra, ugyanakkor nyitott jellegük lehetőséget adott a szakértő számára, hogy részletesen és személyes nézőpontból fejthesse ki gondolatait.

Sándli Margaréta 2014-ben, pályázati támogatással alapította meg saját vállalkozását, miután több éven keresztül dolgozott egy nemzetközi vállalat jogi és kárrendezési osztályán. Célja az volt, hogy a balesetet szenvedett személyek ne csupán formálisan, hanem a gyakorlatban is érvényesíthessék személyiségi jogaikat, és ténylegesen hozzájuthassanak a számukra jogosan járó kártérítéshez. Tudatosan kevesebb ügyfelet vállalt, ugyanakkor számukra magas színvonalú, személyre szabott támogatást nyújtott egészen 2023 végéig.

Tapasztalatai alapján a magyar biztosítási rendszer 2023-ig csak korlátozott mértékben ismerte el a mentális sérüléseket. Amennyiben azonban a károsult pszichológus vagy pszichiáter által készített szakvéleménnyel tudta alátámasztani

sérüléseit, azt elvileg figyelembe kellett venni, és bizonyos esetekben valóban meg is ítélték kártérítést. A gyakorlatban ugyanakkor a biztosítók ritkán ismernek el ilyen igényeket önkéntesen, ezért a pontos és szakszerű dokumentáció kiemelten fontos.

Sándli Margaréta hangsúlyozta, hogy amennyiben hiteles szakvélemény igazolja a pszichés sérülést, a biztosítónak kötelessége azt figyelembe venni. Ha ez mégsem történik meg, a károsult bírósághoz fordulhat, ahol a sérelemdíj és az anyagi kompenzáció összegéről a bíróság dönt.

A tapasztalatok szerint jogi képviselő nélkül különösen nehéz érvényesíteni a mentális sérülésekből fakadó kárigényeket. Emellett nem egyszerű olyan ügyvédet találni, aki egyaránt jártas a jogi szabályozásban, a biztosítói gyakorlatban és a kárrendezési eljárások részleteiben. Az ilyen ügyek sikeres képviseletéhez elengedhetetlen az empátia, a türelem és az alaposág.

Sándli Margaréta vállalkozásának egyik legnagyobb erőssége abban rejlett, hogy közvetítő szerepet töltött be az ügyfelek és a jogi képviselő között. Támogatást nyújtott az adminisztratív feladatok elvégzésében, összegyűjtötte a szükséges dokumentumokat, és gondosan előkészítette az ügyeket, ezáltal jelentősen megkönnyítve az érintettek helyzetét egy már eleve megterhelő életrészen.

A mentális következmények témakörében részletesen ismertette, hogy a közlekedési balesetek túlélői milyen mentális megterhelésekkel és pszichés tünetekkel küzdenek. Tapasztalatai szerint ezek a problémák gyakoriak, hosszan tartók, és komolyan befolyásolják a károsultak mindennapi életét, társas kapcsolatait, valamint munkaképességét.

Az általa leggyakrabban tapasztalt mentális következmények a következők:

- Párkapcsolati nehézségek és az intimitás sérülése: előfordult, hogy a balesetből származó testi sérülések (például medencetáji, ortopédiai vagy idegrendszeri problémák) ellehetetlenítették az intim együttléteket, ami több esetben a párkapcsolat megszakadásához vezetett. Volt olyan ügyfél, akit

partnere elhagyott, mivel hosszú távon nem tudták közösen feldolgozni a történeteket.

- Alvászavarok és rémálmok: sok károsult számolt be arról, hogy a baleset után hosszú időn keresztül nehézséget okozott számukra az elalvás vagy a pihentető alvás fenntartása. Gyakoriak a visszatérő rémálmok és a megmagyarázhatatlan éjszakai felriadások.
- Szorongás, pánik és elkerülő magatartás: gyakori, hogy az érintettek nem mernek újra autót vezetni, sőt néhányan kerékpárra sem ülnek többé. A közlekedéstől való általános félelem, illetve a baleset helyszínének kerülése jellemző reakció.
- Krónikus fájdalom okozta mentális megterhelés: a tartós vagy visszatérő fájdalom pszichésen is kimerítő. Gyakori a fokozott ingerlékenység, türelmetlenség és érzelmi labilitás, amelyek a családi és munkahelyi kapcsolatokra is negatív hatással vannak.
- Társas és bizalmi kapcsolatok megrendülése: a balesetet követően gyakori, hogy a baráti és ismerősi kapcsolatok fokozatosan elhidegülnek. Sok károsult számolt be arról, hogy a támogató kapcsolatok hiánya fokozta az elszigetelődést és a bizalomvesztést mások iránt.
- PTSD: több esetben jelentkeztek visszatérő, toladó emlékek, úgynevezett flashbackek, valamint szorongásos testi tünetek (például remegés, izzadás), különösen akkor, ha az érintett hasonló közlekedési helyzetbe került. Egyes károsultak tudatosan kerültek a forgalmas utakat vagy a baleset helyszínét.
- Depressziós tünetek: a tartós fájdalom, a munkaképtelenség vagy a mindennapi aktivitás beszűkülése miatt sokan tapasztalnak motivátlanságot, tehetetlenséget, értéktelenségérzést, illetve érdektelenséget a korábban örömet okozó tevékenységek iránt.

Sándli Margaréta rámutatott, hogy a mentális sérülések a kártérítési eljárások során ritkán kerülnek automatikusan a figyelem középpontjába. Ezek az érzékeny, gyakran rejtett állapotok többnyire csak fokozatosan válnak láthatóvá, miután a károsult bizalmat érez az ügyintéző iránt, és megnyílik számára. Ennek felismerése nyomán a vállalkozás egy többlépcsős ügykezelési rendszert dolgozott ki, amelynek célja a pszichés állapot mélyebb megértése és feltérképezése is volt.

Az első lépés egy körülbelül tízoldalas kérdőív kitöltése volt, amely a baleset körülményeire, a fizikai sérülések jellegére, valamint azok mindennapi életre gyakorolt hatására kérdezett rá. A kérdőív végén egy szabadon kitölthető szöveges mező is helyet kapott, ahol a károsult megfogalmazhatta azokat az élményeket és érzéseket, amelyekre a konkrét kérdések nem tértek ki. Gyakran éppen ebben a részben jelentek meg először olyan tünetek, mint a szorongás, a félelem vagy a társas kapcsolatoktól való visszahúzódás.

A folyamat második lépéseként egy részletes telefonos konzultációra került sor, amelynek célja az érintett állapotának, valamint aktuális élethelyzetének mélyebb feltérképezése volt. Ilyenkor gyakran olyan tényezők is felszínre kerültek, amelyeket a károsult korábban nem tartott relevánsnak, mint például párkapcsolati nehézségek, bizalmi problémák vagy a társas életből való fokozatos visszavonulás.

Emlékezetes példaként Sándli Margaréta egy idős hölgy történetét osztotta meg, aki közlekedési baleset következtében sarokcsonttörést szenvedett. Hazatérve értelmi sérült, önellátásra képtelen lányát kiszolgáltató állapotban találta otthon. Bár fizikailag nem történt nagyobb baj, az édesanyát évekkel később is súlyos lelkiismeret-furdalás gyötörte. Ezt a részletet csak hosszabb, bizalmi kapcsolat kialakulása után osztotta meg az ügyintézővel. Az eset megfelelő dokumentálása jelentősen megnövelte a biztosító által megajánlott kártérítési összeget, jól szemléltetve, hogy az emberi és érzelmi tényezők komoly befolyást gyakorolhatnak a biztosítói döntéshozatalra.

A pszichológiai és pszichiátriai következmények miatti kártérítési igények általában a teljes kártérítési csomag részeként jelennek meg, nem pedig külön tételként. A sérelemdíj a nem vagyoni károk kompenzálására szolgál, és akár a hozzátartozók számára is megítélhető. Egy esetben például egy édesanya súlyos gyászreakciója és az emiatt szükségessé vált pszichiátriai kezelése alapján jelentős összegű sérelemdíjban részesült.

Sándli Margaréta tapasztalatai szerint a közlekedési balesetet szenvedett ügyfelek közül csupán kevesen fordulnak mentálhigiénés

szakemberhez. A segítségkérés sokak számára nehéz, mivel gyakran alábecsülik tüneteiket, vagy úgy érzik, egyedül kell megbirkóznuk a traumával. A beszélgetések során azonban rendszerint olyan tünetek is felszínre kerülnek, amelyek szakmai támogatást indokolnának. Ezért különösen fontos lenne, hogy a baleset követő időszakban tudatosabb mentálhigiénés tájékoztatás és szélesebb körű ellátórendszeri támogatás álljon az érintettek rendelkezésére.

A mentális károk bizonyítása során a legnagyobb kihívást nem elsősorban a jogi vagy adminisztratív akadályok, hanem az érintett pszichés folyamatai jelentik. Az első, egyben legnehezebb lépés, hogy a károsult felismerje és elfogadja saját sérülését, majd nyitottá váljon annak megfogalmazására. Sokan hajlamosak elbagatellizálni érzéseiket, vagy úgy vélik, „nem jogosultak” panaszkodni, hiszen „másokat nagyobb baj ért”. Segítségkérés nélkül azonban nem készülhet szakvélemény, ami a kártérítési igény elengedhetetlen alapja. A bizonyítás tehát nem csupán technikai vagy jogi kérdés, hanem mélyen emberi és bizalmi folyamat is.

Fontos hangsúlyozni, hogy a mentális következmények nem kizárólag az elsődleges sérülteket érintik, hanem gyakran a közvetlen hozzátartozók életminőségére is jelentős hatást gyakorolnak. Egyik esetben például egy idősebb férfi közlekedési baleset következtében lábsérülést szenvedett, amely nem igényelt hosszabb kórházi kezelést, ám átmenetileg elvesztette ön-ellátási képességét. A korábban aktív, önálló életet élő férfi ápolása teljes mértékben a feleségére hárult, akit nemcsak a fizikai megterhelés, hanem férje kiszolgáltatottságának látványa is mélyen megviselt. A nő beszámolója szerint felőrölte, hogy tehetetlenül szemléli férje szenvedését, miközben fel kellett adnia saját társas életét és szabadidős tevékenységeit is. Az eset részletes feltárása és dokumentálása nyomán a biztosító (annak ellenére, hogy nem a feleség volt a közvetlen károsult) a házastársra nehezedő teher és az életvezetésben bekövetkezett változások alapján kártérítést ítél meg számára is. Ez a példa jól szemlélteti, hogy a trauma másodlagos hatásai is jogilag érvényesíthetők, amennyiben azok megfelelően alátámasztottak és dokumentáltak.

4. MENTÁLIS EGÉSZSÉG EURÓPÁBAN

Az európai országok között jelentős különbségek figyelhetők meg a mentális egészség állapotát és az ellátórendszerek működését illetően. Egy 2023-as felmérés szerint Magyarországon a lakosság 56%-a tapasztalt már valamilyen érzelmi vagy pszichés nehézséget (például depressziót vagy szorongást), ami magasabb az Európai Unió átlagánál (46%). Ugyanakkor a mentális problémákkal élők 75%-a nem fordul szakemberhez, vagy nem jut megfelelő ellátáshoz, míg ez az arány az EU-27 tagállamaiban átlagosan 54% volt ugyanazon adatforrás alapján (Csákó, 2023).

MENTÁLIS EGÉSZSÉG, 2023

Érzelmi vagy pszichoszociális problémákat (pl. depresszió, szorongás) észlelők aránya



EU-27 = 46%

HU = 56%

Azok aránya, akik nem kértek vagy nem kaptak szakmai segítséget mentális egészségügyi problémáik miatt



EU-27 = 54%

HU = 75%

1. ábra: Mentális egészség Magyarországon és az Európai Unióban, 2023 (forrás: Képviselői Információs Szolgálat, 2024/32.)

Mindez komoly hiányosságokat jelez a hazai mentálhigiénés ellátásban, amelyek háttérben többek között a finanszírozási nehézségek, a szakemberhiány és a mentális betegségekkel kapcsolatos társadalmi előítéletek állhatnak.

A lakosság véleménye szerint a mentális jólét legfőbb tényezői az életkörülmények (Magyarországon 68%, az EU-ban 60%) és a pénzügyi biztonság (Magyarországon 59%, az EU-ban 53%).

Emellett a fizikai aktivitás és az emberi kapcsolatok is lényeges szerepet kapnak. Utóbbi fontossága azonban Magyarországon kevésbé hangsúlyos, mint az uniós átlag esetében (Csákó, 2023).

Az 1. táblázat adatai alapján egyértelműen megfigyelhetők az európai országok közötti különbségek a mentális egészségügyi kiadások, kutatások és a szakember-ellátottság terén. Magyarországon a mentális egészségre fordított közkiadások aránya csupán 3,2%, míg Franciaországban ez 14,5%, Németországban pedig 13,1%. A mentális egészségügyi szakemberek száma hazánkban 100 000 lakosra vetítve 41,54 fő, ami jelentősen alacsonyabb, mint például Írországból (236,25 fő) vagy Lettországból (283,63 fő). (WHO, 2021)

Az adatok azt mutatják, hogy Magyarország mentális egészségügyi rendszere továbbra is számottevő elmaradást mutat az európai átlaghoz képest. A közlekedési baleseteket követő mentális problémák kezelése is ebbe a hiányterületbe tartozik. Az ellátás nem elégséges, a szakemberek száma alacsony, és sok esetben elmarad a pszichés sérülések megfelelő dokumentálása, illetve kártérítési szempontból való figyelembevétele.

5. KONKLÚZIÓ

A közlekedési balesetek okozta traumák továbbra is a társadalmi és szakpolitikai figyelem peremén maradnak, pedig hatásuk az egyén életminőségére, munkavégző képességére és emberi kapcsolataira legalább olyan súlyos lehet, mint a testi sérüléseké. Tanulmányomban arra törekedtem, hogy bemutassam, a mentális következmények nem pusztán egyéni szinten jelentkeznek, hanem mélyebb, rendszerszintű problémákhoz is kapcsolódnak, például az egészségügyi ellátórendszer alulfinanszírozottságához vagy a jogi elismerés nehézségeihez.

A kutatás eredményei egyértelműen rámutattak arra, hogy a balesetek pszichés következményeinek hatékony kezelése csak akkor valósulhat meg, ha az érintettek rehabilitációja egy átfogó, intézményesített rendszer keretében történik. Ehhez elengedhetetlen az egészségügyi, a biztosítási és a jogi területek közötti együttműködés, valamint az érintettek megfelelő pszichológiai támogatása és jogi képviselete. A jelenlegi gyakorlatban a mentális sérülések kompenzációja többnyire csak abban az esetben valósul meg, ha az érintett maga kezdeményezi és azt megfelelő dokumentációval alátámasztja. Ez azonban

	Standardizált öngyilkossági ráta (100 000 főre)	Mentális egészségügyi kutatások aránya az ország kutatásokon belül [%]	Mentális egészség részese az állami egészségügyi kiadásokból [%]	Mentális egészségügyi szakemberek száma 100 000 főre vetítve
Németország	8,27	10,41	13,1	223,76
Magyarország	11,77	8,82	3,2	41,54
Franciaország	9,65	7,64	14,5	141,74
Svédország	12,37	13,35	–	232,97
Bulgária	6,5	6,25	2,6	26,31
Finnország	13,43	13,22	6,3	222,17
Svájc	9,83	9,42	6,3	103,84
Szerbia	7,86	3,13	–	26,98
Lengyelország	9,3	6,68	3,5	66,87
Moldova	12,17	8	2,5	20,97
Litvánia	20,15	10,53	4,2	96,39
Lettország	16,06	5,26	4,8	283,63
Olaszország	4,33	6,78	3,6	43,28
Írország	8,9	12,98	6	236,25
Izland	11,15	9,9	–	–

1. táblázat: Egy főre jutó teljes mentális egészségügyi kiadások forintban, 2020
(forrás: World Health Organization, 2021)

ritkán történik meg, mivel sokan nem ismerik fel mentális sérülésük jellegét, vagy nem mernek segítséget kérni.

Saját tapasztalataim, az interjú és a konferencia során kapott visszajelzések alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a közlekedési balesetek érintettjei gyakran nem rendelkeznek elegendő, közérthető információval arról, milyen lehetőségeik vannak a balesetet követően, legyen szó jogi, orvosi, pszichológiai vagy szociális támogatásról. A tájékoztatás hiánya különösen kritikus a balesetet követő első napokban, amikor az érintettek és családtagjaik kiszolgáltatott helyzetben vannak, és nehezen tudják megítélni, hová fordulhatnak segítségért.

Ezt az információs hiányt többféle módon is lehetne csökkenteni. Hasznos lenne például, ha a kórházakban és baleseti osztályokon jól látható helyen elhelyezett tájékoztató anyagok (prospektusok, plakátok) ismertetnék a legfontosabb teendőket és az elérhető támogatási formákat. Emellett a háziorvosok is fontos szerepet játszhatnának a felvilágosításban, hiszen, ha célzottan tájékoztatnák pácienseiket a lehetséges utókezelésekről, rehabilitációs lehetőségekről vagy jogi tanácsadási formákról, az nagymértékben megkönnyítené a betegek helyzetét. Mindez elősegítené, hogy az érintettek tudatosabban és magabiztosabban birkózzanak meg a balesetet követő időszak kihívásaival.

Meggyőződésem, hogy a közlekedésbiztonság komplex megközelítése magába kell, hogy foglalja a balesetet szenvedettek mentális felépülésének támogatását is. A megelőzést, felelősségre vonást és technológiai fejlesztéseket célzó intézkedések önmagukban nem elegendők, ha közben háttérbe szorulnak a pszichés következmények, amelyek hosszú távon alapvetően befolyásolják az érintettek életminőségét. A mentális támogatásnak szerves részét kell képeznie a balesetek utáni hivatalos ellátási folyamatoknak, hiszen az ilyen sérülések gyakran láthatatlanok, mégis mélyen meghatározzák az egyén életútját és társadalmi beilleszkedését.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Központi statisztikai Hivatal (KSH): Összefoglaló táblák (STADAT), 4.1.1.46. Közlekedési balesetek, https://www.ksh.hu/stadat_files/ege/hu/ege0061.html (2025.09.02.)
- [2] Maráczai, R. D. (2025) A közlekedési balesetekkel összefüggésbe hozható mentális következmények kezelése. In: III. Közlekedésbiztonsági Konferencia. Győr, pp.14–22.
- [3] Ádámné J. A. (2023) A közlekedési baleset okozása a következtében traumatizált gépjárművezetők járművezetési alkalmasságának alakulása az időmúlás függvényében. Doktori értekezés. Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Rendészettudományi Doktori Iskola
- [4] Southwick, S., M., Yehuda, R, Wang, S. (1998). Neuroendocrine alterations in posttraumatic stress disorder. *Psychiatric Annals*, 28, pp. 435-442. <https://doi.org/10.3928/0048-5713-19980801-07>
- [5] Yehuda, R. (2000). Biology of posttraumatic stress disorder. *Journal of Clinical Psychiatry*, 61,14-21.
- [6] Atkinson, Hilgard (2005). *Pszichológia, Hardmadik átdolgozott kiadás.* Osiris Kiadó, Budapest
- [7] Yehuda, R, Mcfarlane, A., C., Shaley, A. Y. (1998) Predicting the development of posttraumatic stress disorder from the acute response to a traumatic event. *Biological Psychiatry*, 44,1305-1313. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(98\)00276-5](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(98)00276-5)
- [8] 2009. évi LXII. törvény – a kötelező gépjármű-felelősségbiztosításról (<https://njt.hu/>) (2024.07.09.)
- [9] Csáko Beáta: Egészségügyi országprofil, 2023 – Képviselői Információs Szolgálat, 2024/32.
- [10] World Health Organization, 2021: Mental health atlas 2020, Member State Profiles



**Practices for Treating
Mental Health Problems
Arising from Traffic
Accidents**

*Keywords: traffic safety, mental health,
rehabilitation, traffic accident*

In traffic accidents, the focus is usually on physical injuries, while the psychological consequences are often overlooked. Survivors may experience post-traumatic stress, anxiety, sleep disorders, or an aversion to driving. Without treatment, these can permanently impair quality of life and even endanger traffic safety. The study presents the mental effects of trauma and the shortcomings of care.



Támogatóink

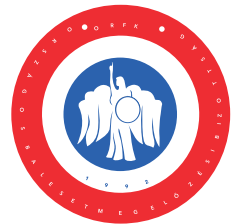


ÉPÍTÉSI ÉS KÖZLEKEDÉSI
MINISZTERIUM



KTI
Alapítva - Since 1938

Magyar Közlekedéstudományi
és Logisztikai Intézet



Petőfi
Kulturális
Ügynökség



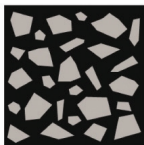
STADLER

Stadler Trains Magyarország Kft.

FÜMTERV



VOLANBUSZ



EUROASZFALT
ÉPÍTŐ ÉS SZOLGÁLTATÓ KFT.

HungaroControl

Magyar Légiforgalmi Szolgálat



**KÖZLEKEDÉS
TERVEZŐIRODA**



NEMZETI
ÚTDÍJFIZETÉSI
SZOLGÁLTATÓ ZRT.

