

LXXIV. ÉVFOLYAM 4. SZÁM  
2024. AUGUSZTUS

# KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE



A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA  
ALAPÍTVÁ 1951-BEN

# PÁLYÁZATI FELHÍVÁS

## A CZÉRE BÉLA-DÍJ ELNYERÉSÉRE – 2024.

A KTE 2015. május 21-én egyben megtartott Országos Elnökségi Ülésén és Küldöttközgyűlésén megalapította a **Czére Béla-díjat**.

Czére Béla jelentős vasúti és tudományos munkája és eredményei mellett Egyesületünkben is több fontos tisztséget töltött be és látott el kiválóan. Az Egyesület az Ő nagyformátumú személyének emlékére, valamint szellemi örökségének továbbvitelére hozta létre a nevével fémjelzett díjat. A Czére Béla-díjat 2024-ben két kategóriában hirdetjük meg, amelyet a KTE szokásos év eleji ünnepélyes Országos Kibővített Elnökségi Ülésén adunk át.

### KATEGÓRIA I. (tanulmány, kutatási anyag, cikk)

#### Pályázati feltételek:

1. Tárgykör: közlekedéstörténet
2. Minimum 10, maximum 20 gépelt oldalas önálló, magyar nyelvű és rövid összefoglalót tartalmazó anyag
3. KTE tagság nem feltétel
4. A díjat nem nyert pályázatokkal egy alkalommal újra lehet indulni

### KATEGÓRIA II. (könyv)

#### Pályázati feltételek:

1. Tárgykör: közlekedéstörténet
2. A tárgykörnek megfelelő tartalmú négy évnél nem régebben megjelent könyv
3. A pályamű lehet többszerzős vagy szerkesztett kiadvány<sup>1</sup>
4. KTE tagság nem feltétel
5. A díjat nem nyert pályázatokkal egy alkalommal újra lehet indulni

### A díjakkal járó jutalmak

A díjakkal nettó 25 000 Ft pénzjutalom és egy, Czére Béla életéről szóló, „Egy élet a vasút szolgálatában” című könyv jár.

### A pályázat benyújtása

Benyújtási határidő: 2024. szeptember 23. 13:00

A pályázati anyagot (I.) esetén nyomtatott és elektronikus változatban, (II.) esetén elektronikus változat hiányában két példányban kérjük benyújtani a KTE címére, 1066 Budapest, Teréz krt. 38. II/235. Személyes benyújtásra: H–Cs: 9:00–15:00 óra között van lehetőség. Az elektronikus változatot kérjük a [szemle@ktenet.hu](mailto:szemle@ktenet.hu) címre továbbítani. Tárgy: Pályázat a Czére Béla-díjra. Kérjük, hogy a pályázati anyagon jól olvashatóan szerepeljen a pályázó neve és elérhetősége (lakcím, e-mail cím és mobiltelefonszám) és annak megjelölése, hogy az (I.) vagy (II.) kategóriában vesz részt.

A pályázatokat a Czére Béla-díj Bizottság bírálja el. Az eredményhirdetés és díjátadás a Bizottság javaslata alapján az éves Országos Kibővített Elnökségi Ülésen történik.

Budapest, 2024. július 3.

Dr. Horváth Balázs  
főtitkár

<sup>1</sup> A pályázatot a főszerkesztő vagy a szerkesztő nyújthatja be.

## KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE

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

Megjelenik kéthavonta  
www.ktenet.hu

ALAPÍTOTTA:  
a Közlekedéstudományi Egyesület

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG:  
Kövesné Dr. Gilicze Éva elnök  
Dr. Katona András főszerkesztő  
Dr. Békési István  
Berta Tamás  
Horváth Lajos  
Huska Dávid  
Dr. Prileszky István  
Somogyi Marcell  
Dr. Tanczos Lászlóné  
Dr. Tóth János  
Dr. Tóth László

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

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

FELELŐS KIADÓ:  
Dr. Horváth Balázs,  
a Közlekedéstudományi Egyesület főtítkára

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

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

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

TERJESZTŐ:  
Magyar Posta Zrt. Központi Hírlap Iroda  
1089 Budapest Orczy tér 1., Telefon: 36-1-4776300

ISSN 0023 4362

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



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

# TARTALOM

## Ali Saleh – Gáspár László

Aszfaltkeverékek közvetett húzószilárdságának modellezése mesterséges intelligencia alkalmazásával 8

## Ardai István Tamás – Dr. Tóth Bence

A magyarországi vasúthálózat kapacitáskorlátainak matematikai modellezése különös tekintettel a Magyar Honvédség szállítási feladataira 24

## Nagy József – Lakatos István

Közúti járművekből kinyert online adatok kezelésének és feldolgozásának informatikai és jogi háttere megelőző javítási stratégia esetén 33

## Melléklet

*Közlekedésbiztonság -  
Közlekedési környezetvédelem*

## Dr. Borsos Attila – Dr. Miletics Dániel

### Ahmad Kizawi – Ladich Marcell

### Homola Dávid

Közúti konfliktusok elemzése:  
a svéd konfliktus technikától a videó alapú elemzési módszerekig 41

## Dr. Bódi Antal PhD

Paradigmaváltás előtt áll a közlekedés -  
A zöldhidrogén felhasználása  
a közlekedésben 52

A Közlekedéstudományi Egyesület 10. alkalommal rendezte meg a „Közlekedési Kultúra Napja,» címmel országos nagyrendezvényét. A megnyitó ünnepségen a hazai szereplők mellett külföldi előadók is szerepeltek. Az EPTS alapítvány főtítkárának tartalmas megszólalása emelte az esemény nemzetközi tudományos jelentőségét.



European Platform of  
Transport Sciences

*Budapest, 2024. 05. 10.*

*A Közlekedési Kultúra Napja*

*Sebastian BELZ beszéde*

*A Közlekedéstudományok Európai  
Platformjának főtítkára*

*(EPTS alapítvány bejegyzett társaság)*

*A szóban elhangzott szöveg érvényes /  
nem tehető közzé 2024. 05. 10-én 10 óra előtt*

*Kapcsolat: [belz@epts.eu](mailto:belz@epts.eu); [www.epts.eu](http://www.epts.eu)*

**Kedves Dr. FÓNAGY Úr,  
kedves Dr. NAGY Úr, kedves BÍRÓ Úr,  
kedves Dr. HORVÁTH Úr!  
Kedves szervezők,  
tisztelt Hölgyeim és Uraim!**

Nagy öröm számomra, hogy ismét lehetőségem nyílik néhány üdvözlő szót mondani Önöknek az Európai Közlekedéstudományi Platform (EPTS) részéről. Mindig nagyon jó érzés részt venni a Közlekedési Kultúra Napján Budapesten és személyesen találkozni Önökkel. Idén azonban egészen különlegesen megtisztelő ez az alkalom, hiszen a Közlekedési Kultúra Napjának 10. jubileumi évfordulója van.

Az EPTS egy olyan páneurópai szövetség, ahol az európai nemzetek közlekedéstudományok területéhez kapcsolódó képviselői együttműködnek és cserélik ki tudásukat és tudományos eredményeiket, hogy szembenézzenek a közlekedés és a mobilitás kihívásaival az egyesülő Európában.

2001 óta működünk együtt, és 25 különböző európai országban több mint 30 000 főt képviselő tagszervezeteinkkel élénken és gördülékenyen működő hálózatot hoztunk létre a jövő fenntartható európai közlekedési szerkezetének megteremtése érdekében.

A mobilitás mindig kapcsolatot jelent, és mi szeretnénk segíteni az európai polgárok és nemzetek közötti békés és virágzó kapcsolatok kiépítését, akár az Európai Unión kívül is. Úgy vélem, hogy ez a cél az utóbbi időben még fontosabbá vált, mivel több válsággal kell szembenéznünk, amelyek a környezetet és a humán szférát egyaránt érintik.

Az európai platform céljai a semlegesség és az objektivitás elvén alapulnak, és minden országban, minden közlekedési módra és tudományos szakmára kiterjednek. Az EPTS-nek ehhez a mélyreható és hosszú távú fejlődéshez történő hozzájárulását a brüsszeli tisztviselők és a nemzeti parlamentek rendkívül fontosnak tartják.

A magyar KTE a kezdetektől fogva tagja az EPTS-nek, és egyben az egyik legnagyobb partnerünk. Az évente megrendezett Európai Közlekedési Kongresszusaink közül négyet volt szerencsénk Magyarországon megtartani, háromszor Budapesten, egyszer pedig Győrben. Mindegyik kongresszust nagyszerű szervezettséggel és olyan kiemelkedő vendégszeretettel övezve sikerült megrendezni, hogy

csak annyit szeretnék mondani: kedves barátaim, köszönöm szépen a kiváló és gondoskodó partnerséget.

Hölgyeim és Uraim, a Közlekedési Kultúra alapvető európai érték!

Az emberek közötti érintkezés mindig és elkerülhetetlenül szükségessé tesz valamiféle sajátos kulturális nevelést. Lehet valakit udvariasabban - vagy sértőbben - megszólítani. De előbb tudatosítanunk kell, hogy nem vagyunk egyedül. Csak ezt követően leszünk képesek tudatosan átgondolni, hogyan bánjunk a másik féllel.

Ez a kulturális nevelés a legkorábbi gyermekkorban kezdődik, amikor megtanuljuk, hogyan kell együttműködni a szüleinkkel, testvéreinkkel. Ez folytatódik az iskolában, az egyetemen és a munkahelyen töltött idő alatt. És nem utolsósorban az élet "szabadidős" oldalára is kiterjed: sport, hobbi, egyházi tevékenységek stb. Szó szerint az élet minden része ezeket a kulturális szabályokat követi, legyenek azok írottak vagy íratlanok. Így van ez a közlekedéssel is. Amint elhagyjuk a magán lakhelyünket, belépünk a közterületre. Ott - megint csak - kapcsolatba kerülünk másokkal, akik gyalognak, kerékpároznak, autóznak, vagy csak szó szerint ugyanazon a területen állnak, mint mi. Mindannyian ugyanazon a téren osztozunk, hogy igényeinket kielégítsük, és ezért tudnunk kell, hogyan viselkedjünk. Ezeknek a kulturális szabályoknak kell megakadályozniuk, hogy kárt okozzunk másoknak, és hogy mások kárt okozzanak nekünk.

A közlekedésben és a mobilitásban van azonban egy különleges kihívás is: ez a sebesség! Minél gyorsabban haladunk, annál valószínűbb, hogy keresztezzük egymás útját. És minél nehezebb a mobilitási eszköz, ezek a "keresztezések" nagy valószínűséggel valóban veszélyes helyzetet idéznek elő. Ezért határozott szabályozásuk szükséges. Ezen túlmenően, mindenkinek mindig megfelelően és megbízhatóan kell cselekedni és reagálni, különösen bizonytalan körülmények között és kivétel nélkül a "biztonságos irányt" követve.

A sokszínű térben való mozgáshoz nagyon mélyfokú megértésre, nagyon összetett életfilozófiára van szükség. Figyelemre és kíváncsiságra van szükségünk ahhoz, hogy előre tekintsünk, túllássunk a dolgokon. Ez valóban viselkedés, szociális kompetencia és "közlekedési kultúra" kérdése.

Ez az oka annak, hogy a mai Közlekedési Kultúra Napja olyan kiemelkedő jelentőségű, különösen az Európában és a világban tapasztalható zavarok idején! A cselekvést megelőzi a kimondott szó. A szó előtt jön a gondolat. Nagyobb érzékenységre van szükségünk saját magunk és szomszédjaink érzelmi és gondolatai iránt, mert ezekből ered közös kultúránk.

Az emberek figyelmének felhívása a közlekedésbiztonsági kérdésekre és a toleráns viselkedésre az emberek fejében kezdődik.

AZ, HOGY MINDENKIVEL MINDIG ÚGY BÁNJUNK, AHOGY AZT SZERETNÉNK, HOGY VELÜNK IS ÍGY BÁNJANAK. Ez egyetemes, vitán felül álló közös érték. Mindig adjunk tiszteletet a másik félnek, a családban, a munkahelyen, a nyaralás során, otthon és külföldön egyaránt.

Tisztelt Hölgyeim és Uraim! A mostani, 10. Közlekedési Kultúra Napja háborús körülmények között zajlik. És küszöbön állnak az európai parlamenti választások is. A jubileum tehát a még erősebb elkötelezettséget szolgálja az emberi jogok, a szabadság és a béke értékei mellett a magyar emberek és minden európai polgár számára. Az EPTS célja, hogy a Közlekedési Kultúra Napját évről évre tovább, nemzetközi szintre emelje. Továbbra is együtt fogunk dolgozni a közös sikerért.

Kívánom, hogy legyen csodálatos a napjuk, valamint, hogy mindig és mindenütt biztonságosan és érzékeny módon közlekedjenek. És kérem, mindig **TEKINTSENEK ELŐRE!**

Kulturált közlekedést kívánok minden napra!

Köszönöm szépen!



European Platform of  
Transport Sciences



*Budapest, 10. 05. 2024  
Day of Transport Culture  
Speech of Sebastian BELZ,  
Secretary General of the European Platform  
of Transport Sciences (EPTS Foundation e.V.)  
Validity shall have the spoken word /  
not to be published before 10. 05. 2024, 10 am  
Contact: [belz@epts.eu](mailto:belz@epts.eu); [www.epts.eu](http://www.epts.eu)*

**Dear Dr. FÓNAGY,  
Dear Mr. NAGY, Dear Mr. BÍRÓ,  
Dear Dr. HORVATH,  
Tisztelt Hölgyeim és Uraim,  
Dear Organisers and  
Dear Ladies and Gentlemen,**

It is a great pleasure for me to have the opportunity of giving you once again some words of greeting from the side of the European Platform of Transport Sciences. It always is a very good feeling to attend the Day of Transport Culture in Budapest and to meet you personally. But this year it is a very special honour, as it is the 10th jubilee of the Day of Transport Culture.

The EPTS is a pan-European association, where people from all European nations related to the field of transport sciences collaborate together, exchanging knowledge and scientific results to face the challenges of transport and mobility in our unifying Europe.

We are working together since 2001 and with member associations in 25 different European countries, representing more than 30.000 individuals, we have established a frequent and fluent network to set up the sustainable European Transport Architecture of the Future.

Mobility always means relationship, and we want to help building peaceful and prosperous relationships between European citizens and nations, even beyond the European Union. I believe, that this goal has gained more importance recently, as we are facing multiple crises, caused by both, the environment and humans.

The goals of the European Platform are based on the principles of neutrality and objectivity and cover all transport modes and all scientific professions in all countries. The EPTS' contribution to this deep and long-lasting development is regarded as highly important by Brussels officials and in the national parliaments.

From the beginning the Hungarian KTE is member of EPTS and one of our largest partners. We have had the privilege to hold four of our annual European Transport Congresses in Hungary, three times in Budapest and once in Győr. All of these Congresses were organised splendidly and with such a grand hospitality, that I would simply like to say: Köszönöm szépen, my dear friends, for your excellent and caring partnership.

Ladies and Gentlemen, Transport Culture is a core European value!

Interaction with other people always and inevitably requires some sort of distinct cultural education. You may address somebody in a more polite – or more offensive way. But first you must become aware, that you are not alone. Only then you will be able to consciously consider how to treat your counterpart.

This cultural education starts in your earliest childhood, when you learn how to interact with your parents, brothers and sisters. It continues during your time in school, at university and at work. And last not least it also covers the “leisure” side of life: sports, hobbies, church activities etc.. Literally every part of life follows these cultural rules, written or unwritten. And so does transport.

As soon as we leave our private house we enter common grounds. There - again - we interact with other people. They are walking, cycling, driving or just standing literally on the same grounds as we do. We all share this same space to fulfil our needs, and thus we need to know, how to behave. These cultural rules shall prevent us from harming others and being harmed by them.

Yet there is a special challenge incurred in transport and mobility: it is speed! The faster one moves, the more likely it is to cross one another's way. And the heavier your mobility device is, these “crossroads” are likely to end in a really hazardous situation. Distinct regulation is a necessity. Surplus, everybody always has to act and react in an appropriate and reliable way, especially in uncertain circumstances and without exception towards the “safe side”.

Moving in a diverse space needs a very deep understanding, a highly integrated philosophy of life. It needs attentiveness and curiosity to look beyond. It is truly a question of behaviour, of social competence, and of “Transport Culture”.

And that is the reason, why today's Day of Transport Culture is of such outstanding im-

portance, especially during these times of disruption in Europe and the World! Before the action comes the word. Before the word comes the thought. We need a higher sensitivity for our and our neighbours feelings and thoughts, because they are the origin of our common culture.

To draw people's attention to transport safety issues and to tolerant behaviour starts in the people's minds.

TO TREAT EVERYBODY EVERYTIME LIKE YOU WISH TO BE TREATED YOURSELF is a universal, non-negotiable common value. Always pay respect to your counterpart, in your family, at work, during holiday, at home and abroad.

Ladies and Gentlemen, this 10<sup>th</sup> Day of Transport Culture is another one under wartime conditions. And the general elections for the European Parliament are just around the corner, too. The jubilee will thus serve as an even stronger commitment to the values of human rights, freedom and peace, for the Hungarian people and for all European citizens. The EPTS' goal is to further raise the Day of Transport Culture year by year to the international level. We will continue to work together for our common success.

I wish you all a beautiful day and a safe and sensitive travel at all times. And please, always LOOK BEYOND!

Kulturált közlekedést minden napra!

Köszönöm szépen!  
Thank you very much!

# Aszfaltkeverékek közvetett húzószilárdságának modellezése mesterséges intelligencia alkalmazásával

Az újrahasznosított aszfaltot és habosított bitument tartalmazó aszfaltkeverékek közvetett húzószilárdságának előrebecslése lineáris regressziós és a neurális hálózati modellekkel jó szakmai célkitűzés. A kutatások során a véletlenszerű erdő (random forest) és a neurális hálózat (neural network) modell összehasonlításával igazolták a gépi tanulási technikák ilyen irányú hasznosíthatóságát.

*Kulcsszavak: habosított bitumen, meleg aszfaltkeverék, neurális hálózat, szupport vektor regresszió (SVR), gépi tanulás*

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.4.1>

## Ali Saleh<sup>1</sup> – Gáspár László<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István Egyetem, Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar,  
Közlekedésépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

<sup>2</sup> Széchenyi István Egyetem, Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar,  
Közlekedésépítési és Vízgazdálkodási Tanszék,

KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet Nonprofit Kft.,  
email: gaspar.laszlo@kti.hu

## 1. BEVEZETÉS

Az útpályaszerkezet egészének hosszú távú teljesítménye az egyes rétegek kölcsönhatásától is nagymértékben függ; ebben a tekintetben a tudományos alapokon nyugvó pályaszerkezet-tervezési módszerek alkalmazása kiemelt szerephez jut [1]. Például, a Superpave módszer, a Bailey-módszer, a Durva adalékanyag hézagát kitöltő módszer (Coarse Aggregate Void Filling, CVAF), a Marshall-módszer és a Kiegyensúlyozott keverési módszer bármelyike érdemlegesen hozzá tud járulni a jó minőségű aszfaltkeverékek előállításához [2], [3].

Az útügyi projektek költségeinek és az üzemanyag-fogyasztásnak a csökkenése, illetve az energiahatékonyság növekedése következtében, a meleg aszfaltkeverék (WMA) és az azal kapcsolatos előnyök iránt az elmúlt években egyre nagyobb érdeklődés nyilvánul meg. A WMA további környezetvédelmi előnyei, különösen a károsanyag-kibocsátás csökkentése terén, jelentős mértékben járulnak hozzá a környezet megóvásához, mind pedig az úton dolgozók egészségéhez. Az alacsonyabb keverékgyártási hőmérsékletre irányuló igények kielégítésére újabb technológiák jelentek meg, amelyek közül a habosított bitumen a fenntartható útépités egyik fontos eleme [4].

A habosított bitumen technológiát elterjedten alkalmazzák alaprétegek stabilizálására. Ennek során előnyös körülmény az alapréteg szilárdságának növelése. Így a rétegvastagság csökkenthető, az vízzáróbb lesz, valamint a szélsőségesen kedvezőtlen időjárási viszonyokkal szemben is nagyobb az ellenállása. A habosított bitumen készítésének elvét 1956-ban Ladis Csanyi professzor dolgozta ki az Iowa Állami Egyetemen [5]. A Mobil Oil későbbi fejlesztései, köztük a tágulási kamra bevezetése, a technológiát tovább finomították.

A habosított bitumen mechanikája a víznek, a levegőnek és a bitumennek a tágulási kamrában való alapos összekeverését jelenti. E technológia döntő fontosságú eleme, hogy a forró bitumenbe kis mennyiségű, hideg vizet fecskendeznek, aminek hatására a kötőanyag eredeti térfogatának mintegy tizenötszörösére tágul [6]. A habosított bitumen jellemzőit, mint a legnagyobb térfogatnövekedési arányt (ER) és a felezési időt (HL) olyan tényezők is befolyásolják, mint a bitumen hőmérséklete, a %-os víztartalom, a légnyomás és a bitumen minősége. Figyelemre méltó, hogy a megnövekedett víztartalom hatására nagyobb lesz a térfogatnövekedési arány, ugyanakkor csökken a felezési idő, a fenntartható útépítés ezen területének megtervezésekor kényes egyensúlyt teremtve.

A környezeti fenntarthatósággal kapcsolatos aggályok kezelése során, egyre nagyobb szerephez jut az újrahasznosított aszfaltanyagok (RAM) felhasználásának optimalizálása. A RAM-nak új aszfaltkeverékekbe történő adagolása nemcsak az anyagköltségek csökkentését szolgálja, hanem a nem megújuló erőforrások megőrzéséhez is érdemlegesen hozzájárul. A National Asphalt Pavement Association (NAPA) által 2018-ban lefolytatott vizsgálat rávilágított arra, hogy az aszfaltkeverékek átlagos RAM %-os aránya az Amerikai Egyesült Államokban folyamatosan növekedett – a 2009-es 15,6%-ról 2018-ra 21,1%-ra. Az egyes tagállamok Állami Aszfaltépítési Szövetségei – 77%-os arányban – hangot adtak azon célkitűzésüknek, hogy az újrahasznosított anyagok közúti hasznosítására irányuló erőfeszítéseiket a továbbiakban is fokozni kívánják [7].

Tanulmányok foglalkoztak a különböző visszanyert aszfalt (RAP) tartalommal rendelkező és habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeverék teljesítményével [8], [9]. A mikrostruktúrákat, különösen pedig a keverék kötőanyaggal való bevonásának hatékonyságát pásztázó elektron-mikroszkóppal (SEM) vizsgálták [10], [11]. Az újrahasznosított aszfaltkeverékekben a levegő hégeloszlásának vizsgálatát SEM és a röntgenszámítógépes tomográfia alkalmazásával végezték el [12], [13].

A laboratóriumi vizsgálatok hatékonyságának növelése érdekében, a kutatók olyan modellezési technikákat alkalmaztak a különböző aszfaltkeverékek optimális bitumentartalmának meghatározására, mint a mesterséges neurális hálózatok [14]. Nevezetesen, a válasz felületi (Response Surface) módszertan alkalmazásával, az újrahasznosított meleg adalékanyagkeverékeknel a legkedvezőbb bitumentartalmat határozták meg.

## 2. HÁTTÉRINFORMÁCIÓK

### 2.1. A kötőanyag hatása

Átfogó vizsgálat sorozatot végzett Abreu [15], hogy részletes információkhoz jusson a bitumen minőségének a habosítási folyamatra gyakorolt hatása tekintetében, különösen, ha a habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeverékekben (FBM) azt különböző újrahasznosított aszfalt (RAP) tartalommal is kombinálják. Az eredmények azt mutatták, hogy a RAP-tartalom növekedésével lágyabb bitumentípus alkalmazása válik szükséges-sé, ami a habosítási folyamatot érdemlegesen javítja.

Arefin [16] a habosított bitumennel készült aszfaltkeverékek (FBM) rövid és hosszú távú öregedési hatásait vizsgálta. A kutatások aláhúzták a kötőanyag-minőség kulcsfontosságú szerepét a keverék öregedési folyamatának befolyásolásában. Ezzel hangsúlyozzák annak a jelentőségét, hogy a kötőanyag minél több tulajdonságát a habosított aszfaltkeverékek tartósságának és teljesítményének értékelése során vegyék figyelembe.

Egy újabb vizsgálatban Kar [17] annak megértésére összpontosított, hogy a bitumen aszfalten- és aromástartalma hogyan befolyásolja a habosítási jellemzőket. Ezeknek az alkotóelemeknek alapos vizsgálatával, a tanulmány értékes információkkal szolgál a bitumen összetétele és a habosítási folyamat közötti bonyolult összefüggéséről, érdemlegesen hozzájárulva a habosított aszfalttechnológiák fejlesztéséhez.

Bairgi [18] és Hasan [19] tanulmányai megkérdőjelezték azokat a hagyományos állításokat, hogy a habosított kötőanyag rugalmassági modulussal mért rugalmas viselkedése a habosított víz mennyiségével közvetlen összefüggésben van. Ez a hagyományos elvárásoktól való eltérés azt sugallja, hogy a habosítási folyamatot befolyásoló tényezők összetett kölcsönhatása bonyolultabb a rugalmassági modulus és a habosított víztartalom közötti közvetlen összefüggésnél.

## 2.2. A RAP-tartalom hatása

Az újrahasznosított aszfalt (RAP) tartalomnak a habosított bitumen kötőanyagú keverék (FBM) teljesítményére gyakorolt hatását számos vizsgálat tárgyalta. Taziani [20] a 100% RAP-ot és töltőanyagként portlandcementet tartalmazó FBM-mel foglalkozott. Vizsgálatauk során a dinamikus kúszást és a dinamikus modulust határozták meg, összehasonlítva a rostok keverékhez való hozzáadásának hatásával. Az FBM teljesítményében tapasztalt jelentős pozitív változást a rostok és a cement felhasználásának tulajdonították.

Chomicz-Kowalska [21] a habosított bitumen és a bitumenemulzió kötőanyagú aszfaltkeverékeket hasonlított össze. Számos laboratóriumi tömörítési módszert és %-os RAP-arányt vett figyelembe. Az eredmények rávilágítottak arra, hogy ezek a tényezők milyen hatással vannak a vizsgált keverékek tulajdonságaira, hangsúlyozva a RAP-tartalom érdemleges teljesítménybefolyásoló szerepét.

Hou [22] a RAP szemeloszlásának az FBM dinamikus modulusára gyakorolt hatását tanulmányozta alacsony hőmérsékleten (0°C alatt). Kutatásai azt mutatták, hogy a durvább

szemeloszlás alacsony hőmérsékleten az FBM dinamikus modulusát csökkenti. Ez a hatás azonban magasabb hőmérsékleten nem volt érdemleges.

Guatimosim [23] átfogó vizsgálata a hidegen újrahasznosított, habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeverékek laboratóriumi és helyszíni értékelésére irányult. Eredményeik szerint, a hagyományos keverékekhez képest, viszonylag korán romlás jeleit tapasztalták. Idővel a pályaszerkezet-behajlás csökkent, a réteg merevségének növekedésével, bizonyítva az FBM teljesítményének időben változó jellegét.

## 2.3. A keverési hőmérséklet hatása

A habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeverékeket környezeti hőmérsékleten terítik el és tömörítik, (ezért gyakran hidegkeveréknek is nevezik azokat), az aszfalt keverési hőmérséklete döntő szerephez jut. Számos tanulmány hangsúlyozta az ásványi anyagok melegítésének jelentőségét a zúalékszemek hatékonyabb bevonása és a kedvezőbb mérnöki jellemzők szempontjából [8]. A kutatások eredményei azt mutatják, hogy a habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeverékek optimális keverési hőmérséklete, az adalékanyag típusától függően, a 13°C és a 23°C közötti tartományba esik. Az ezen tartományt el nem érő hőmérsékletű adalékanyagok gyengébb minőségű, habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeveréket eredményeznek [5].

Sánchez [24] 60% RAP-tartalmú FBM minták készítésekor az adalékanyagok hőmérsékletét 160°C-ig emelte. Eredményei azt mutatták, hogy az ásványi anyag hőmérsékletének 90°C fölé növelése a RAP előregedését eredményezte, ami aztán csökkenti a fáradással szembeni ellenállást is. Ez a tény pedig aláhúzza a keverési hőmérséklet gondos ellenőrzésének fontosságát a habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeverék optimális teljesítményének és hosszú élettartamának biztosítása érdekében.

## 2.4. A habosított bitumentartalom hatása

A habosított bitumen kötőanyagok kisebb ellenállást mutatnak a nyírási deformációval

szemben, mint a nem habosított változatok. A habosított bitumen tartalmú aszfalt ugyanakkor növeli a fáradási teljesítményt, miközben az aszfalt merevségét csökkenti. Ez a javulás a habosított bitumen kötőanyagú meleg aszfaltkeverékekben a keveréshez és a tömörítéshez szükséges alacsonyabb hőmérsékletnek tulajdonítható, aminek következtében az öregítő hatások csökkennek.

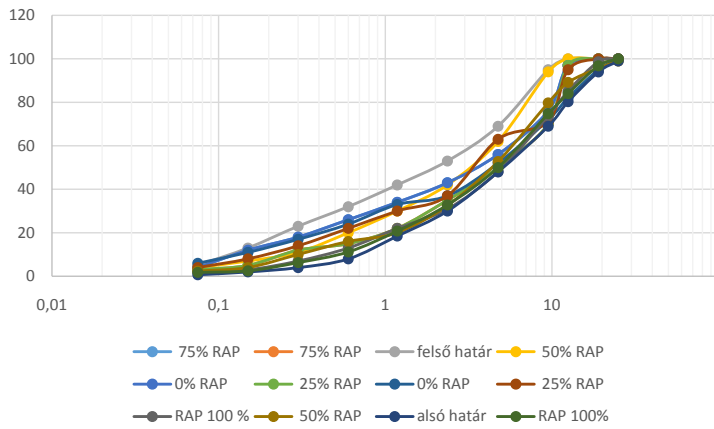
Az újrahasznosított aszfaltburkolat anyagában (RAP) levő öregedett kötőanyag kulcsfontosságú szerepet játszik a lágyabb, meleg keverék kötőanyagának ellensúlyozásában, ezáltal hozzájárulva a RAP-ot és habosított bitumént tartalmazó aszfaltkeverék öregedésének mérsékléséhez. Következésképpen ez a bonyolult kölcsönhatás rámutat a habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeverék alkalmazásának kedvező hatására a fáradással szembeni ellenállás optimalizálása terén, különösen olyan esetekben, amikor újrahasznosított anyagokat, így például RAP-t is használnak [25].

### 3. AZ ALKALMAZOTT MÓDSZER-TAN

#### 3.1. Az adalékanyag szemeloszlásának és az optimális nedvességtartalomnak a meghatározása

Az ismertetendő vizsgálatok során 2-2 szemeloszlású változatot készítettek 0-25-50-75-100%-nyi újrahasznosításra szánt, tört aszfaltburkolat anyagával; mindegyik

1. ábra: A választott szemeloszlási görbék

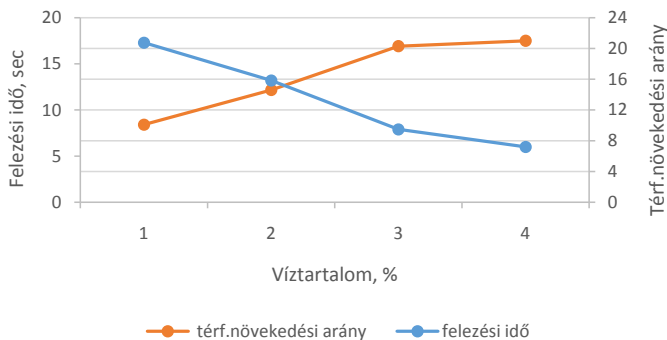


szemeloszlás kielégítette a megfelelő DIN szabvány [26] követelményeit (1. ábra). Ezen keverékek maximális térfogatsúlya, rendre, a következőnek adódott: 2,474, 2,468, 2,476, 2,471 és 2,464.

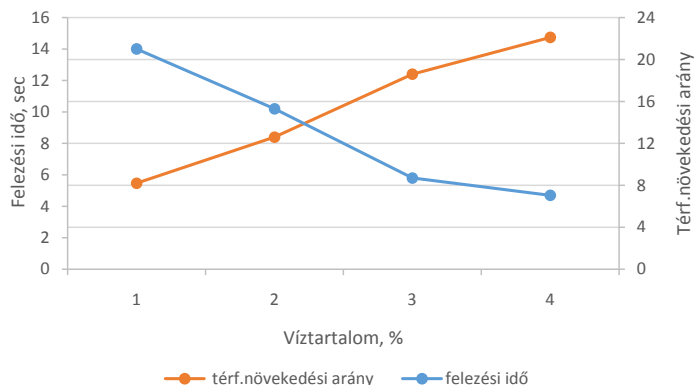
#### 3.2. Optimális nedvességtartalom meghatározása (2., 3., 4. ábra)

A vizsgálathoz választott 70/100 bituméntípusról megállapítottuk, hogy a megfelelő szabvány [27] előírásait kielégíti, valamint alkalmas az útéépítésben adalékanyagok hatékony stabilizálására. A vizsgálathoz felhasznált habosított bitumen optimális tulajdonságai közül kiemelhető a 10,2 sec-os felezési

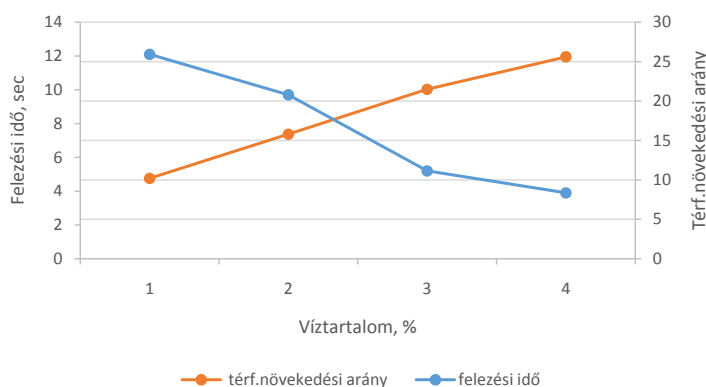
2. ábra: A B70/100-as bitumen felezési ideje és térfogatváltozási aránya 160°C hőmérsékleten



3. ábra: A B70/100-as bitumen felezési ideje és térfogatváltozási aránya 170°C hőmérsékleten



4. ábra: A B70/100-as bitumen felezési ideje és térfogatváltozási aránya 180°C hőmérsékleten



idő és a 12,6-szeres térfogatnövekedési aránya. Ezeket a kívánt tulajdonságokat 2%-os víztartalommal éri el, 170°C-os bitumen hőmérsékleten. Nevezetesen, ezek a habosított bitumen jellemzők megfelelnek a Wirtgen-csoport által megfogalmazott szabályozás követelményeinek [6], amelyek - a hatékony adalékanyag-stabilizáció érdekében, 15°C-ot meghaladó hőmérsékleten - az eredeti térfogat nyolcszorosának megfelelő minimális tágulási arányt és legalább 6 sec-os felezési időt követelnek meg.

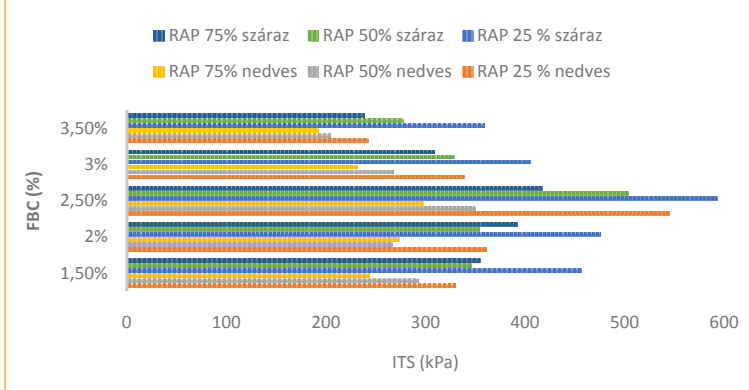
### 3.3. A habosított bitumen optimalizálása

Az 5. ábra szemlélteti mind a habosított bitumen tartalom (FBC), mind pedig a RAP %-os hatását az aszfaltkeverékek szilárdságára, különböző környezeti körülmények között. Az eredmények azt mutatják, hogy ezek a %-os eltérések a közvetett húzószilárdság (ITS) értékében jelentős különbségekhez vezethetnek, rámutatva az FBC és a RAP %-os arányok gondos megválasztásának fontosságára az aszfaltkeverékek kívánt teljesítményjellemzőinek eléréséhez, különösen a nedves és a száraz körülmények közötti húzószilárdság tekintetében.

A közvetett húzószilárdság (ITS) vizsgálatában a húzószilárdsági arány (TSR) az aszfaltkeverékek termikus repedésállóságának értékeléséhez kritikus paraméternek tekint-

hető. Ez a vizsgálati módszer az anyag húzószilárdságát értékeli, különböző hőmérsékleti feltételek mellett. A TSR a húzószilárdság alacsony és magas hőmérsékleten való arányba állításával történik. A magas TSR azt mutatja, hogy a minta repedéssel szembeni ellenállása hideg időben nagy, míg az alacsony TSR a termikus repedésekkel szembeni érzékenységet jelzi. Tehát a TSR érdemleges segítséget nyújt a különböző hőmérsékleti viszonyoknak ellenálló aszfaltanyagok tervezésében és kiválasztásában, biztosítva az aszfaltburkolatok tartósságát [28].

5. ábra: ITS-értékek, az FBC %, a RAP % és a környezeti viszonyok függvényében



A 6. ábrán a húzószilárdsági arány (TSR) értékei láthatók az újrahasznosított aszfaltgranulátum (RAP) és a habosított bitumen tartalom (FBC) %-os értékeinek különböző kombinációira. A vizsgált TSR-értékek általában elérik vagy meghaladják a 70-et, kivéve egy esetet (RAP 25%, FBC 3,5%), ami arra utal, hogy ez a variáció a termikus repedésekkel szemben érzékeny.

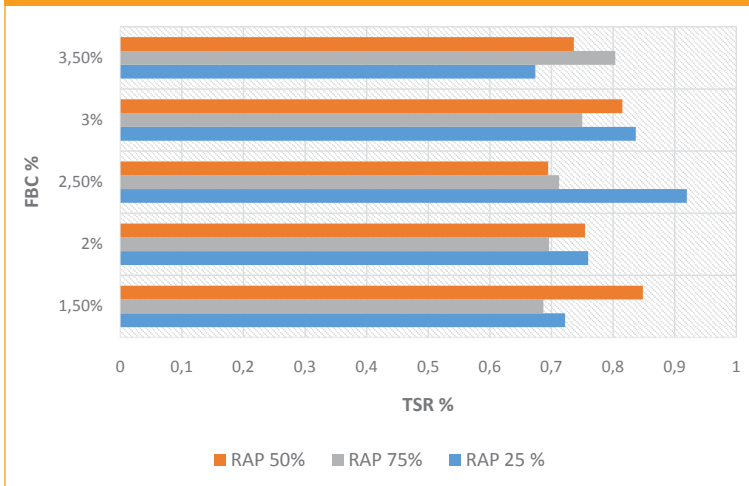
## 4. GÉPI TANULÁSI MODELLEK

### 4.1. Szupport vektor regresszió (SVR)

tése érdekében, és a hipersík "testreszabása" a margó maximalizálása érdekében.

A legújabb kutatások során, az SVR algoritmus sokoldalúságát az aszfaltkeverékek különféle tulajdonságainak előrejelzésére is egyre gyakrabban használják. Így, például, az SVR megbízható eredményeket szolgáltató modellnek bizonyult a dinamikus modulus becslésére [29] [30]. Összehasonlító vizsgálatok kimutatták, hogy a meleg aszfaltkeverékek (HMA) dinamikus modulusának előre jelzésében az SVR regresszió a többváltozós regressziós modelleknél sikeresebbnek bizonyul [30]. Ezenkívül az SVR modellek az aszfaltkeverékek nyomvályómélységét és közvetett húzószilárdságát is sikeresen előre becsülték [31] [32]. Lényeges megemlíteni, hogy SVR-modelleket, ígéretes eredménnyel, útpályák állapotának előre jelzésére is fejlesztettek ki [24] [33]. Mindezek az SVR sokoldalúságát és hatékonyságát bizonyítják, az aszfaltkutatás és az útpályaszerkezetek teljesítményének előrebecslése terén.

6. ábra: Húzószilárdsági arány, a RAP% és az FBC% függvényében



## 4.2. Adam optimalizáló

Az Adam optimalizáló olyan népszerű optimalizáló algoritmus, amelyet neurális hálózatok betanítására alkalmaznak. Az "Adaptive Moment Estimation" rövidítése, és két optimalizálási algoritmus technikáit kombinálja. Az Adam optimalizáló ritka gradiens, "zajos" adatok és a nem stacionárius célfüggvények kezelésének hatékonyságáról ismert. Az Adam minden paraméternél tapasztalható, nagy adaptív tanulási sebessége és lendületes viselkedése a mély neurális hálózatok betanítására különösen alkalmassá teszi [35].

## 4.3. Véletlenszerű erdő (random forest, RF)

Az együttes (ensemble) megközelítések több tanulási algoritmus szinergiáját hasznosítják, hogy az egyes algoritmusok képességein túlmenően javítsák az előrejelzési teljesítményt [36]. A bagging (Bootstrap Aggregating) olyan gépi tanulási technika, amelyet a modellek stabilitásának és pontosságának növelésére használnak; a bagging aggregáció fejlett iterációja a véletlenszerű erdő (random forest, RF), amelynek során számos döntési fából származó előrejelzést aggregálnak [37].

A random forest komoly előnye a bagging módszerhez képest, hogy minden döntési fa összeállításakor a felosztáshoz szelektíven ki tudja választani a funkciók egy-egy részalmazát. Ez a funkció jelentősen csökkenti a modell varianciáját, indokolatlan előrejelzési torzítás nélkül. A random forest algoritmusban a végső kimenetet többségi szavazási mechanizmus határozza meg, különösen regressziós vizsgálatok esetében.

A random forest olyan kritikus jellemzők előrebecslésére hatékonyak bizonyult, mint az aszfalt dinamikus modulusa [36], a keréknyomvályúk mélysége [38], a Nemzetközi Egyenetlenségi Index (IRI) [36], az útpályán jelentkező aligátorrepedés [37] és a burkolatfelület csúszásellenállása [40]. Rugalmassága és robusztussága révén, a random forest értékes eszköz az aszfaltkutatásban, emellett az útburkolat tulajdonságainak és teljesítményének értékelése során a pontos előrebecslésekhez és a megalapozott döntésekhez is hozzájárul.

## 4.4. Bitumenes habosító modell

Három modell készült. Az első modell regressziós feladat a gépi tanulásban, neurális hálózat segítségével az ITS értékét jelzik előre, az FBC és az RAP bemeneti jellemzők alapján. A modell tanulási hurkot alkalmaz, amely iteratív módon finomítja a modellt, amíg a modell nem lesz képes arra, hogy sok új értéket szimuláljon és tanulmányozzon, különböző feltételek mellett.

A második modell az előzőre épült, négy oszlopból (FBC, RAP, száraz ITS és nedves ITS) álló adatkészleten lineáris regressziós elemzést hajt végre.

A harmadik modell a szupport vektor regressziót (SVR) hasznosította a közvetett húzószilárdság (ITS) előrejelzésére, nedves és száraz körülmények között.

Ezt követően a korábbi modellek ellenőrzésére random forest modellek készültek, külön-külön kifejlesztve nedves és száraz viszonyokra. A betanítást követően, a modelleket a tesztkészleten értékelik, és kiszámítják az átlagos négyzetes hibát, hogy az előre becsült teljesítményüket számszerűsítsék.

## 5. EREDMÉNYEK

### 5.1. Az ITS befolyásoló paramétereivel való kapcsolata

#### 5.1.1. A habosított bitumen tartalom (FBC) ITS-re gyakorolt hatása

Mechanikai tulajdonságok: a habosított bitumen tartalom az aszfaltkeverék merevségét és rugalmasságát növeli.

Nagyobb teljesítmény: a megfelelően ellenőrzött FBC % az adalékanyagok és a bitumen kötőanyag közötti tapadást javítja. Ez a hatékony tapadás pedig hozzájárulhat a nagyobb közvetett húzószilárdsághoz (ITS), ami jobb repedéssel szembeni ellenálláshoz és az útburkolat teljesítményének javulásához vezet.

## 5.1.2. Az újrahasznosított aszfaltburkolat (RAP) adagolásának hatása a mechanikai tulajdonságokra

Fenntarthatóság: A RAP aszfaltkeverékekben való alkalmazása egyértelműen fenntartható gyakorlat, mivel az elsődleges nyersanyagok iránti keresletet csökkenti, és az aszfaltgyártással kapcsolatos környezeti hatásokat mérsékeli.

ITS és tartósság: A RAP gondosan megtervezett használata hozzájárul az aszfaltkeverék tartósságának és a terheléssel szembeni ellenállásának növeléséhez, ezáltal javítva a burkolat hosszú távú teljesítményét.

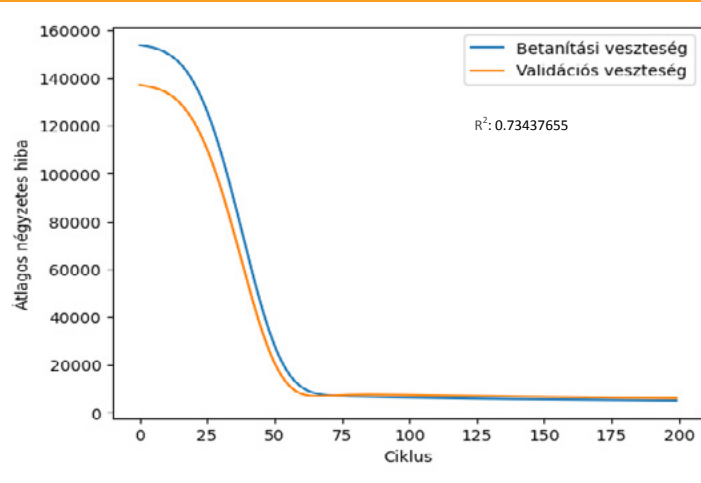
Testreszabás (customizing): Az FBC és a RAP egyidejű alkalmazása az aszfaltkeverék-receptúrák testreszabásához (a megrendelői igények fokozott kielégítéséhez) érdemlegesen hozzájárul, megfelelően a projekt konkrét követelményeinek, figyelembe véve olyan tényezőket, mint az éghajlat, a forgalmi terhelés és az út-pálya szerkezete.

## 5.2. A gépi tanulási (ML) modellek eredményei

### 5.2.1. Az első modell

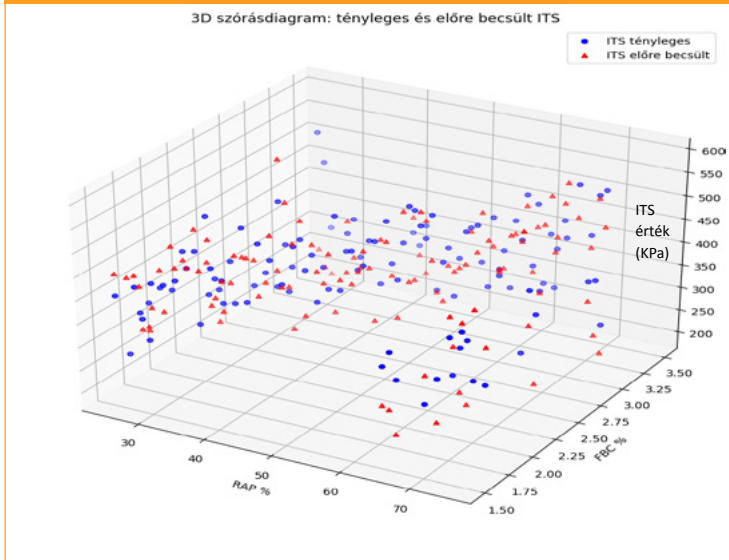
A gépi tanulási regressziós feladat modellje, FBC és RAP bemeneti jellemzőkkel, a közvetett húzószilárdság (ITS) előrejelzésére neurális hálózatot

7. ábra: A betanítási és a validálási veszteség időbeli alakulása (1. modell)

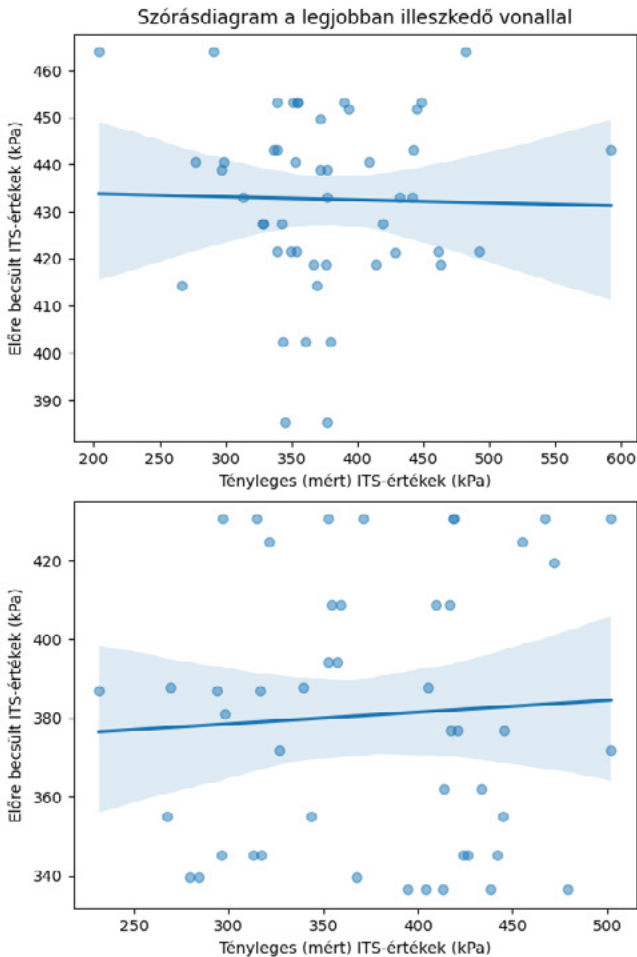


használ. A modell betanítási cikluson megy keresztül, amely iteratív módon finomítja magát, hogy új értékek széles skáláját, különböző körülmények között, szimulálni és tanulmányozni tudjon. Az adatelőkészítési fázisban, a bemeneti jellemzőket X NumPy tömbbe konzolídálják, és az ITS célváltozót y tömbben tárolják. A betanítási hurok (ciklus) magában

8. ábra: Az ITS 3D-s szórásdiagramja, RAP (%) és az FBC (%) függvényében (1. modell)



9. ábra: A betanítási időszak alatti, előre becsült és mért ITS-értékek 2D-s szórás-diagramjai, legjobban illeszkedő függvényekkel (1. modell)



hibavesztesség felhasználásával fejlesztették ki. Ezt követően, szabványosított adatokra, 200 ciklusos betanítást hajtának végre. Majd a tesztadatokra az átlagos négyzetes hibát és az R-négyzetet számítják ki. A betanulási időszak jellemzőinek alakulása, beleértve a betanulási veszteség, a validálási veszteség és az R2 diagramjait, a 7. ábrán látható. A 8. ábra a betanított modellel származó 3D szórásdiagramokat jeleníti meg, ábrázolva a tényleges (mért) és az előre becsült ITS értékek közötti kapcsolatot. A diagramok egyértelművé teszik, hogy a modell adatai mennyire illeszkednek a mérési eredményekhez. A 9. ábra pedig a betanítási folyamat során rögzített 2D szórásdiagramokat mutatja be, amelyek lehetővé teszik a modell előrejelzések időbeli alakulásának és korrekcióinak szemlélését.

foglalja az adatok felosztását betanítási és tesztelési készletekre, a szolgáltatások szabványosítását a StandardScaler segítségével és speciális architektúrájú, neurális hálózat felépítését, Keras API alkalmazásprogramozási felület alkalmazásával.

A neurális hálózat részei: bemeneti réteg 2 neuronnal, rejtett réteg 64 neuronnal és ReLu aktiválással, másik rejtett réteg 32 neuronnal és ReLu aktiválással, valamint kimeneti réteg 1 neuronnal a regresszióhoz. A modellt Adam optimalizálással és az átlagos négyzetes

A 10. ábra a korrelációvizsgálat eredményeit összegezi.

A modell végső alakja a következő:

$$ITS = 0.2939 \cdot FBC + 13.5723 \cdot RAP + 387.4862 \quad (1)$$

Ez az egyenlet kifejezi a neurális hálózatból "tanult", az inputok és az előre becsült ITS közötti összefüggést.

A betanítási folyamat az átlagos négyzetes hiba veszteség függvényét és az Adam opti-

malizálót is hasznosítja. A betanítási folyamat során alkalmazott, legfontosabb egyenletek a következők:

(1) MSE veszteség függvény:

$$\text{MSE} = 1/n \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

Az átlagos négyzetes hibát tekintik veszteség függvénynek, ahol  $n$  az adatpontok száma,  $y_i$  a tényleges (mért) ITS érték és  $\hat{y}_i$  az előre becsült ITS érték.

(2) Adam optimalizáló:

Az Adam optimalizáló pontosítja a modell súlyait, a következő egyenletek alkalmazásával: a szabályok aktualizálása minden időbeli lépésben ( $t$ ):

$$t = t + 1 \quad (3)$$

a gradiens kiszámítása  $t$ -edik időbeli lépésben:

$$g_t = \nabla_{\theta} J(\theta_t) \quad (4)$$

az első momentum becslése:

$$m_t = \beta_1 * m_{t-1} + (1 - \beta_1) * g_t \quad (5)$$

a második momentum becslés pontosítása:

$$v_t = \beta_2 * v_{t-1} + (1 - \beta_2) * g_t^2 \quad (6)$$

“zajtól” javított első momentum becslés:

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t} \quad (7)$$

“zajtól” javított, második momentum becslés:

$$\hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t} \quad (8)$$

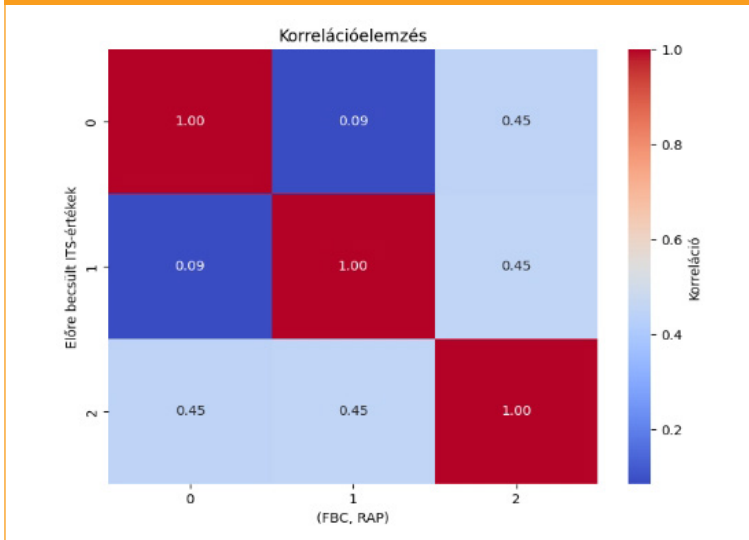
paraméterek pontosítása:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \alpha * \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t + \epsilon}} \quad (9)$$

Itt  $J(\theta_t)$  a vizsgált  $\theta_t$  paraméterekre vonatkozó célfüggvény,  $\nabla_{\theta} J(\theta_t)$  a célfüggvény gradiense és az  $\epsilon$  kisértékű állandó, amit azért adnak hozzá, hogy a 0-val való osztást elkerülhessék. Ezeknek az egyenleteknek meghatározó szerepük van a betanítási időszak során a modellparaméterek továbbfejlesztésére annak az érdekében, hogy az átlagos négyzetes hiba

(MSE) veszteséget a lehető legkisebbre szorítsák le, és az ITS értékek előrebecslési pontosságát megnöveljék.

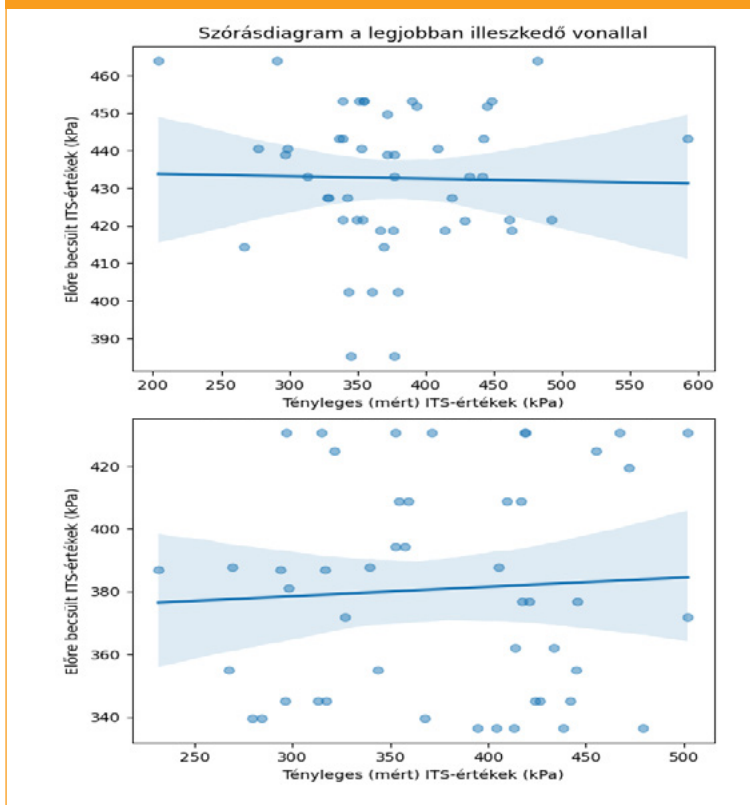
10. ábra: Az ITS-értékek és egyes ható tényezők (FBC%, RAP%) közötti korreláció elemzése (1. modell)



## 5.2.2. A második modell

A második modell négy oszlopot (FBC, RAP, száraz ITS és nedves ITS) tartalmazó adatkészleten lineáris regressziós elemzést végez. Az adatokat pandas DataFrame szerkezetbe töltöttük be, majd ható jellemzőkre ( $x$ ) és célváltozókra ( $y$ ) osztottuk fel. Az adathalmazt, "train\_test\_split" alkalmazásával, tanítási

11. ábra: A betanítási időszak alatti, előre becsült és mért ITS-értékek 2D-s szórás-diagramjai, legjobban illeszkedő függvényekkel (2. modell)



(80%) és tesztelési (20%) készletekre választottuk szét. Az ábrázolt tényezők konzisztens skálázásának biztosítására a StandardScaler szolgált.

A lineáris regressziós modellt, a scikit-learn LinearRegression osztályának felhasználásával, a betanítási adathalmazon tanítottuk be. Az előre jelzett ITS-értékeket a skálázott tesztkészleten generáltuk. Ez a modell a „száraz ITS” és a „nedves ITS” értéket is külön tekinti az outputok között. A modell teljesítményének vizuális értékeléséhez két szórásdiagramot hoztunk létre (11. ábra). Az első részdiagram a „száraz ITS” szórásdiagramját mutatja be, a pontsorra legjobban illeszkedő egyenessel; a második részdiagram pedig a „nedves ITS” értékekre teszi ugyanezt.

A 12. ábra a 2. modell korrelációvizsgálatának eredményeit összegezi.

A modelleket két rejtett réteggel tervezték, 256 és 128 neuronnal és ReLU aktivációs függvénnyel. Ezeket a modelleket - 0,001 tanulási rátával és az átlagos négyzetes hiba veszteséggel - az Adam optimalizálással állították össze. Az egyes változók egységes formáját a Standard-Scaler segítségével érték el, majd pedig a neurális hálózat modelljeit, a 13. ábrán bemutatott módon, 300 ciklusra betanították.

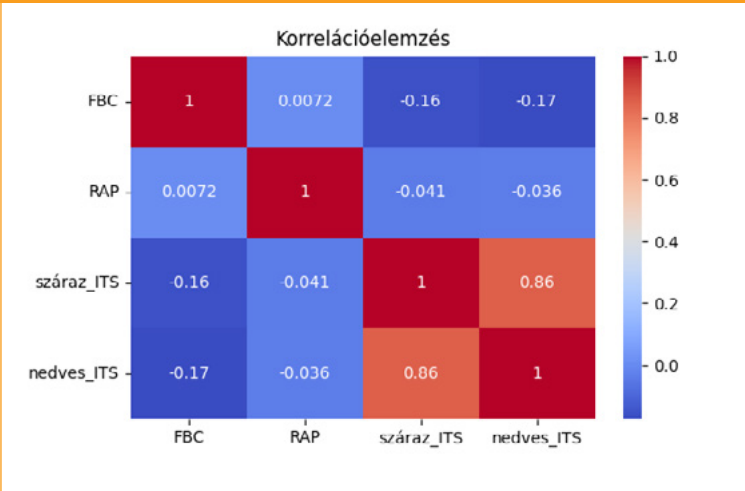
### 5.2.3. A harmadik modell

A harmadik modell a közvetett szakítószilárdság (ITS) nedves és száraz körülmények között történő előrejelzésére a szupport vektor

regressziót (SVR) alkalmazza. Az adathalmazra ható tényezőkből (FBC és RAP) és a megfelelő célváltozókból (száraz ITS és száraz ITS) áll. Ezt az adathalmazt ezután felosztottuk tréning (betanítási) és tesztelési (vizsgálati) halmazokra, külön a nedves és külön a száraz körülmények közötti vizsgálatokra. A vizsgált tényezők konzisztens skálázásának biztosítására a StandardScaler szolgált. Két SVR modellt külön-külön, nedves és száraz viszonyokra, betanítottunk, lineáris rendszermagot (kernel-t) alkalmazva.

A betanítást követően, előrebecsléseket hajtottunk végre, a tesztelési adathalmazon, és a modell teljesítményét - nedves és száraz körülmények között - olyan alapvető mérőszámok segítségével értékeltük, mint az  $R^2$  és a korrelációs együtthatók.

12. ábra: Az ITS-értékek és egyes ható tényezők (FBC%, RAP%) közötti korreláció elemzése (2. modell)



A nedves ITS esetében:  
 $R^2: 0.712$   
 Korreláció:  $-0.025$

A száraz ITS esetében:  
 $R^2: 0.780$   
 Korreláció:  $-0.023$

Ezzel a modellel a vizsgált tényezők között a következő korrelációs egyenletek születtek:

$$\text{Nedves ITS} = 341.33 - 1.44 \cdot \text{FBC} + 2.81 \cdot \text{RAP}$$

$$\text{Száraz ITS} = 412.30 - 1.48 \cdot \text{FBC} + 2.77 \cdot \text{RAP}$$

Az ellenőrző modellben (a véletlenszerű erdő -

A modellt 300 cikluson keresztül tanítottuk be, 32-es tétel (batch) mérettel; a 14. ábrán bemutatott betanítási folyamat szemlélteti a betanítási (tréning) veszteséget és a validációs veszteséget is.

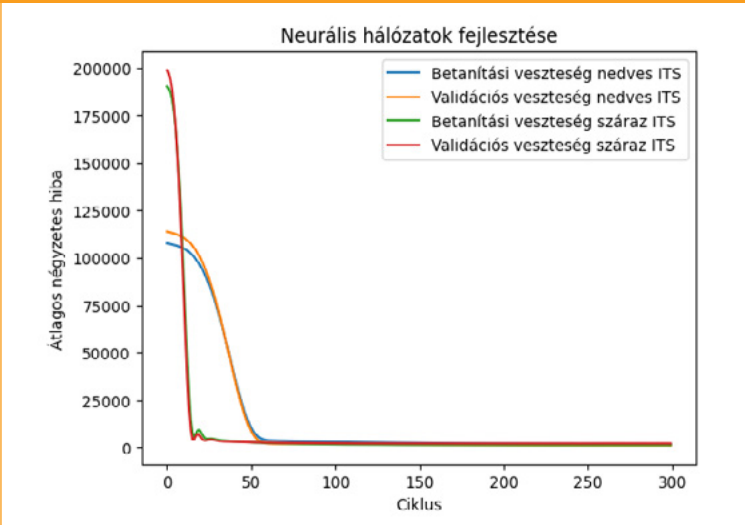
Az ITS metrika teljesítményét jellemző paraméterek:

random forest - gépi tanulási technikát alkalmazva) szórásdiagramokat generáltunk, hogy mind nedves, mind pedig száraz körülmények között, a véletlenszerű erdő és a neurális hálózat modelljeinek hasznosításával készített előrejelzéseket, a valódi (mért) ITS értékekkel szembeállítva, vizuálisan be lehessen mutatni (15. ábra). Továbbá a nedves és a száraz körülmények közötti, valódi (mért) és előrejelzett

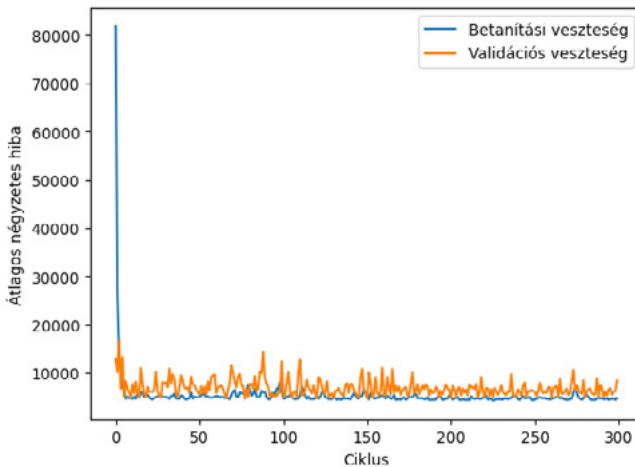
ITS-értékek korrelációs együtthatóinak meghatározására mind a véletlenszerű erdő, mind pedig a neurális hálózat modelleknél korrelációs elemzést is hajtottak végre (16. ábra).

Az általunk választott modell két előrebecslő modellt, nevezetesen a véletlenszerű erdőt és a neurális hálózatot értékeli az ITS értékeknek - az FBC és a RAP jellemzők alapján történő - becslésére, nedves és száraz körülmények között is. A random forest mo-

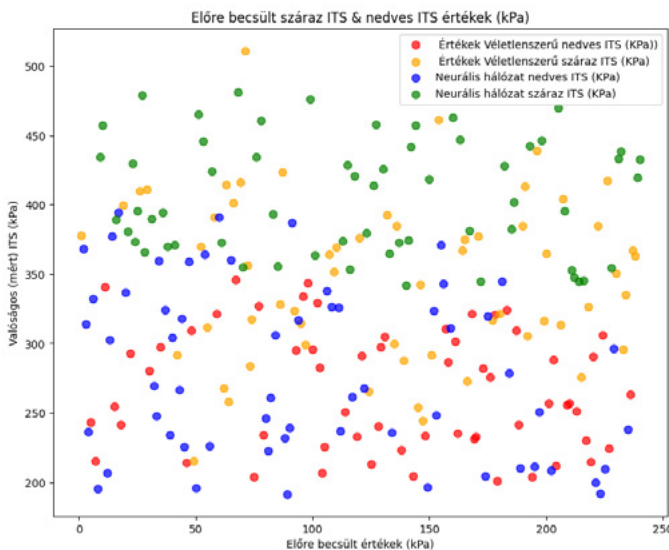
13. ábra: A neurális hálózat betanításának folyamata (2. modell)



14. ábra: A betanítási és a validálási veszteség időbeli alakulása (3. modell)



15. ábra: Az ITS 2D-s szórásdiagramja, a RAP (%) és az FBC (%) függvényében (3. modell)



dellek a scikit-learn random forest regressor segítségével, 100 becsléssel készültek, míg a neurális hálózat modelleket Keras API (Alkalmazásprogramozási Interfész) felhasználásával, a nedves és a száraz körülményekhez is megfelelő architektúrával, fejlesztettük ki.

meglehetősen eltérő viselkedést eredményez. A szárazon vizsgált ITS-nél magasabb, 0,78-as  $R^2$ -érték adódott, mint a nedves viszonyok között nyert 0,71 körüli érték. A vizsgált tényezők között nyert korreláció mindegyik esetben alacsonynak (-0,022 és -0,025 között) adódott.

## 6. KÖVETKEZTETÉSEK

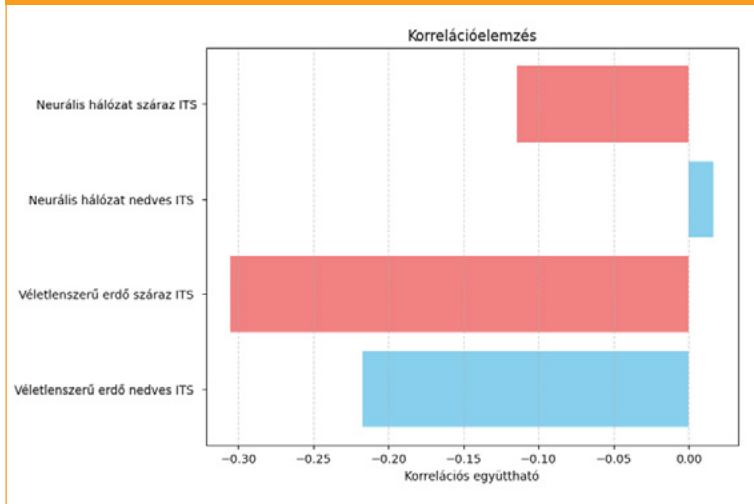
Összefoglalva, az ebben a tanulmányban elvégzett átfogó elemzés rávilágít a habosított bitumentartalom (FBC), az újrahasonosított aszfaltburkolat (RAP) és az aszfaltkeverékek közvetett húzószilárdsága (ITS) közötti bonyolult összefüggésekre. Az FBC kedvező hatása az aszfaltkeverék mechanikai tulajdonságaira és fokozott teljesítményére, a RAP adagolásából származó fenntarthatósági előnyökkel párosulva, együttesen hozzájárulnak az aszfaltburkolatok általános tartósságához és meghibásodásokkal szembeni fokozott ellenállásához.

A kidolgozott modell az ITS és az azt befolyásoló tényezők (FBC és RAP) közötti kapcsolatot sikeresen ( $R^2=0,734$ ) leképezi, azaz az előre becsült adatok a tényleges mért értékekhez jól illeszkednek [41].

A modell teljesítményének különböző körülmények között végzett további elemzése azt mutatta, hogy az ITS metrika nedves és száraz körülmények között

A lineáris regressziós elemzés és a szupport vektor-regressziós (SVR) modellek vizsgálata azt igazolta, hogy az ITS különböző feltételek melletti előrejelzésre ezek hasznos technikának bizonyultak. Ugyanis ezen modellek értékelésével, beleértve a szórásdiagramokat, a korrelációs elemzéseket és az  $R^2$  mérőszámait, bemutattuk ezeknek a megközelítéseknek a hatékonyságát az aszfaltkeverékek komplex tulajdonságainak jellemzésében.

16. ábra: Korrelációelemzés a négy vizsgált esetben (3. modell)



A véletlenszerű erdő (random forest) és a neurális hálózati modellek összehasonlítása bemutatta a gépi tanulási (ML) technikák sokoldalúságát az ITS száraz és nedves viszonyok közötti értékeinek hatékony előrejelzésében.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- L. Gáspár and Zs. Bencze, "Long-Life Pavements - European and American Perspectives". NBM&CW (New Building Materials & Construction World) 24 (3), 122-135, 2018
- T. Baghaee Moghaddam and H. Baaj, "Application of compressible packing model for optimization of asphalt concrete mix design," Constr Build Mater, vol. 159, 530-539, 2018, DOI: <https://doi.org/m42t>
- S. B. Cooper, L. N. Mohammad, S. Kabir, and W. King, "Balanced asphalt mixture design through specification modification: Louisiana's experience," Trans Res Record, National Research Council, vol. 2447, 92-100, 2014. DOI: <https://doi.org/m42v>
- S. S. Kar, A. K. Swamy, D. T. Tiwari, and P. K. Jain, "Impact of low viscosity grade bitumen on foaming characteristics," J of the South Afr Inst of Civil Eng, (60) 2, pp. 40-52, 2018, DOI: <https://doi.org/grwjxq>
- L. H. Csanyi, "Foamed asphalt in bituminous paving mixtures," Highw Res Board Bull, 160, 1957.
- G. Wirtgen, "Wirtgen cold recycling technology." Wirtgen GmbH Windhagen, Alemania, 2012.
- B. A. Williams, A. Copeland, and T. C. Ross, "Asphalt pavement industry survey on recycled materials and warm-mix asphalt usage: 2017," 2018.
- S. S. Kar, D. Tiwari, A. K. Swamy, and P. K. Jain, "Impact of binder on properties of foamed bituminous mixtures," Proc of Inst of Civil Eng. Const Mater, (17) 4, 194-204, 2017, DOI: <https://doi.org/m42w>
- M. M. Iwanski, A. Chomicz-Kowalska and K. Maciejewski, "Resistance to moisture-induced damage of half-warm-mix asphalt concrete with foamed bitumen," Mat, (13) 3, 2020, DOI: <https://doi.org/gmqqbw>
- M. Hoy, S. Horpibulsuk and A. Arulrajah, "Strength development of Recycled Asphalt Pavement - Fly ash geopolymer as a road construction material," Constr Build Mater, vol. 117, 209-219, 2016, DOI: <https://doi.org/gqg5ps>
- F. Dong, X. Yu, B. Xu, and T. Wang, "Comparison of high temperature performance and microstructure for foamed WMA and HMA with RAP binder," Constr Build Mater, vol. 134, 594-601, 2017, DOI: <https://doi.org/gqg5ps>

- [doi.org/grwjpt](https://doi.org/grwjpt)
12. J. Li, W. Fu, and H. Zang, "Design Method for Proportion of Cement-Foamed Asphalt Cold Recycled Mixture," *MATEC Web of Conf*, vol. 142, 02002, 2018, DOI: <https://doi.org/grwj3k>
  13. Z. Li, P. Hao, H. Liu, and J. Xu, "Effect of cement on the strength and microcosmic characteristics of cold recycled mixtures using foamed asphalt," *J Clean Prod*, vol. 230, 956–965, 2019, DOI: <https://doi.org/grwjbs>
  14. N. Bala, M. Napiyah, and I. Kamaruddin, "Nanosilica composite asphalt mixtures performance-based design and optimisation using response surface methodology," *Int J of Pav Eng*, 21 (1), 29–40, 2020, DOI: <https://doi.org/m42x>
  15. L. P. F. Abreu, J. R. M. Oliveira, H. M. R. D. Silva, D. Palha, and P. V. Fonseca, "Suitability of different foamed bitumens for warm mix asphalts with increasing recycling rates," *Constr Build Mater*, vol. 142, 342–353, Jul. 2017, DOI: <https://doi.org/grwjpv>
  16. M. S. Arefin, T. Quasem, M. Nazzal, A. R. Abbas, and Y. AbuHassan, "Effect of short-term and long-term ageing on dynamic modulus of foamed warm mix asphalt," *Int J of Pav Eng*, (21) 4, 524–536, 2020, DOI: <https://doi.org/grwjs7>
  17. S. S. Kar, A. K. Swamy, D. Tiwari, and P. K. Jain, "Impact of Chemical Composition on Foaming Characteristics of Asphalt Binder," *J of Trans Eng, Part B: Pav*, (146) 3, 04020045, 2020, DOI: <https://doi.org/gqj38q>
  18. B. K. Bairgi, U. A. Mannan, and R. A. Tarefder, "Influence of foaming on tribological and rheological characteristics of foamed asphalt," *Constr Build Mater*, vol. 205, 186–195, 2019, DOI: <https://doi.org/grwj36>
  19. M. R. Mohd Hasan, Z. You, H. Yin, L. You, and R. Zhang, "Characterizations of foamed asphalt binders prepared using combinations of physical and chemical foaming agents," *Constr Build Mater*, vol. 204, 94–104, 2019, DOI: <https://doi.org/gqhvmm>
  20. E. A. Taziani, E. Toraldo, F. Giustozzi, and M. Crispino, "Investigation on the combined effect of fibers and cement on the mechanical performance of foamed bitumen mixtures containing 100% RAP," *Adv in Mater Sci and Eng*, vol. 2016, 2016, DOI: <https://doi.org/f9chdk>
  21. A. Chomicz-Kowalska and P. Ramiaczek, "Comparative Evaluation and Modification of Laboratory Compaction Methods of Road Base Mixtures Manufactured in Low-emission CIR Technology with Foamed Bitumen and Bitumen Emulsion," in *Proc Eng*, Elsevier Ltd, 2017, 560–569. DOI: <https://doi.org/gmqqb7>
  22. Y. Hou, Y. Cai, Z. Zang, Z. Qian, and B. Zhao, "Dynamic Characteristics of Warm Mix Foamed Asphalt Mixture in Seasonal Frozen Area," *Adv in Mater Sci and Eng*, vol. 2019, DOI: <https://doi.org/grwjrd>
  23. F. V. Guatimosim, K. L. Vasconcelos, L. L. B. Bernucci, and K. J. Jenkins, "Laboratory and field evaluation of cold recycling mixture with foamed asphalt," *Road Mater and Pav Des*, (19) 2, 385–399, 2018, DOI: <https://doi.org/gghvk3>
  24. N. Karballaezadeh, D. Mohammadzadeh S, S. Shamshirband, P. Hajikhodaverdikhan, A. Mosavi, and K. wing Chau, "Prediction of remaining service life of pavement using an optimized support vector machine (case study of Semnan–Firuzkuh road)," *Eng Appl of Comp Fluid Mech*, (13) 1, 188–198, 2019, DOI: <https://doi.org/m43f>
  25. T. Gandhi, W. Rogers, and S. Amir Khanian, "Laboratory evaluation of warm mix asphalt ageing characteristics," *Int J of Pav Eng*, (11) 2, 133–142, 2010, DOI: <https://doi.org/fb9gtx>
  26. ASTM D692-00 "Standard Specification for Course Aggregate for Bituminous Paving Mixtures", 2004, 2 p.
  27. EN 12591 "Bitumen and bituminous binders—Specifications for paving grade bitumens", 2009, 36 p.
  28. F. Kamran, M. Basavarajappa, N. Bala, and L. Hashemian, "Performance evaluation of stabilized base course using asphalt emulsion and asphaltenes derived from Alberta oil sands," in *Trans Res Rec* vol. 2675, no. 10, SAGE Publications Ltd, 2021, 764–775. DOI: <https://doi.org/m43m>
  29. V. Vapnik, *The nature of statistical learning theory*. Springer science & business media, 1999. ISBN 978-1-4419-3160-3
  30. K. Gopalakrishnan, A. M. Asce, and S. Kim, "Support Vector Machines Approach to HMA

- Stiffness Prediction”, J of Eng Mech (137) 2 DOI: <https://doi.org/drkdbd3>
31. M. Maalouf, N. Khoury, and T. B. Trafalis, “Support vector regression to predict asphalt mix performance,” Int J Numer Anal Methods Geomech, (32) 16, 1989–1996, 2008, DOI: <https://doi.org/c4kk5g>
  32. Y. Zhao, K. Zhang, Y. Zhang, Y. Luo, and S. Wang, “Prediction of air voids of asphalt layers by intelligent algorithm,” Constr Build Mater, vol. 317, p. 125908, 2022. DOI: <https://doi.org/m43x>
  33. M. Nazemi and A. Heidaripناه, “Support vector machine to predict the indirect tensile strength of foamed bitumen-stabilised base course materials,” Road Mater and Pave Des, (17) 3, 768–778, 2016, DOI: <https://doi.org/m43z>
  34. H. Ziari, M. Maghrebi, J. Ayoubinejad, and S. T. Waller, “Prediction of pavement performance: Application of support vector regression with different kernels,” Transp Res Rec, vol. 2589, 135–145, 2016, DOI: <https://doi.org/gnrfzf>
  35. Y. Huang, “Advances in artificial neural networks - Methodological development and application,” Alg, (2) 3, 973–1007, 2009. DOI: <https://doi.org/ctbcq2>
  36. H. Gong, Y. Sun, X. Shu, and B. Huang, “Use of random forests regression for predicting IRI of asphalt pavements,” Constr Build Mater, vol. 189, 890–897, 2018, DOI: <https://doi.org/gk88dm>
  37. A. Fathi, M. Mazari, M. Saghafi, A. Hosseini, and S. Kumar, “Parametric Study of Pavement Deterioration Using Machine Learning Algorithms.” Int Airf and Highw Pave Conf 2019, 12 p. DOI: <https://doi.org/gnrfzk>
  38. D. Daneshvar and A. Behnood, “Estimation of the dynamic modulus of asphalt concretes using random forests algorithm,” Int J of Pave Eng, (23) 2, 250–260, 2022, DOI: <https://doi.org/gg6rkg>
  39. H. Gong, Y. Sun, W. Hu, P. A. Polaczyk, and B. Huang, “Investigating impacts of asphalt mixture properties on pavement performance using LTPP data through random forests,” Constr Build Mater, vol. 204, 203–212, 2019, DOI: <https://doi.org/m433>
  40. Y. Zhan, J. Q. Li, C. Liu, K. C. P. Wang, D. M. Pittenger, and Z. Musharraf, “Effect of aggregate properties on asphalt pavement friction based on random forest analysis,” Constr Build Mater, vol. 292, 2021, DOI: <https://doi.org/grtkz5>
  41. A. Saleh, Gáspár L., “Különböző újrahazsnóított aszfalt (RAP) tartalmú, habosított beton kötőanyagú aszfaltkeverékek közvetett húzószilárdságának modellezése”, Útügyi Lapok 12. évf. 19. szám 12 p. 2024. június, DOI: <https://doi.org/m75q>



## Modelling the Indirect Tensile Strength of Asphalt Mixtures with the Use of Artificial Intelligence

*Keywords: foamed bitumen; warm mix asphalt; neural network; Support Vector Regression (SVR); Machine learning*

The authors estimate the indirect tensile strength of asphalt mixtures containing recycled asphalt and foamed bitumen using linear regression and neural network models. By comparing the random forest and the neural network model, the applicability of machine learning techniques in this field was proven. In the course of the research work, three models were developed, which are able with a high  $R^2$  value to predict the relationship between the ITS (wet and dry) value and two factors affecting it, namely the foamed bitumen content and the Reclaimed Asphalt Pavement (%).



## Modellierung der indirekten Zugfestigkeit von Asphaltmischungen mit Hilfe künstlicher Intelligenz

*Schlüsselwörter: Schaumbitumen; warmes Asphaltmischgut; neuronales Netz; Support Vector Regression (SVR); maschinelles Lernen*

Die Autoren prognostizieren die indirekte Zugfestigkeit (ITS) von Asphaltmischungen, die Recyclingasphalt und Schaumbitumen enthalten, mit Hilfe linearer Regressions- und neuronaler Netzwerkmodelle. Die Nützlichkeit von Techniken des maschinellen Lernens in diesem Bereich wurde durch den Vergleich von Random-Forest- und neuronalen Netzwerkmodellen nachgewiesen. Im Verlauf ihrer Forschung haben sie drei Modelle entwickelt, um die Beziehung zwischen ITS und zwei ihrer beeinflussenden Faktoren, dem Schaumbitumengehalt und dem Anteil an Recyclingasphalt, unter trockenen und nassen Bedingungen bei einem hohen  $R^2$ -Wert vorherzusagen.

# A magyarországi vasúthálózat kapacitáskorlátainak matematikai modellezése különös tekintettel a Magyar Honvédség szállítási feladataira

A magyarországi vasúthálózat egyes vonalainak átbocsátóképessége erősen változik a vágányszám, a pályasebesség, a térközi közlekedés kiépítettsége, a közlekedtethető vonathossz stb. függvényében. A vizsgálatok arra irányulnak, hogy a hálózat átbocsátóképessége a Magyar Honvédség (MH) szempontjából: különleges jogrendi helyzet idején mekkora a hálózat maximális teljesítőképessége?

*Kulcsszavak: vasúthálózat, gráfelmélet, átbocsátóképesség, kapacitás, Magyar Honvédség, villamosítás*

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.4.2>

---

## Ardai István Tamás<sup>1</sup> – Dr. Tóth Bence<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
e-mail: aistvan26@gmail.com, toth.bence@uni-nke.hu

---

### 1. BEVEZETÉS

Az infrastruktúra-rendszerek állapota alapvetően befolyásolja a funkcionalitásukat. Különösen igaz ez a létfontosságú rendszerelemekre, más néven kritikus infrastruktúrákra, amelyek egyike a vasúti közlekedési hálózat [1]. A pálya, a felsővezeték és a gördülőállomány mennyisége, rendelkezésre állása, biztonsága és helyettesíthetősége meghatározza, hogy egy különleges jogrendi időszakban milyen hatékonysággal mozgósíthatók a rendelkezésre álló személyi és technikai erőforrások.

Az egyes országok vasúthálózatát a villamosítottasági arányával is szokás jellemezni. Ez az érték Magyarországra 40,8%, amivel

az EU-n belül tizenhatodikok vagyunk (Svájc esetében ez a mutató 99,8%, Írország 2,6%) [2],[3]. Megjegyzendő, hogy az áramellátás zavara is súlyosan befolyásolja a vasút szállítási képességeit, ha nem áll rendelkezésre megfelelő számú dízelmozdony.

A Magyar Honvédség (MH) rendelkezik 12 iparvágánnyal, úgynevezett saját célú vasúti pályával (scvp.) [4], amelyek azonban nem villamosítottak, ezért az ezen iparvágányokat érintő szállításoknál elkerülhetetlen dízelvontatójárművek alkalmazása.

A magyarországi vasúthálózat legforgalmasabb vonalai villamosítottak [5], és a villamos vontatás lényegesen olcsóbb, mint a dízel, ezért

a dízelmozdonyok száma a vasútvillamosítás előrehaladtával csökken [6]. Azonban honvédelmi érdek lenne annyinak a rendszerben tartása, amelyekkel a szükséges szállítások a felsővezeték-hálózat nélkül is elvégezhetőek lennének.

Az előzőek alapján megvizsgáljuk a magyarországi vasúthálózat átbocsátóképeségét ezen MH scvp-k között különböző forgatókönyvek esetén. Célunk annak meghatározása matematikai modellezés alapján, hogy mi(k) a vasúti közlekedési rendszer szűk keresztmetszete(i): a pálya és/vagy a gördülőállomány és/vagy a humán erőforrás (rakodási kapacitás)?

## 2. A MAGYARORSZÁGI VASÚT-HÁLÓZAT TÉRKÖZ SZINTŰ GRÁFMODELLJE

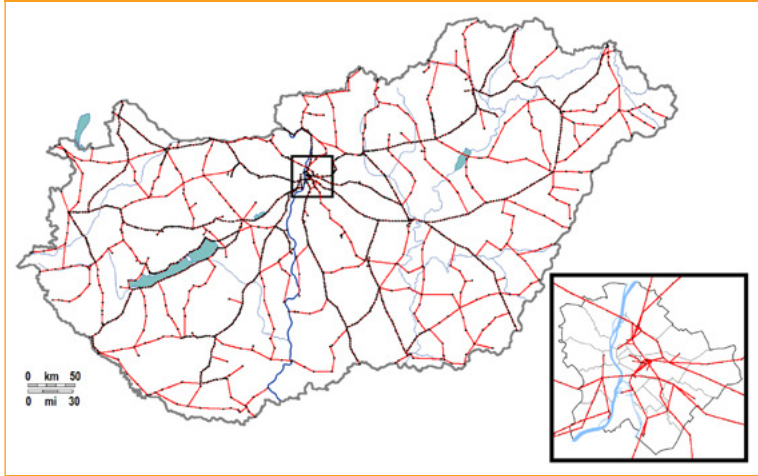
Jelenlegi számítási céljainkhoz a legjobban egy súlyozott, irányított gráf illeszkedik. A modellt egy korábbi publikációban részletesen bemutattuk [7], ezért itt csak a megértéshez elengedhetetlenül szükséges részletességgel ismertetjük.

### 2.1. Jelzők és vágánykapcsolataik

A modell 5188 csúcst tartalmaz, amelyekből 1491 állomási kijáratit jelzőt, 1687 bejáratit jelzőt, 1896 térközjelzőt, 114 pedig egyéb vágánykapcsolati pontot (például határátmenet, iparvágány) reprezentál.

A jelzők közti vágánykapcsolatokat 6803 gráfbeli él írja le. Két jelző között a menetidőt a jelzők távolságából és az engedélyezett sebességből számoltuk. Ezen adatok döntő része nyilvánosan elérhető a VPE Kft. weblapján [8],[9]; az itt nem szereplő iparvágányok

1. ábra: A magyarországi vasúthálózat gráfjának diagramja [7]



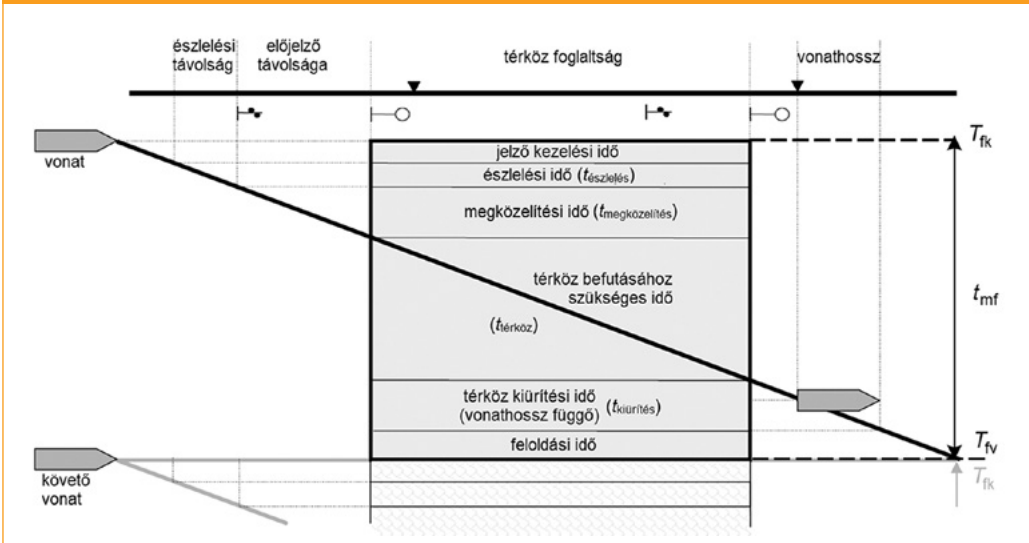
hosszadatait a vonatkozó kormányrendelet [4] alapján, illetve saját távolságmérés alapján [10] építettük be a modellbe.

A távolságok számításánál állomások esetében csak az átmenő fővágányok kijáratit jelzőit vettük figyelembe; ahol több is van, ott mindegyiket. Az scvp-k távolságánál azok hosszadatait a kiágazási váltóktól plusz az állomás átmenő fővágányi kijáratit jelzőjétől való ekvivalens távolságok lettek figyelembe véve. Ez például Győr állomás és a Győr MH scvp. esetében azt jelentette, hogy az scvp. kormányrendeletben rögzített 2325 m-es hosszához hozzáadtuk az scvp. kezdőpontjának távolságát Győr-Rendező állomás Kr15b kijáratit jelzőjétől.

Ezen távolság- és menetidőértékeket rendel-tük hozzá az egyes vasútvonal-szakaszokat reprezentáló gráfbeli élekhez, mint súlyt (természetesen egy számolásnál csak az egyiket). Ez azt is jelenti, hogy míg a menetvonalak számított hosszai néhány méteres pontossággal megegyeznek a valódi értékekkel, a számított menetidőértékek a valós értékeknek egy abszolút alsó korlátját jelentik. Ahol kisebb engedélyezett sebességérték vonatkozott a nagyobb tengelyterhelésű vagy a mozdonnyal továbbított szerelvényekre, ott ezt az alacsonyabb sebességértéket vettük alapul a számításokhoz.



3. ábra: A követési távolság meghatározása. [12],[13]



- a jelzők kezeléséhez szükséges idő, hogy a következő vonat behaladhasson a térközbe (önműködő térközök esetében 0 sec.) – a számításokban ezt is 0-nak vettük.

$$t_{mf} = t_{észlelés} + t_{megközelítés} + t_{térköz} + t_{kiürítés} \quad (1)$$

A térközök hossza és az adott vonalszakaszra engedélyezett maximális vonathossz elérhető a VPE Kft. honlapján. Az észlelési távolság meghatározható a MÁV F.1. sz. jelzési utasítása alapján: „a főjelzőket úgy kell elhelyezni, hogy jelzéseik a mozdonyról, vezérlőkocsiról folyamatosan láthatók legyenek a vasúti pályára engedélyezett, km/h-ban kifejezett sebesség tízszerezésének 1/3 részével egyenlő, méterben mért távolságból, de legalább 200 m-től.” [14:16] Szintén a VPE Kft. honlapján érhető el az egyes vonalszakaszokra engedélyezett sebesség, amely értékekkel leosztva ezeket a távolságokat, megkapjuk a megfelelő időket.

A kapacitáskihasználtság az UIC döntvény [12] szerint az alábbi módon számítható:

$$K_k = \frac{t_f \cdot (1 + t_p)}{t_N} \quad (2)$$

ahol  $K_k$  a kapacitáskihasználtság (ezt UIC által javasolt 0,7-nek vettük),  $t_f$  a foglaltsági idő,  $t_p$  az állandó jellegű időfelhasználás a teljes foglaltsághoz viszonyított értéke (ennek értékét 0,18-nak vettük [13]),  $t_N$  pedig a naptári időalap, esetünkben 1440 perc.

Az (1) és (2) összefüggésekből meghatározva a  $t_{mf}$  és  $t_f$  értékeket, az egy vágányon közlekedtethető vonatdarabszám ( $N$ ) ezek hányadosaként számítható [13]:

$$N = \frac{t_f}{t_{mf}} \quad (3)$$

Mindezek figyelembevételéhez minden egyes főjelzőre meghatároztuk az azt követő összes lehetséges két térköz, és kiválasztottuk azokat, amelyekre az összemennyiség a legkisebb. Hasonlóan meghatároztuk a jelzőt megelőző térközre az észlelési távolságot és ennek, illetve a maximális engedélyezett vonathossz figyelembevételével kiszámítottuk az egyes térközökhöz a mértékadó foglaltsági időket, ezekből pedig meghatározható az adott vonalszakasz egy napra vetített átbecsülőképessége.

Nem vettük figyelembe az állomásokon való áthaladás esetleges menetidőtöbbletét, az ál-

lomási főjelzőket és a hozzájuk tartozó követési időket is úgy kezeltük, mintha nyíltvonalai főjelzők lennének. Ez az érték ezért abszolút felső határ az egyes vonalszakaszok átbocsátóképességére.

## 3. SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK

### 3.1. Szoftverkörnyezet

A számolások az R programozási nyelv és környezetben [15] történtek a Csárdi Gábor és Nepusz Tamás által kifejlesztett *igraph* csomag [16] segítségével. A menetidő, illetve menetvonalhossz szempontjából legrövidebb utat a csomag `distances()` függvényével határoztuk meg, amely olyan elsúlyozott gráfok esetében, amelyek csak nemnegatív súlyú éleket tartalmaznak (mint esetünkben is), ehhez a Dijkstra-algoritmust [17] használja. Két főjelző között a programcsomag `shortest_paths()` függvénye segítségével meghatározhatók a pontos útvonal által érintett egyes gráfélek (`Seopath`).

### 3.2. Mozdonyflotta

A Magyar Honvédség tulajdonában vasúti vontatójármű nincs, ezért a katonai szállításokhoz is bérelni kell azokat. Jelen vizsgálatunkban csak a MÁV és a GySEV azon normálnyomtávú (1435 mm) elérhető dízelmozdonyait vizsgáltuk, amikkel bármilyen jellegű kocsitovábbítás lehetséges, összesen 444 darabot [18]. Ezen mozdonyok maximális sebességét minden esetben figyelembe vettük a számításokban.

A villamos mozdonyok figyelmen kívül hagyására két okunk volt. Az első, hogy a „Bevezetés”-ben már említett okok miatt elsősorban különleges jogrend idején kívántuk vizsgálni a szállítási kapacitásokat. Fontos körülmény, hogy egy villamos alállomás meghibásodása vagy célzott rombolása esetén a szerelvények továbbítása csak dízelüzemmel lehetséges. A kérdés, hogy elegendő-e ebben az esetben is a rendelkezésre álló flotta?

A másik ok, hogy az MH saját célú vasúti pályái (scvp.) kivétel nélkül villamosítatlanok,

azaz berakodás után, illetve lerakodás előtt az elegyrendezést dízelmozdonnyal kell végezni legalább az iparvágány és a villamosított vasútállomás között. Emellett a legrövidebb/leggyorsabb útvonalnak villamosítatlan vonal(szakasz)ok is részei lehetnek, ahol legalább dízel előfogatra is szükség van [19].

### 3.3. A maximális folyam

Ha minden gráfcélhoz adott annak kapacitása, azaz esetünkben az azon időegység alatt közlekedtethető vonatok maximális száma, akkor bármely két gráfcél között meghatározható az úgynevezett folyam, amely azt mutatja meg, hogy mekkora a két csúc között egységnyi idő alatt közlekedtethető vonatok maximális száma és mi ezeknek a pontos útvonala. Ez utóbbi azért lényeges, mert lehet, hogy két nagyobb kapacitású vonalszakasz között több kisebb átbocsátóképességű található, amelyek mindegyike igénybe veendő a maximális folyam átbocsátásához. Ilyen például az 1. sz. és a 2. és 4. sz. vasútvonalak Almásfüzitő és Budapest közötti szakasza: az 1. sz. fővonalon Hegyeshalom és Tata között 160 km/h az engedélyezett sebesség, Tata és Budaörs között 140 km/h, Budaörs és Kelenföld között 120 km/h, Kelenföld és Budapest-Keleti között pedig 80 km/h. A főváros felé csökkenő  $v_{\max}$  érték korlátozza a magasabb pályasebességű szakaszok átbocsátóképességét. Azonban mivel Almásfüzitő és Budapest között alternatív útvonalon is bonyolítható forgalom a 4. és 2. sz. vonalakon, ez Hegyeshalom és Almásfüzitő között (igaz, csak minimális mértékben, de) megnöveli az 1. sz. fővonal átbocsátóképességét is.

A maximális folyam értéke, azaz hogy két jelzőt reprezentáló gráfcél között mekkora a maximális átvihető kapacitás és ennek a gráf élein való eloszlása az *igraph* csomag `maxflow()` függvényével határozható meg.

A folyamatokat kétféleképpen számítottuk, amelyek a szállítások szélsőséges példáit modellezik. Először a rövid távú szállításokat szimuláltuk úgy, hogy meghatároztuk a két

(időben, illetve távolságban) legközelebbi MH iparvágány távolságát és kiszámítottuk közöttük a maximális folyamatot. Ezzel az értékkel csökkentettük az útvonalra eső pályaszakaszok elérhető szabad kapacitását, majd meghatároztuk a második két legközelebbi MH iparvágány távolságát, és kiszámítottuk közöttük a maximális folyamatot.

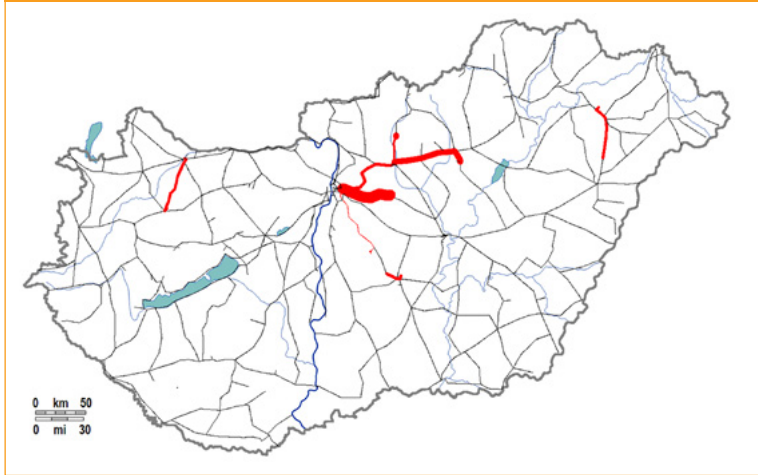
Másodszor a nagy távolságú szállításokat szimuláltuk: most a két legtávolabbi MH iparvágány között számítottuk ki a folyamatot, majd a második két legközelebbi között, stb. Itt tehát az volt a különbség az előző számításához képest, hogy mindig a két (időben vagy távolságban) legtávolabbi MH scvp-k között számoltuk a folyamatot. Ez természetesen azt is jelentette, hogy az igénybe vett vasútvonalszakaszok is sokkal hosszabbak voltak, mint az előző számításnál.

## 4. EREDMÉNYEK

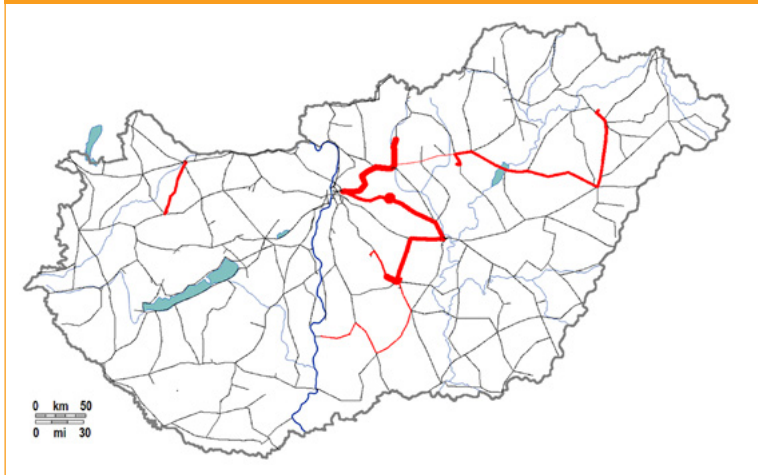
Az imént tárgyalt módon elosztva a mozdonyokat az alábbi eredményeket kapjuk a legközelebbi MH scvp-k közötti közlekedtetés esetén minimális menetvonalhosszakra (4. ábra) és minimális menetidőkre (5. ábra).

A szimuláció alapján a szállítások minimális menetvonalhosszak esetén a legközelebbi közlekedtetett vonatok darabszámának csökkenő sorrendjé-

4. ábra: A menetvonalhossz szerint legközelebbi MH iparvágányok között közlekedtethető dízelvontatású vonatok eloszlása. [saját szerkesztés]



5. ábra: A menetidő szerint legközelebbi MH iparvágányok között közlekedtethető dízelvontatású vonatok eloszlása. [saját szerkesztés]



ben a Rákos-Tápiószecső, Jobbágyi-Erdőtelek, Jobbágyi-Rákos, Kecskemét-Hetényegyháza, Nyírtelek-Hajdúhadház, Győr-Pápa, a táborfalvai iparvágányok között, valamint Táborfalva-Rákos között, minimális menetidők esetén pedig Tápiószecső-Jobbágyi, Tápiószecső-Hetényegyháza, Hetényegyháza-Kecskemét, Jobbágyi-Erdőtelek, Nyírtelek-Hajdúhadház, Győr-Pápa, Rákos-Tá-

6. ábra: A menetvonalhossz szerint legtávolabbi MH iparvágányok között közlekedtethető dízelvontatású vonatok eloszlása. [saját szerkesztés]



7. ábra: A menetidő szerint legtávolabbi MH iparvágányok között közlekedtethető dízelvontatású vonatok eloszlása. [saját szerkesztés]



piószecső, a táborfalvai iparvágányok között, Táborfalva–Hetényegyháza és Tápiószecső–Kecskemét viszonylatokban történnek.

A rövid távú szállítások esetében a hálózat kapacitása megfelelő, ha a legrövidebb úton akarjuk a szállítást lebonyolítani. Ennek legfőbb oka, hogy azon állomáspárok közti útvonalak, amik között a szállítás történik, nem

fednek át. Ebben az esetben tehát, ha elegendő vonatjármű és rakodási kapacitás áll rendelkezésre (amik korlátait ezen számításban nem vettünk figyelembe), a szállítások kivitelezhetők.

Azonban a rövid távú szállítások minimális menetidők esetében nem végezhető el teljes mértékben, csak a vonatok 87%-a közlekedtethető le. Mivel az iparvágányok néhány kivétellel fővonalak mellett helyezkednek el, melyekre magas az engedélyezett sebesség, éppen ez okozza a hálózat telítődését. Ahogy az 5. ábrán látszik is, a szerelvények a fővonalak néhány rövidebb szakaszát annak kapacitáshatáráig veszik igénybe, és ezért további menetvonalak már nem vezethetők arra.

Tovább romlik a kép, ha elvégezzük a számítást az egymástól legmesszebb levő MH scvp-k esetére is, amikor minden lépésben térben és időben legmesszebbi, még nem nulla kapaci-

tású scvp-k között szállítunk. Az eredmények minimális menetvonalhosszakra a 6. ábrán, minimális menetidőkre a 7. ábrán láthatók.

A szimuláció alapján a szállítások maximális menetvonalhosszak esetén a leközlekedtetett vonatok darabszámának csökkenő sorrendjében a Győr–Hajdúhadház, Győr–Erdőtelek, Győr–Nyírtelek, Nyírtelek–Táborfalva,

valamint Győr–Kalocsa között, maximális menetidők esetén pedig Pápa–Hajdúhadház, Nyírtelek–Rákos, Nyírtelek–Pápa, Nyírtelek–Táborfalva, Nyírtelek–Kalocsa, Nyírtelek–Győr, Győr–Hetényegyháza és Hetényegyháza–Pápa viszonylatokban történnek.

A maximális menetvonalhosszok esetében erősen kapacitáshiányosnak bizonyul a hálózat, mindössze a szerelvények 52%-át tudtuk leközeledtetni: az Összekötő vasúti híd elérte áteresztőképességének határát. Ez azt is jelenti, hogy nagy távolságú szállítások esetén nem elsősorban a vontatójárművek darabszáma jelenti a korlátozó tényezőt, hanem a pályahálózat szűk keresztmetszetei, ahol különböző irányból érkező és különböző irányokba tartó menetvonalak találkoznak. Különösen ilyenek a nagyfolyami hidak [20], amelyek többvágányúvá bővítésük esetén is érzékenyek maradnak a szomszédos állomások forgalmi zavaraira [21]. Emellett meg kell említeni a be- és kirakodási időket, amelyek szintén korlátoz(hat)ják a továbbítható elemek számát. [22]

Maximális menetidők esetében ugyan a szerelvények 70%-a leközeledtethető, de a Hajdúhadház–Nyíregyháza állomásköz telítődik. Ez hasonló, de a hálózat szerkezetéből adódóan kisebb probléma, mint az előző esetben az Összekötő vasúti híd átbocsátóképességének teljes kihasználása, mivel a 100. sz. fővonalon Debrecenről és a 80. sz. fővonalon még az egyvágányú Mezőzombor–Nyíregyháza szakaszon is marad kapacitás az esetleges további keleti irányú igény átbocsátására. Ebben az esetben azonban a fővonalak kölcsönös helyettesítőképessége romlik az alacsony kapacitású transzverzális vonalak miatt.

## 5. KONKLÚZIÓ

Tanulmányunkban megvizsgáltuk a magyarországi vasúthálózat teljesítőképességét a rendelkezésre álló dízel-vontatójárművek alkalmazásával. Azt találtuk, hogy minimális távolságú szállítások esetén a pályacapacitás elégséges, a korlátozó tényezőt a gördülőállomány mennyisége jelenti. Bár

minimális menetidejű szállítások esetén már telítődött a hálózat, feltételezhető, hogy hosszabb kerülőutakkal a szállítás még megoldható lenne.

Maximális távolságú és menetidejű szállítások esetén a pályacapacitás bizonyult elégtelennek. Maximális menetvonalhosszok esetén nem lehetett az összes vonatot leközeledtetni az Összekötő vasúti híd telítődése miatt. Maximális menetidők esetén minden vonat leközeledett, a Hajdúhadház–Nyíregyháza állomásköz telítődött, azonban itt rendelkezésre álltak szabad kapacitású alternatív útvonalak.

A leközeledtetett szerelvények darabszáma viszont azt sejteti, hogy ennyi vonat be- és kirakása ennyi idő alatt a rendelkezésre álló honvédségi rakodókon nem megoldható, azonban ennek egzakt igazolása további kutatást igényel.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Szászi G.: A vasúti közlekedési alágazat, mint kritikus infrastruktúra. In: Horváth A. (szerk.): Fejezetek a kritikus infrastruktúra védelemből, 167-190, Magyar Hadtudományi Társaság, Budapest, 2013, ISBN: 9789630869263
2. [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TTR00003/default/table?lang=en&category=rail.rail\\_if](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TTR00003/default/table?lang=en&category=rail.rail_if) (2023.05.04.)
3. [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rail\\_if\\_electri/default/table](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rail_if_electri/default/table) (2023.05.04.)
4. 277/2014. (XI. 14.) Kormányrendelet a vasúti közlekedési hatóság által kiszabható bírság mértékéről és megfizetésének részletes szabályairól
5. Tóth B.: A magyarországi vasúthálózat zavarainak gráfelméleti alapú vizsgálata, In: Horváth, B. – Horváth G. – Gaál B. (szerk.): Közlekedéstudományi Konferencia Győr 2018, 505-519.
6. Szászi G.: A vasúti hálózati infrastruktúrával szemben támasztott újszerű védelmi követelmények kutatása, a továbbfejlesztés feltételrendszerének vizsgálata. Doktori

- értékezés, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 103-104, 2013.
7. Tóth B.: A modellek felbontásának hatása az eredmények pontosságára – állomásköz vs. térköz, In: Horváth G. – Horváth B. (szerk.): XX. European Transport Congress / XII. International Conference on Transport Sciences, Győr 2022., 415-423. ISBN 9786156443045
  8. Vasútvonalak [http://www.kapella.hu/takt/vonal\\_lista.php](http://www.kapella.hu/takt/vonal_lista.php) (2023.05.04.)
  9. VPE vasúthálózati térkép <https://takt.kapella2.hu/metronom-server/map> (2023.05.04.)
  10. <https://maps.google.hu>
  11. F. 2. sz. Forgalmi Utasítás; MÁV ZRt. Pályavasúti Üzletág Forgalmi Főosztály
  12. Union International des Chemins de fer: Capacity (UIC Code R 406), Paris, 2013. [https://tamannaei.iut.ac.ir/sites/tamannaei.iut.ac.ir/files/files\\_course/uic406\\_2013.pdf](https://tamannaei.iut.ac.ir/sites/tamannaei.iut.ac.ir/files/files_course/uic406_2013.pdf) (2023.05.04.)
  13. Lévai Zs.: A BAVS által javasolt új budapesti vasúthálózat helyettesíthetőségének vizsgálata; In: Horváth G. – Horváth B. (szerk.): XX. European Transport Congress / XII. International Conference on Transport Sciences, Győr 2022. 342-354. ISBN 9786156443045
  14. F. 1. sz. Jelzési Utasítás; MÁV ZRt. Pályavasúti Üzletág Forgalmi Főosztály
  15. R Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
  16. Csardi G. – Nepusz T.: The igraph software package for complex network research, InterJournal, Complex Systems 1695. 2006. <http://igraph.org>
  17. E.W. Dijkstra.: A Note on Two Problems in Connexion with Graphs; Numerische Mathematik 1 269-271, 1959. DOI: <https://doi.org/dpvk8c>
  18. [http://www.vonatosszeallitas.hu/jarmuvek\\_mav\\_mozdonyok.html](http://www.vonatosszeallitas.hu/jarmuvek_mav_mozdonyok.html) (2023.05.04.)
  19. <https://iho.hu/hirek/valamit-rakodnak-taborfalvan-140614> (2023.05.04.)
  20. Szászi G.: Long-span railway bridges in the transport system of Hungary, Hadmérnök 8:2, 98-107, 2013.
  21. Szászi G.: Nagyfolyami vasúti hidak, mint közlekedési létfontosságú rendszerelemek, in: Horváth A. – Bányász P. – Orbók Á. (szerk.): Fejezetek a létfontosságú közlekedési rendszerelemek védelmének aktuális kérdéseiről, 83-99, Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2014, ISBN: 9786155305306
  22. Szászi G.: Katonai vasúti szállítások a Magyar Honvédség missziós feladatainak rendszerében, Szolnoki Tudományos Közlemények 16, 101-118, 2010.



## Mathematical Modelling of the Capacity Limits of the Hungarian Railway Network with Special Consideration to the Transportation Tasks of the Hungarian Armed Forces

*Keywords: railway network; graph theory; throughput capacity; Hungarian Armed Forces*



## Mathematische Modellierung der Kapazitätsgrenzen des ungarischen Eisenbahnnetzes unter besonderer Berücksichtigung der Transportaufgaben der ungarischen Streitkräfte

*Schlüsselwörter: Schienennetz; Graphentheorie; Durchsatzkapazität; Ungarische Streitkräfte; Elektrifizierung*

# Közúti járművekből kinyert online adatok kezelésének és feldolgozásának informatikai és jogi háttere megelőző javítási stratégia esetén

A korszerű járművek informatikai architektúrája, valamint a telekommunikációs infrastruktúra fejlődése egy sor kényelmi és funkcionális szolgáltatást tesz lehetővé a járművezetők, üzembentartók és gyártók számára. Ezek kiépítésének, valamint kihasználásának két fő befolyásoló háttere van.

Az egyik az online adatok (pl. üzemanyag szint vagy akkumulátor töltési szint /SoC/ ill. mérési értékek a különböző vezérlőegységektől) tárolásának módja: magában a járműben vagy azon kívül egy felhőben / back end-en. A másik az adott ország jogszabályi háttere. Ezen belül általában a fő tényező a személyes (EU GDPR) és személyes telekommunikációs adatok védelmének (német TTDSG) közvetlen szabályozása vagy valamint közvetetten a termékfelelősséggel, azon belül is a „piacfigyeléssel” kapcsolatos gyártói kötelezettségek, rizikók.

*Kulcsszavak: online jármű adatok tárolása, személyes adatvédelem, telekommunikációs személyes adatvédelem, termékfelelősség, piacfigyelés*

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.4.3>

---

## Nagy József<sup>1</sup> – Lakatos István<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Okleveles gépészmérnök/mérnöktanár, Széchenyi István Egyetem, Audi Hungaria Járműmérnöki Kar, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék, doktorandusz

<sup>2</sup> Okleveles gépészmérnök, Phd, Széchenyi István Egyetem, Audi Hungaria Járműmérnöki Kar, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék, egyetemi tanár, dékánhelyettes, tanszékvezető  
email: jozsef1.nagy@audi.de, jozsef.nagy@audi.hu, lakatos@sze.hu

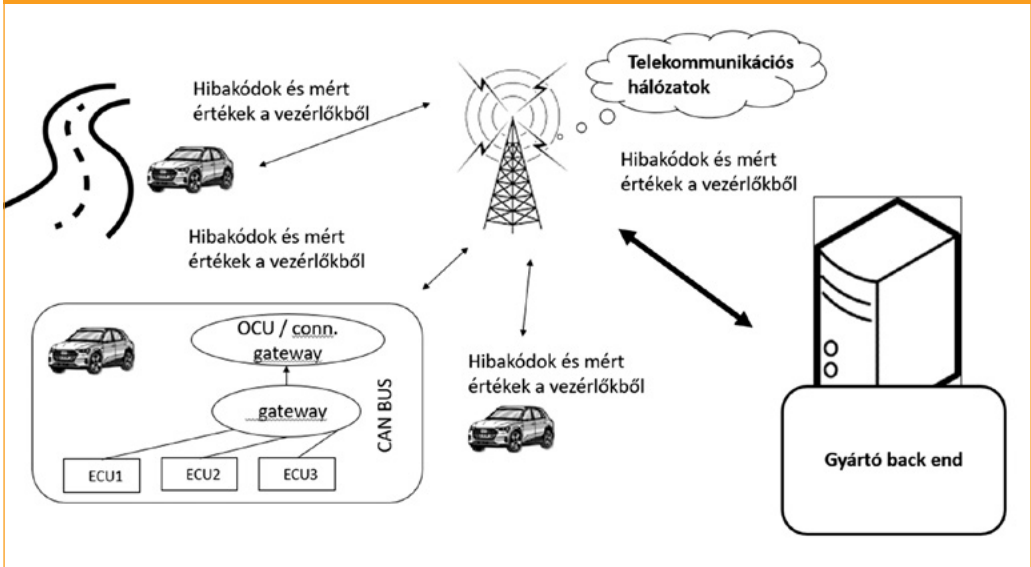
---

### 1. A GÉPKOCSI ÉS AZ OEM BACK END KÖZÖTTI KOMMUNIKÁCIÓ ELVE

A gépjármű a diagnosztikai adatokat pl. a

connected gateway segítségével, ill. az egyéb statisztikai jellegűeket az OCU vezérlőegység e-SIM funkcióján keresztül küldi a telekommunikációs hálózaton keresztül a gyártó (OEM: original equipment manufacturer)

1. ábra: A jármű-back end kommunikáció



szerverének (back end). Itt lehetőségük van a mérnököknek ezeket analizálni. A felhasználók végpontjai (mobiltelefon app) is ide csatlakoznak és innen veszik át a kívánt információkat (1. ábra).

## 2. AZ ADATOK TÁROLÁSÁNAK MÓDJAI A JÁRMŰVEKNÉL

### 2.1. Adattárolás a gépjármű saját architektúrájában

A gépjárműben keletkezett adatokat, műszaki mérési értékeket alapvetően két módon tárolhatjuk azonnali (real time) vagy későbbi felhasználás céljából.

Egy lehetséges módszer az adatok tárolása a járműben ill. annak vezérlőegységeiben. Ilyen pl. már régóta a motorvezérlő elektronika statisztikai (fordulatszám, terhelés stb. értékek) vagy a légzsák vezérlő elektronika hasonló funkciója (ütközés előtti sebesség érték stb.).

Ennek előnye, hogy nem szükséges real time, sőt még online kapcsolat sem a jármű és a kiértékelő számítógép / szerver / felhő (cloud) között. Régebben, de még napjainkban is klasz-

szikusan a karbantartások miatt a szervizbe kerülő gépjármű által gyűjtött adatok az OBD II diagnosztikai csatlakozón kábellel vagy wifi / bluetooth kapcsolaton keresztül voltak elérhetők. Ennek előnye, hogy nem kell állandó online kapcsolat a járművek és a back end között, ami műszakilag egyszerűbb és olcsóbb megoldás és ezen felül nem kell a gyártónak vagy üzemeltetőnek a felhasznált adatmennyiségért a telekommunikációs szolgáltatók felé díjat fizetni.

A nagy hátránya, hogy sok esetben a konkrét adat pl. egy hiba észlelése a későbbi kiolvasás / detektálás miatt a legtöbb esetben aktualitását veszti, így nem szolgáltató sem a jármű használó, sem a gyártó / szerviz számára többletinformációt. Emiatt ez a módszer csak erősen korlátozott módon alkalmazható megelőző karbantartási vagy javítási stratégiák megvalósítására.

### 2.2. Adattárolás a járművön kívül

Itt a keletkezett adatokat igény szerinti lehívással vagy állandóan továbbítjuk a gyártó szerverére ill. azon keresztül a végfelhasználó back end eszközére.

2. ábra: myaudi app; az adatközlés beleegyezési nyilatkozatok visszavonási lehetősége

**Magánszféra**

**Adatvédelmi beleegyezési nyilatkozatok**

A következőkben Önnek lehetősége van engedélyezni személyes adatainak használatát. Adatainak áttekintését, valamint az adatvédelmi tudnivalókat a lánblécben, a „Jogi tudnivalók” alatt találja.

**Beleegyezéssel ellátott nyilatkozatok**

**Szerződéses adatok megtekintése**

Itt tekintheti meg és töltheti le PDF formátumban az Audi connect biztonsáág szempontjából érzékeny szolgáltatásaira vonatkozó fő felhasználói szerződés aktuális általános szerződési feltételeit.

Aktuális általános szerződési feltételek... 

Hozzájárulás visszavonása

Az adat továbbítása pl. a jármű kapcsolt gateway és OCU vezérlő egységén keresztül egy fizikális vagy újabban e-SIM segítségével történik 3G/4G/5G telekommunikációs hálózatokon keresztül.

Az első esetben a felhasználó hív le adatokat (pl. üzemanyag- és kenőolaj szint, futott kilométer, nagyfeszültségű akkumulátor töltöttségi szint - SoC stb.) vagy működtet a járművön távolról vagy közelről, de nem a járműben ülve bizonyos funkciókat (pl. állófűtés/szellőzés, ajtók nyitása zárása vagy automata beparkolás) egy mobil applikáción keresztül (4. ábra).

A második eset – az állandó online kapcsolat – alkalmas preventív karbantartásra vagy akár javításra is. Pl. az Audi myaudi app „online car care” funkciója – felhasználói regisztráció után – a gépjármű bizonyos műszaki hibáiról üzeneteket küld a használnónak, ezzel lehetőséget biztosítva egy esetleges a tervezettnél korábbi szerviz látogatásra. Amennyiben a vezérlő egységek bizonyos mérési értékei real time módon állandóan vagy szekvenciálisan ismétlődve a gyártó szerverének kerülnek továbbításra ill. ott az adott szerke-

zeti egységre prediktív modell működik, akkor ez esetben adottak egy megelőző javítás lehetőségei. Ilyen adatok lehetnek pl. nagyfeszültségű akkumulátorok esetén a modulok szigetelési ellenállás értékei, az akku SOH értékei vagy az elektromos meghajtó motor szigetelési ellenállás értékei stb. Ennek természetesen – költség okokból – főleg drága, súlyos meghibásodások megelőzése esetén van létjogosultsága.

**3. AZ ADATOK TÁROLÁSÁNAK JOGI HÁTTERE JÁRMŰVEK ESETÉN**

A gépjárművekben gyűjtött és tárolt adatok esetén sokszor nehéz egyértelműen eldönteni, hogy személyes – az pl. EU-ban a GDPR hatálya alá tartozó - adatokról van-e szó. Emiatt különös gondossággal kell eljárni. Ezen felül pl. Németországban hatályos 2021-től a TTDSG is, ami a GDPR-al ellentétben a nem személyes jellegű adatok – az ottani szóhasználatnál információk - kezelését-tárolását, azok felhasználásának módját ill. az azokhoz való hozzáférést szabályozzák. Ennek a felhasználó általi engedélyezésére egy példa az Audi myaudi mobil applikációján belül az en-

gedélyezési oldal, ahol a vevő információt kap az adatai felhasználásának céljáról és egyenként engedélyezheti is az adott kategóriákat (3. ábra). Fontos, hogy az információkhoz való hozzáférésre ill. felhasználásra adott engedély visszavonható legyen (2. ábra).




Három esetben tekinthet el a gépjárműgyártó az előzetes felhasználói engedélyezéstől:

- az információ/adat áramlás egy a felhasználó által kívánt/igényelt szolgáltatás keretein belül történik pl. myaudi app online car care funkció (ld. ábra 3., 4.). Hiszen itt az ügyfél az igénylés során informálva lett a szolgáltatás használatának feltételeiről, háttéréről.
- csak egy üzenetet továbbítunk telekommunikációs hálózaton keresztül számára
- egy adott törvényi kötelezettség teljesítése (pl. termékfelelősség: élet- és vagyonbiztonság megóvása, vagy környezetvédelem: emissziós, ill. OBD norma teljesítése érdekében tett intézkedés)

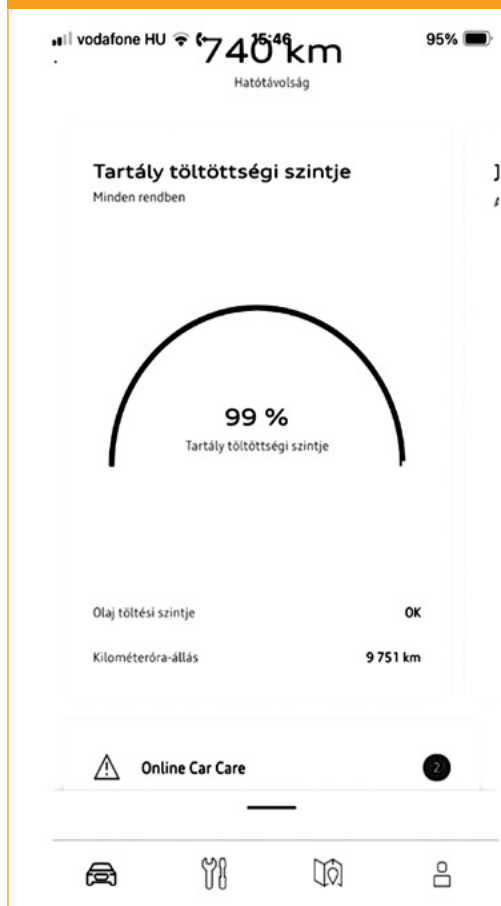
A termékfelelősségi törvény a másik jogi keret, amit egy preventív jármű javítási stratégia megtervezésénél és üzemeltetésénél a gépjárműgyártónak és/ill. szerviznek figyelembe kell vennie. Ez az Amerikai Egyesült Államokból (USA) ered, az EU is átvette (2019/1020 szabályozás), ill. Magyarországon is készült egy termékfelelősségi törvény (1993. évi X. tv.)

Ezen jogi szabályozás által teremtett általános rizikókon felül (hogy például a gyártó felelős a terméke „piaci viselkedéséért” függetlenül attól, hogy történt-e egy büntetőjogi aspektusú hibás viselkedés) egyéb fontos tényezővel találkozhatunk, ami szintén az USA-ból ered és ez a termékek piaci viselkedésének gyártó általi felügyeleti kötelezettsége („market surveillance”). Ez röviden azt jelenti, hogy a termék előállítójának, ill. forgalmazójának tisztában kell lennie az esetleges minőségi reklamációk számával és jellegével, és adott esetben – non compliance esetén – kötelessége korrekciós intézkedéseket

### 3. ábra: myaudi app, felhasználói beleegyező nyilatkozat az adatok felhasználásához; statisztikai-analízis-reporting, termékfejlesztési, és személyre szabás céljából

- |                                     |   |   |
|-------------------------------------|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | <p><b>Statistics, analysis and reporting</b></p> <p>For the purposes of compiling statistics, performing analyses and reporting functions, we access data stored in your vehicle and may store data in your vehicle. This includes, in particular, data generated during the journey, system settings or vehicle configurations.</p> <p>You will find more information behind the info "i".</p>   |    |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <p><b>Research and Development</b></p> <p>For the purposes of product monitoring and improvement as well as research and development, we access data stored in your vehicle and, if applicable, store data in your vehicle. This includes, in particular, various technical function data from the assistance systems, comfort systems, operating elements or control units together with environmental data (e.g. outside temperature, brightness) and, if applicable, the associated position data and information on the length of the route, vehicle speed, vehicle condition data (e.g. fuel level or charge status, mileage).</p> <p>You will find more detailed information behind the info "i".</p> |    |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <p><b>Personalization</b></p> <p>For the purposes of personalising products and services, optimising services and carrying out marketing measures, we access data stored in your vehicle and may store data in your vehicle. This includes, in particular, data generated while driving, system settings or vehicle configurations.</p> <p>You will find more detailed information behind the info "i".</p>   |  |

4. ábra: myaudi app; online car care státusz (itt két preparált hibával)



foganatosítania pl. „szerviz intézkedés” vagy aktív termék visszahívás („recall”). Tehát ha a gyártó „kritikus minőségi információkkal” rendelkezik, akkor kötelessége azokat felhasználni a különböző törvényi megfelelőséget biztosító korrekció céljára.

Amennyiben a terméket – itt a gépjárművet – az USA-ban forgalmazza a gyártó, és az ottani piacon üzemelő járművekből nyer ki adatokat, akkor egy további jogi kockázattal is szembesülnie kell, ami az USA precedens jogi rendszerében a csoportos per („class action”): az elégedetlen vevők a költségeket csökkentve, valamint a nyereséjét növelve pertársaságokat alakítanak. Ilyenkor a tény-

feltárás („rediscovery”) során a károsultak által megbízott, egyébként általában tisztán csak sikerdíjért dolgozó ügyvéd betekintést nyerhet a gyártó által gyűjtött és innentől kezdve nem módosítható információkba („legal hold”). Amennyiben a reklamációk jellege non compliance jellegű, tehát törvényi nem megfelelőséget okozó (élet- és vagyon biztonság, emisszió/OBD), akkor a gyártó valószínűleg úgyis jelentette az ügyet ill. megtette a megfelelő korrekciós lépéseket. Speciális eset áll fenn akkor, ha egyébként a törvény nem kötelezte volna pl. adott szerviz intézkedésre, de az adatokból kiderülhet, hogy ismert a hiba, de image/gazdaságossági stb. okok miatt nem történt intézkedés. Ha a járműből tehát online vagy offline adatokat gyűjt a gyártó, akkor egy ilyen esetben („class action”) növeli a saját rizikóját. Ennek csökkentésére három fő megoldás jöhet szóba:

- a szükséges de minimális adat/információ gyűjtése, ami gazdaságossági kérdés is
- célszerű nem gyártóként jelen lenni a piacon, hanem importőrként, természetesen precízen szabályozva a gyártó/importőr szerepeit és jogait
- tanácsos a különböző piacokon gyűjtött adatokat ott helyben-külön külön tárolni
- így biztosítani, hogy az adattömeg ne hagyja el a piacot, legfeljebb a belőlük nyert konklúziók

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS, KONKLÚZIÓ

Az előzőek alapján egy hatékony, prediktív modelleken alapuló preventív javítási stratégia megvalósításakor célszerű nem a gépjárműben tárolni, hanem online, minél gyakrabban (vs. költségek) esetleg real time a felhőbe vagy OEM back end-be küldetni a mért adatokat, azonnali kiértékelés és minél korábbi lehetséges beavatkozás céljából.

Fontos az adatok tárolására és felhasználására vonatkozó felhasználói aktív beleegyezéseket a szükséges esetekben előre biztosítani ill. érde-

keltté tenni az ügyfelet az adatszolgáltatáshoz (pl. myaudi online car care, 4. ábra). Ez alól kivételt képeznek az élet- és vagyonbiztonság megőrzése érdekében indokolt esetekben felhasznált adatok.

Figyelembe kell venni a gyártói termékfelelősségből és az érintett piacok jogszabályi háttéréből adódó rizikókat – szükséges, de éppen minimális mennyiségű információt áramoltatni és tárolni. (Ez egyébként gazdaságossági kérdés is: jármű és szerver tárolási / adatátviteli kapacitás, adatforgalmi költségek szempontjából is.)

Jogi kockázatokat (pl. termékfelelősségi törvény alapján „piac figyelési kötelezettség” az USA-ban / know-how védelem Kínában) lehet csökkenteni azzal is, ha a járművekben keletkezett adatok az adott piacot, országot nem hagyják el, hanem ott helyben kerülnek elemzésre, kiértékelésre, és a gyártó pl. európai központja csak annyi információt kap, ami egy prediktív szerviz intézkedéshez esetleg visszahívási akcióhoz („recall”) szükséges. Ebből az aspektusból is - mint egyébként a termékfelelősségi törvény alkalmazásakor sokszor – célszerű mindig a szem előtt tartani a „tudomány és technikai aktuális állását” („state of the art”) az adatok gyűjtésére ill. felhasználására vonatkozóan.

## RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

**GDPR:** General Data Protection Regulation „általános adatvédelmi szabályozás”

2016.05.24-től

**TTDSG:** Telekommunikations- und Telemedien Datenschutzgesetz

„telekommunikációs és telemédiás adatvédelmi törvény” 2021.12.01-től

**OEM:** original equipment manufacturer – a gépjárműgyártó  
Online Car Care

**OCU:** Online Connectivity Unit

**SoC:** state of charge – az akkumulátor aktuális töltöttségi foka

**SoH:** state of health; az akkumulátor adott időpontbeli „öregedési foka”

**OBD:** on board diagnosis – a jármű saját öndiagnosztikai rendszere

## FELHASZNÁLT IRODALOM

1. General Data Protection Regulation GDPR; Regulation (EU) 2016/679. <https://gdpr-info.eu/>
2. Regulation (EU) 2019/1020: market surveillance and compliance of products
3. [TTDSG.pdf \(gesetzte-im-internet.de\)](#)
4. 1993. évi X. törvény a termékfelelősségről („Tf”) 5. 2012. évi LXXXVIII. törvény a termékek piacfelügyeletéről
6. Nagy J, Lakatos I. Possibilities of Using of Online Vehicle Diagnostics in the Future. In: Jármái, K., Cservenák, Á. (eds) Vehicle and Automotive Engineering 4. VAE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham DOI: <https://doi.org/mssx>



**IT and legal background for the management and processing of online data extracted from road vehicles in the case of a preventive repair strategy**

*Keywords: online vehicle data storage, personal data protection, telecommunications personal data protection, product liability, market monitoring*

The IT architecture of modern vehicles and the development of telecommunications infrastructure enable a range of comfort and functional services for drivers, operators and manufacturers. There are two main influencer backgrounds for building and exploiting them.

One of them is how online data (e.g. fuel level or battery level /SoC/ or measurement values from different control units) is stored: in the vehicle itself or outside it in a cloud / back end. The other is the legal background of the country in question. Within this, the main factor is usually the direct regulation of personal (EU GDPR) and personal telecommunication data protection (German TTDSG) or indirectly producer obligations and risks related to product liability, including "market monitoring".

This legal background influences and even limits the possibilities of using online data extracted from vehicles much more than today's "state of the art" technical possibilities. Thus, without clarifying them beforehand, no technical construction or data use process planning makes sense.

From the point of view of data protection, it is important that personal data cannot generally be collected and processed without the consent of the vehicle user, however, legal regulations (GDPR) allow some exceptions.

During the authorisation process, the user must be informed of the purpose of using the information received from him or, in this case, from his vehicle (TTDSG).

The Product Liability Act and its obligation to monitor the market may pose risks to the manufacturer in certain special cases.



**Informationstechnischer und rechtlicher Rahmen für die Verwaltung und Verarbeitung von Online-Daten, die von Straßenfahrzeugen im Rahmen der vorbeugenden Instandhaltungsstrategie gesammelt wurden**

*Schlüsselwörter: Online-Speicherung von Fahrzeugdaten, Schutz personenbezogener Daten, Schutz personenbezogener Daten in der Telekommunikation, Produkthaftung, Marktbeobachtung*

Die IT-Architektur moderner Fahrzeuge und der Ausbau der Telekommunikationsinfrastruktur ermöglichen eine Reihe von Komfort- und Funktionsdiensten für Fahrer, Betreiber und Hersteller. Es gibt zwei Haupthintergründe als Einflussfaktore, um sie aufzubauen und zu nutzen.

Eine davon ist die Art und Weise, wie Online-Daten (z.B. Tank- oder Batteriestand /SoC/ oder Messwerte von verschiedenen Steuergeräten) gespeichert werden: im Fahrzeug selbst oder außerhalb davon in einer Cloud / Backend.

Das andere ist der rechtliche Hintergrund des betreffenden Landes. Dabei geht es in der Regel vor allem um die direkte Regelung des personenbezogenen (EU-DSGVO) und des personenbezogenen Telekommunikationsdatenschutzes (TTDSG) oder mittelbar der Herstellerpflichten und -risiken im Zusammenhang mit der Produkthaftung, einschließlich der "Marktbeobachtung".

Dieser rechtliche Hintergrund beeinflusst und schränkt die Möglichkeiten der Nutzung von Online-Daten, die aus Fahrzeugen extrahiert werden, viel stärker ein als die heutigen technischen Möglichkeiten nach dem Stand der Technik. Ohne diese vorher zu klären, macht also keine technische Konstruktion oder Prozessplanung zur Datennutzung Sinn.

Aus Sicht des Datenschutzes ist es wichtig, dass personenbezogene Daten in der Regel nicht ohne Einwilligung des Fahrzeugnutzers erhoben und verarbeitet werden können, jedoch lassen gesetzliche Vorschriften (DSGVO) einige Ausnahmen zu.

Während des Autorisierungsprozesses muss der Nutzer über den Verwendungszweck der von ihm oder in diesem Fall von seinem Fahrzeug erhaltenen Informationen informiert werden (TTDSG). Das Produkthaftungsgesetz und seine Pflicht zur Marktüberwachung können in bestimmten Sonderfällen Risiken für den Hersteller bergen.

## **Közlekedésbiztonság - Közlekedési környezetvédelem**

# Közúti konfliktusok elemzése: a svéd konfliktus technikától a videó alapú elemzési módszerekig

A közúti közlekedésbiztonság javítása változatlanul az alágazat egyik legfontosabb feladata. A közlekedési konfliktusok elemzése elvezethet az okok feltárásához és a helyes módszerek alkalmazásával a biztonság javításához.

*Kulcsszavak: konfliktuselemzés, konfliktusmódszer, baleset, közlekedésbiztonság, kiegészítő biztonsági mutatók*

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.4.4>

---

**Dr. Borsos Attila<sup>1</sup> – Dr. Miletics Dániel<sup>2</sup> – Ahmad Kizawi<sup>3</sup>  
Ladich Marcell<sup>4</sup> – Homola Dávid<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Széchenyi István Egyetem, egyetemi tanár

<sup>2</sup> Széchenyi István Egyetem, egyetemi docens

<sup>3-4</sup> Széchenyi István Egyetem, PhD hallgató

<sup>5</sup> Transoft Solutions Inc., menedzser

e-mail: borsosa@sze.hu, mileticsd@sze.hu

---

## 1. BEVEZETÉS

A közúti biztonság javításához szükséges annak pontos mérése, a biztonsági problémák okainak azonosítása és javaslatok tétele. Ezen elemzések jellemzően historikus baleseti adatokon alapulnak, de ismeretes, hogy a baleset közeli események megfigyelésével is eljuthatunk a megoldásig. A balesetközeli veszélyes események, másnéven konfliktusok, elemzése egy olyan proaktív módszer, amely a közlekedésben részt vevő szereplők interakcióinak elemzésével, a balesetek megtörténte előtt képes felfedni a lehetséges biztonsági problémákat. Jelen cikkkel célunk, hogy áttekintést adjunk a baleseteket terhelő korlátokról, a konfliktustechnika fontosabb ismérveiről,

a kiegészítő biztonsági mutatók gondolatísá-gáról és végül a módszer alkalmazási lehetőségeiről, beleértve egy futó hazai kutatási projektet is.

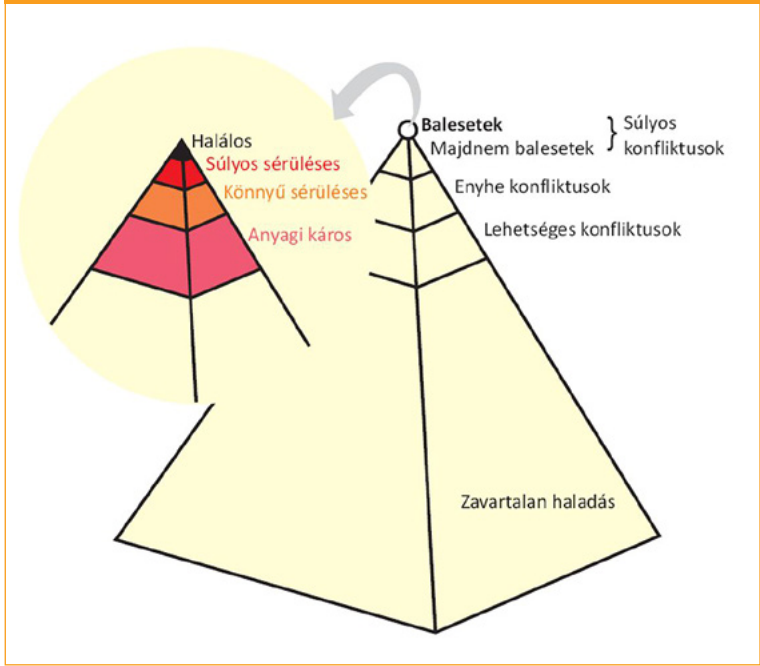
## 2. A BALESETI ELEMZÉSEK KOR-LÁTJAI

A közúti biztonság (illetőleg annak hiányá-nak) mérésére a leginkább kézenfekvő eszköz a közúti balesetek elemzése, ennek ugyanak-kor számos korlátja ismeretes (Tarko et al., 2009). Ezek az alábbiak:

- A balesetek ritka jelenségek (Hauer, 1997), a kis esetszámok miatt véletlenül ingadoznak (sztochasztikusak) (Svensson és Hydén, 2006).

- Annak érdekében, hogy ésszerű következtetéseket tudjunk levonni a historikus baleseti adatokból, néhány évnyi megfigyelés szükséges. Ez az időtartam jellemzően három év (Nicholson, 1985).
- A baleseti adatok alkalmazása reaktív megközelítés, ami etikai problémákat is felvet. Az elemzés pontossága érdekében „meg kell várni” a balesetek előfordulását, amelyek megelőzése egyébként a közúti biztonsággal foglalkozó szakemberek feladata (Songchitruksa és Tarko, 2006).

1. ábra: A biztonsági piramis (Hydén, 1987)



- A baleseteket adatrögzítési hibák terhelik (hiányzó paraméterek, a baleset helyének pontatlansága stb.)
- Ismeretes továbbá az úgynevezett underreporting jelensége, ami egyes balesetek adatbázisban történő rögzítésének elmaradását jelenti (főként a könnyű, illetve csak anyagi káros balesetek esetében).

A felsorolt korlátok miatt egyre nagyobb figyelmet kapnak a konfliktuselemzési módszerek és az úgynevezett kiegészítő biztonsági mutatók (angolul surrogate measures of safety). A kutatók közötti konszenzus van a tekintetben, hogy a megfigyelhető, balesetközeli események a baleseti elemzések kiegészítő eszközeként használhatók, vagy akár helyettesíthetők is azokat (Ceunynck, 2017, Laureshyn et al., 2010).

### 3. KONFLIKTUS MÓDSZER

Az utóbbi évtizedekben számos javaslat született a nem baleseti események közúti biztonsági elemzési célú alkalmazására. Több,

mint három évtizede Hydén (1987) rámutatott, hogy a közlekedők közötti interakciókat közúti biztonsági szempontból folytonosság jellemzi. Ezt jól szemlélteti az úgynevezett biztonsági piramis (1. ábra). A piramisban az események gyakorisága fentről lefelé, azok súlyossága letről felfelé nő. Biztonsági elemzéseinket jelen gyakorlat szerint főként a piramis csúcsán lévő, kis esetszámú balesetekre koncentrálva végezzük (Svensson és Hydén, 2006). A baleseteket követik a konfliktusok (súlyos, könnyű vagy potenciális), ezek alatt az interakciók többsége zavartalan haladásként jelenik meg (Laureshyn et al., 2010).

A veszélyes események megfigyelésén és biztonsági célú elemzésén alapuló elméletek még régebbre nyúlnak vissza. Alap gondolatuk, hogy a nem katasztrófális események információval szolgálhatnak a tényleges katasztrófális eseményekről. Az elméletet elsőként légi katasztrófák kivizsgálására és megelőzésére alkalmazták az 1950-es években. Megfigyelték, hogy a baleseteket a legtöbb esetben a repülő-

gépek, a pilóták és a légiirányítók kisebb hibái, a hibák együttállása vagy láncolata okozza (Flanagan, 1954).

A közúti közlekedésben kialakuló konfliktusok megfigyelését elsőként a General Motorsnál alkalmazták. Tanulmányukban (Perkins et. al. 1967) megállapították, hogy a GM által gyártott járművek ritkábban kerülnek veszélyes közlekedési helyzetekbe csomópontokban, mint más gyártók autói. A módszer olyan esetek megfigyelésén és számlálásán alapult, amelyek során a járművezetők egy másik járművel vagy közlekedővel történő ütközés elkerülése érdekében jól megfigyelhető, ún. elkerülő manővert (pl. hirtelen fékezés, irányváltogatás) hajtanak végre.

A konfliktus alapú vizsgálatok a közúti biztonságban élen járó országokban (pl. Svédország, Hollandia) már korábban is használatosak voltak, de napjainkban egyre nagyobb figyelmet kapnak. Ennek oka kettős. Egyrészt ezekben az országokban a balesetek száma és kimenetelének súlyossága folyamatos csökkenést mutat, amelynek eredményeként a közúti balesetekre alapuló statisztikai modellek pontossága a csökkenő esetszám miatt megkérdőjelezhető. Másfelől jellemző az adatok baleseti adatbázisban történő hiányos megjelenése (főként a védtelen közlekedő esetében), így ezek az adatok csak korlátozottan használhatók.

A konfliktus definíciója szerint (Hydén, 1977) „...egy olyan megfigyelhető helyzet, amelyben két vagy több közlekedő térben és időben olyan mértékben megközelíti egymást, hogy ütközés veszélye áll fenn, ha mozgásuk változatlan marad.” A fogalom értelmezése szerint az interakció során van olyan időintervallum, amikor a két résztvevő ütközési pályán van. Ebben az időablakban bármely pillanatban mért sebességük és trajektóriájuk alapján a konfliktuspontban ütköznek egymással. Ha bármelyikük változtatja a sebességét vagy trajektóriáját, az ütközési pálya megszűnik és a baleset elkerülhető.

A konfliktus alapú módszerek térnyerése az elmúlt évtizedekben kézzelfogható, több ország is kidolgozta saját útmutatóját. A legismer-

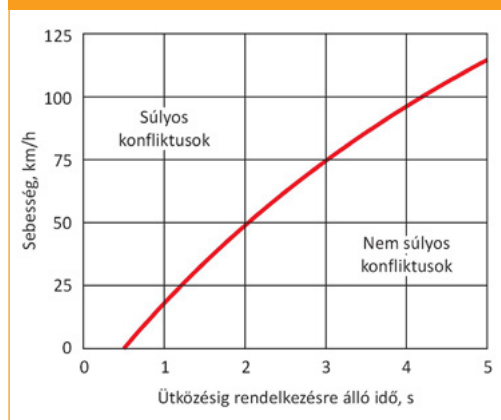
tebb a svéd konfliktus módszer (Hydén, 1987), további példák az USA (Parker and Zegeer, 1989), Hollandia (DOCTOR) (Kraay et al., 2013), az Egyesült Királyság (Baguley, 1984), Finnország (Kulmala, 1984), Franciaország (Muhlrud and Dupre, 1984), Ausztria (Risser and Schutzenhofer, 1984) vagy a Cseh Köztársaság (Kočárková, 2012). Fentiek közül a legtöbbet idézett és legszélesebb körben ismert eljárás a svéd konfliktusmódszer.

A svéd konfliktus módszer szerint, ahogy a tényleges baleseteket is megkülönböztetjük egymástól kimenetelük szerint, a konfliktusok súlyossága is meghatározható. Ha a fent említett ütközési pálya úgy alakul ki, hogy a lehetséges ütközésig már csak kevés idő áll rendelkezésre és a közlekedők nagy sebességgel érkeznek, akkor súlyos konfliktusról beszélhetünk, ellenkező esetben könnyű konfliktusról (2. ábra). A módszerrel olyan események is azonosíthatók, ahol fennállt ugyan az ütközés lehetősége, de az olyan távoli, hogy azt nem lehet konfliktusnak nevezni.

#### 4. KIEGÉSZÍTŐ BIZTONSÁGI MUTATÓK ÉS SZOFTVERES TÁMOGATÁS

A tudományos közegben a konfliktus módszereken túlmenően számos, úgynevezett kiegészítő biztonsági mutató (angolul Surrogate

2. ábra: A svéd konfliktus módszer grafikus megjelenítése



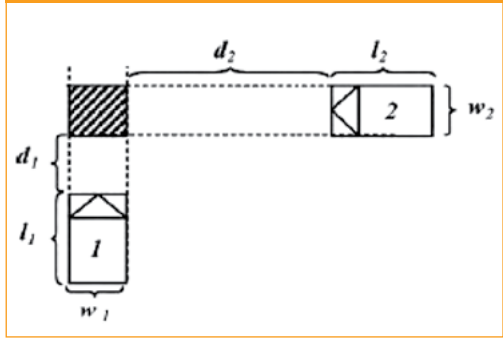
Measures of Safety) került kidolgozásra (közel 40 féle), ezekről áttekintő cikket publikált Mahmud et al. (2017). A konfliktus alapú módszerek és a kiegészítő biztonsági mutatók között természetesen van kapcsolódási pont, hisz fentiekben említett konfliktus módszerek is alkalmaznak ilyen mutatókat. Ezen kiegészítő biztonsági mutatók többnyire az interakcióban részt vevő közlekedők egymástól való időbeli, térbeli távolságát vagy sebességét (annak változását, pl. fékezés) írják le.

A továbbiakban két időbeli távolságot leíró (TTC és PET) és egy, a kimenetel súlyosságát leíró (Delta-V) mutatón keresztül illusztráljuk a konfliktusok mérési lehetőségeit. A két, talán legszélesebb körben alkalmazott mutató az Ütközésig Rendelkezésre álló Idő (ÜRI) (angolul Time-to-Collision TTC) és a Keresztezési Időkülönbség (angolul Post-Encroachment Time PET).

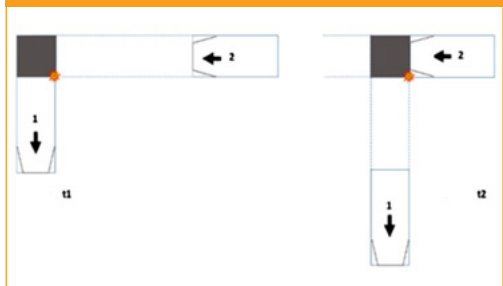
Az ÜRI (TTC) egy elméleti érték, ami a hipotetikus ütközésig rendelkezésre álló időt adja meg, feltételezve, hogy a résztvevők ütközési pályán vannak, sebességüket és trajektóriájukat nem változtatják (3. ábra). Az interakció során előbbiekben említett feltételek teljesülése esetén mérhető. Folytonos mutató, a gyakorlatban a legkisebb érték használatos ( $TTC_{min}$ ), vagyis amikor a két közlekedő időben legközelebb kerül egymáshoz. Amennyiben egyik résztvevő sem módosítja vagy a sebességét, vagy a trajektóriáját, a TTC folyamatosan nullához közelít, és ha azt eléri, bekövetkezik a baleset (1. egyenlet). (Itt kell megjegyezni, hogy a svéd konfliktusmódszerben alkalmazott ÜRI valójában az elkerülő manőver pillanatában mért érték, így értelmezési területe szűkebb.)

A Keresztezési Időkülönbség (Post-Encroachment Time, PET) akkor használható, ha

3. ábra: Az ÜRI (TTC) számítása oldalirányú konfliktus esetén



4. ábra: A PET számítása: t2-t1



a két közlekedő trajektóriái keresztezik egymást, és egy adott időbeli különbséggel haladnak át a konfliktusponton, az ütközési pálya, mint feltétel nem szükséges. A PET két időpillanat közötti különbség alapján mérhető. Az első időpillanat, amikor az első közlekedő elhagyja a konfliktus zónát, a másik pedig, amikor a második közlekedő eléri azt (Allen és Shin, 1977). A PET, szemben a TTC-vel nem folytonos mutató, egyetlen értékkel mérhető (4. ábra).

A kiegészítő biztonsági mutatók felhasználásával a konfliktusok súlyossága is vizsgálható.

1. egyenlet:

$$TTC = \frac{d_2}{v_2}, \text{ ha } \frac{d_1}{v_1} < \frac{d_2}{v_2} < \frac{d_1 + l_1 + w_2}{v_1}, \quad TTC = \frac{d_1}{v_1}, \text{ ha } \frac{d_2}{v_2} < \frac{d_1}{v_1} < \frac{d_2 + l_2 + w_1}{v_2}$$

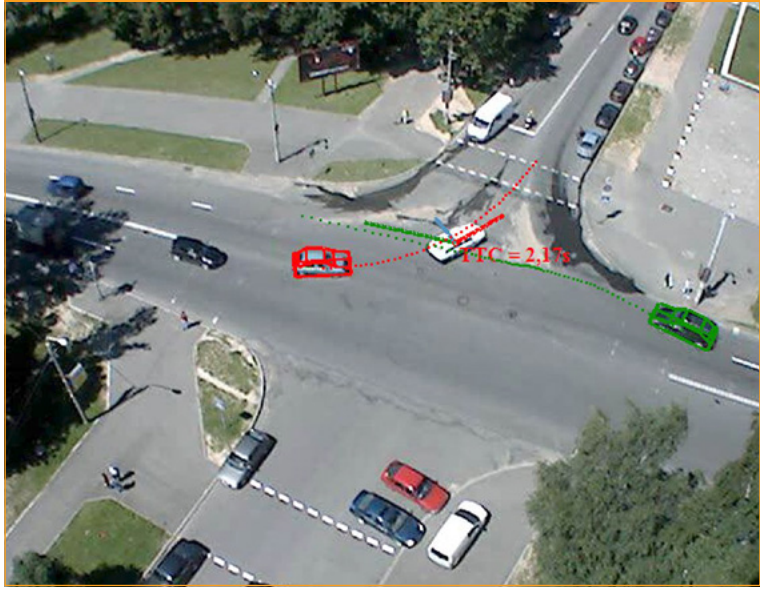
Ennek legegyszerűbb módja, hogy a fent említett mutatókat önmagukban használjuk az interakció súlyosságának leírására, például egy adott küszöbérték alkalmazásával. A TTC esetében a 1,5 másodperc az elfogadott küszöbérték a súlyos és könnyű konfliktusok megkülönböztetésére.

Belátható ugyanakkor az is, hogy a két közlekedő közötti időbeli távolság önmagában nem elegendő a kimenetel súlyosságának leírására. Ugyanazon TTC érték esetén nem mindegy a két jármű sebessége és azok egymáshoz való viszonya (pl. relatív sebesség), azok tömege (gyalogos vs. jármű) és keresztelési szöge.

Az ütközés súlyosságának mérésére gyakran használják a Delta-V mutatót, ez ugyanis az előző szempontokat figyelembe veszi. Ez a mutató a sebességvektor változását írja le, amelyet a közlekedő a baleset során tapasztal. Minél gyorsabb a változás az ütközés előtti és utáni állapot között, annál súlyosabb lesz a kimenetel. A Delta-V értéket mindkét közlekedőre tudjuk számolni a 2. egyenlet segítségével; e kettő közül a legmagasabb értéket lehet használni a kimenetel súlyosságának leírására.

A 2. egyenletben  $v_1$  és  $v_2$  a járművek sebessége,  $m_1$  és  $m_2$  a járművek tömege,  $\alpha$  a keresztelési szöge. Amennyiben az interakcióban

5. ábra: A T-Analyst szoftver az interakcióban lévő járművek trajektóriáival



részt vevő közlekedők jövőbeli mozgásával kapcsolatos feltételezéseket elfogadjuk (a járművek adott időpillanatban mért sebességgel fognak ütközni), az interakció minden pillanatában számítható a Delta-V várható értéke (Laureshyn et al., 2017).

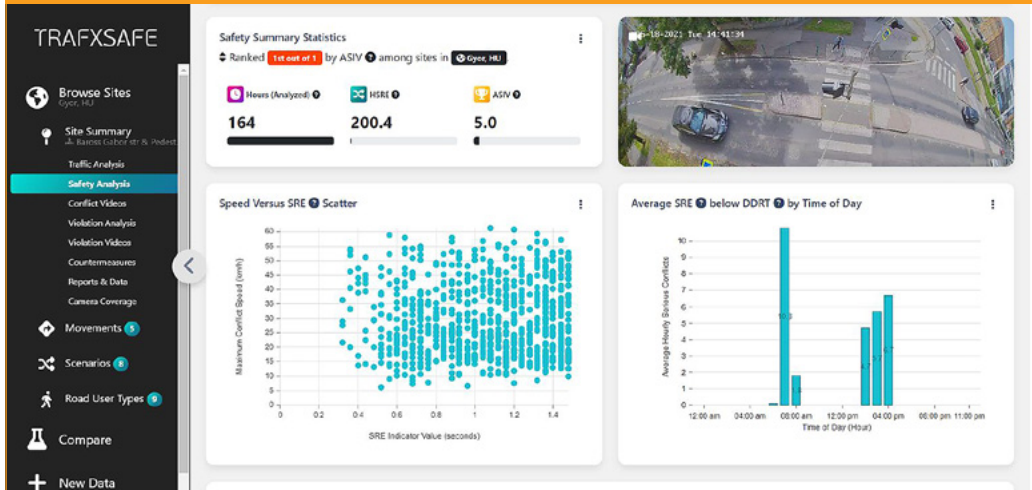
A videó alapú adatgyűjtési módszerek gyors fejlődésének köszönhetően ma már ezeket a mutatókat a vizsgálandó helyszínen készített videófelvevételekből nyerhetjük ki. A videófelvevételek elemzése és az egyes mutatószámok mérése szoftveres támogatással lehetséges. Jelenleg a piacon több ilyen szoftveres megoldás is létezik, a teljesség igénye nélkül itt két forrást említünk meg.

Az egyik széles körben alkalmazott ilyen szoftver a T-Analyst nevű, ingyenesen elérhető alkalmazás (5. ábra), amelyet a svéd

2. egyenlet:

$$\Delta v_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \times \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \alpha}, \quad \Delta v_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \times \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \alpha}$$

## 6. ábra: A TrafXSAFE szoftver platformja



Lund-i egyetem munkatársai fejlesztettek. A szoftver félig automatizált, ami nagy mennyiségű videófelvétel esetén munka- és időigényessé teszi az alkalmazását. A helyszín geodéziai felmérése és a videóképek kalibrálása után a felvételekből az interakciót tartalmazó, 14 másodperces részleteket kell legyűjteni, majd az interakcióban részt vevő közlekedők trajektóriáit (haladási pályáját) megrajzolni. Ez a résztvevők fölé helyezett dobozokkal és azok mozgásával lehetséges. A résztvevők térbeli pozíciója és sebessége ismeretében a szoftver már automatikusan előállítja a kért mutatókat.

Másik lehetőségként kínálkozik az ilyen videó alapú feldolgozást fejlesztő cégek felhő alapú szolgáltatása. Ilyen például a Transoft Solutions Inc. TrafXSAFE szoftvere is, amely gépi tanulást használ a közlekedők közötti interakciók észlelésére, nyomon követésére és elemzésére. Jelentést készít a közlekedők osztályozásáról, a kanyarodási mozgások irányáról, a sebességről és a konfliktuseseményekre vonatkozó adatokról (6. ábra).

A TrafXSAFE a lehetőségekhez mérten teljesen automatizált analitikát nyújt. A helyszíni geodéziai felmérés (gyakran meglévő, bárki számára elérhető műholdképek se-

gíttségével), illetve a videóképek kalibrálása itt is elengedhetetlen. Ezek a kezdeti lépések felelnek a későbbi számítások pontosságáért. Ezek után a TrafXSAFE szoftver automatizált elemzése az alábbi sorrendben történik:

- (1) Közlekedők felismerése, kategorizálása  
Gépi látást és tanuló algoritmust használva, a szoftver képes automatikusan felismerni és azokat különböző fő- és mellékkategoriába helyezni. Egy gyakorlati példát használva, egy, a videón látható gyalogos automatizáltan „védtelen közlekedő” fő kategoriába, és „gyalogos” mellék kategoriába kerül. Amennyiben a látási viszonyok megfelelőek, a szoftver minden esetben képes a mellékkategória szerinti besorolásra. Részleges rálátás vagy az algoritmus számára szokatlan közlekedők esetén sok esetben csak a fő kategoriába történő besorolás lehetséges.
- (2) A közlekedők követése  
A felismert és kategorizált közlekedőket az algoritmus a második lépés szerint a videón látható mozgásuk alapján leköveti. Ez egyaránt jelenti a kanyarodási mozgások irányát, valamint a közlekedő sebességének számítását. Ezek alapján a vizsgált

helyszín forgalomnagysága és a közlekedők egyénekenkénti, kategóriánkénti vagy összesített sebességadatai már elérhetővé válnak.

### (3) Forgalmobiztonsági elemzés

Végző lépésként a szoftver a közlekedők kategóriájának, sebességének és irányának ismeretében forgalmobiztonsági elemzést végez el. Ez főként a fent taglalt két mutató (PET és TTC) számításával történik. A szoftver mindazokat az interakciókat elemzi és tárolja, ami két közlekedő között 10 s alatti konfliktus-mutatót eredményezett.

A TrafXSAFE képes a számított adatokat és mutatókat grafikonok vagy hő térképek formájában megjeleníteni, és így az adatmennyiség térbeli- és, vagy időbeli változását ábrázolni.

## 5. ALKALMAZÁS

A konfliktusmódszert a technológiai háttér fejlődésének köszönhetően egyre szélesebb körben használják napjainkban is. Egy amerikai tanulmányban 90 járművezető vezetési szokásait vizsgálták (Wu et. al. 2014). A vizsgálatban résztvevő járműveket kamerákkal és szenzorokkal szerelték fel és egy éven át nyomon követték. A vizsgálat egyik érdekessége, hogy a konfliktusokon túl tényleges baleseteket is rögzítettek, így a zavartalan eseményektől a konfliktusokon át a balesetekig a közlekedési helyzetek teljes palettája megfigyelhető volt.

Lu et. al (2012) szoftveres videoelemzéssel vizsgálták a konfliktusok súlyosságát. Tanulmányukban előremutató volt, hogy a konfliktusok súlyosságát nem csak az ŰRI és a sebesség alapján számították, hanem figyelembe vették az egyes járművek fékezési teljesítményét is.

7. ábra: A gyalogátkelő felett elhelyezett kamera képe



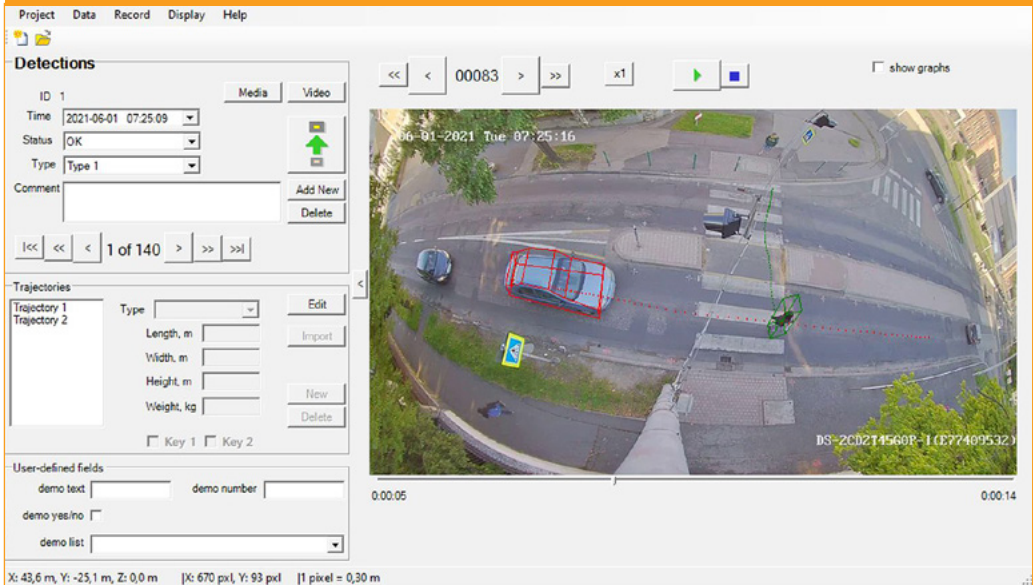
Egy másik kínai tanulmány (Huang et. al.) szoftveres forgalmi szimulációs környezetben modellezett jelzőlámpás csomópontokban a Surrogate Safety Assesment Model (SSAM) elnevezésű ingyenesen elérhető szoftver segítségével azonosított és a tényleges forgalomban megfigyelt konfliktusokat hasonlította össze. Arra a következtetésre jutottak, hogy a modell nem kezeli jól a váratlan, szabálytalan sávváltásokból eredő konfliktusokat. Ez főleg annak tudható be, hogy a mikroszimulációs szoftvereket alapvetően szabályos közlekedés modellezésére fejlesztették ki.

Hollandiában a DOCTOR módszert (Dutch Objective Conflict Technique for Operation and Safety) alkalmazták különböző szélességű kerékpárutakon előforduló kerékpár-segédmotorkerékpár- és kerékpár-gyalogos konfliktusok azonosítására (van der Horst et. al., 2014).

Autey et. al. (2012) csomóponti jobbra kanyarodó sávok átépítésének biztonságra gyakorolt hatását vizsgálta automatizált konfliktusmódszer alkalmazásával. A tanulmány célja az volt, hogy a több helyszínen tervezett típusbeavatkozás várható hatását előre becsülik a néhány helyszínen megvalósított pilot projekt tapasztalatai alapján.

A közúti balesetek és a konfliktusok közötti összefüggéseket (korreláció) is többen kutatták, azonban ez a kapcsolat továbbra is azon a feltételezésen alapul, hogy a historikus baleseti adatok pontosak. A konfliktusok baleseti ada-

## 8. ábra: A gyalogos-gépjármű konfliktus a T-Analyst szoftverben (PET=0,2s)



tokkal történő validálása helyett egy alternatív megközelítés az extrém érték elmélet (angolul Extreme Value Theory). Ezt az utóbbi években több kutató is alkalmazta, mint elemzési módszert. Ennek az alap gondolata, hogy historikus adatokból becsljük szélsőséges, meg nem történt események előfordulási valószínűségét. Tipikus példa, hogy vízálási adatokból számoljuk extrém vízállások valószínűségét, ami alapján tervezhetők az árvízvédelmi létesítmények. A konfliktus elemzésben ezen extrém esemény a közúti baleset bekövetkezése.

A baleset bekövetkezési valószínűségének számításával lehetséges a biztonság megítélése, akár különféle helyszínek összehasonlítása, rangsorolása is. Az extrém érték elmélet által kínált eljárásokkal és alkalmazásukkal Borsos et al. (2020) és Borsos (2021) is foglalkoztak.

Egy, a győri Széchenyi István Egyetemen

futó bilaterális projekt (2019-2.1.11-TÉT-2020-00194) keretében fentiekben ismertetett extrém érték elmélet alkalmazásával foglalkozunk, gyalogos-gépjármű interakciókat vizsgálva. A vizsgálat helyszíne a győri Gárdonyi Géza Általános Iskola előtti gyalogátkelő (Győr, Baross Gábor út 49., 47°40'46.4"N, 17°38'18.5"E).

A gyalogátkelő felett elhelyezésre került egy Hikvision kamera, amellyel a reggeli (6 és 9

## 9. ábra: A gyalogos-gépjármű konfliktus a TrafXSAFE szoftverben (PET=1,24s)



óra közötti) és délutáni (14 és 17 óra közötti) csúcspontokat rögzítettük. A kamera által felvett videókon a gyalogos-jármű interakciókat a T-Analyst szoftverben elemezzük. Az elemzés első lépése a videófelvételek kalibrálása, ehhez szükséges volt a helyszín geodéziai felmérése (lásd 7. ábrán fehér keresztek).

A T-Analyst szoftverben rajzoljuk meg a gyalogosok és járművek trajektóriáit (8. ábra), amelyekből a szoftver segítségével többféle kiegészítő biztonsági mutatót tudunk előállítani. Mindez a TrafXSAFE szoftverben (9. ábra) automatizáltan történik. Ezek a mutatók többek között az interakcióban részt vevők egymáshoz képesti térbeli és időbeli távolságát, sebességét fejezik ki.

## 6. ÖSSZEGZÉS

A közúti biztonság elemzésében a pusztán bal-eseti alapú mérések mellett egyre nagyobb térnyerése van a konfliktus alapú vizsgálatoknak és az ún. kiegészítő biztonsági mutatóknak. A videó alapú adatgyűjtési és gépi tanulási módszerek fejlődésének köszönhetően ezen mutatók ma már teljesen automatizált módon is gyűjthetők. Jelen cikkben vázlatos áttekintést kívántunk adni a legfontosabb módszertani alapokról, kiegészítő biztonsági mutatókról, valamint azok gyakorlati alkalmazási lehetőségeiről.

A videó alapú konfliktus elemzési módszerek, valamint a kiegészítő biztonsági mutatók hazai alkalmazása új irányt nyit a közúti biztonság elemzésében. Az ismertetett módszer nagy előnye, hogy az elemzéshez szükséges videófelvételek pár nap alatt elkészíthetők. Az eredményeket sokrétűen lehet használni, a módszer alkalmas egyes helyszínek összehasonlítására, rangsorolására vagy épp előtteutána vizsgálatokra. A szerzők jelenleg is több projekt keretében folytatnak méréseket, az első eredményeket rövidesen egy következő cikkben közöljük.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Allen, B. L. and Shin, B. T. (1977). Analysis of Traffic Conflicts and Collisions. *Transportation Research Record*, 667:67–74.
2. Autey J., Sayed T., Zaki M. H. (2012), Safety evaluation of right-turn smart channels using automated traffic conflict analysis. *Accident Analysis & Prevention Volume 45*, March 2012, Pages 120-130, DOI: <https://doi.org/fx6xh3>
3. Baguley, C. J. (1984). The British traffic conflicts technique. In NATO advanced research workshop on international calibration study of traffic conflict techniques, Copenhagen, Denmark.
4. Borsos, A., Farah H., Laureshyn A., Hagenzieker M., 2020. Are collision and crossing course surrogate safety indicators transferable? A probability based approach using extreme value theory. *Accident Analysis & Prevention* 143, pp. 105517. DOI: <https://doi.org/gjddz2>
5. Borsos, A., 2021. Application of bivariate extreme value models to describe the joint behavior of temporal and speed related surrogate measures of safety, *Accident Analysis & Prevention*, 159: 106274, DOI: <https://doi.org/grp372>
6. Ceunynck, d. T. (2017). Defining and applying surrogate safety measures and behavioural indicators through site-based observations (Doctoral dissertation). PhD thesis, Lund University, Sweden.
7. Flanagan, J. (1954). The Critical Incident Technique. *Psychological Bulletin* 51, pp. 327–358.
8. Hauer, E. (1997). Observational before-after studies in road safety. Emerald Group Publishing Limited, Oxford, UK.
9. Hydén, C. (1987). The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique. PhD thesis, Lund University, Sweden
10. Huang, F., Liu, P., Yu, H., Wang, W. (2013) Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections, *Accident Analysis and Prevention* 50, pp. 1014-1024., DOI: <https://doi.org/gmv2q7>

11. Kočárková, D. (2012). Traffic Conflict Techniques in Czech Republic. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53:1029–1034
12. Kraay, J. and van der Horst, A. (1985). The Trautenfels Study: A diagnosis of road safety using Dutch Conflict observation Technique DOCTOR. Technical report, Institute for Road Safety Research SWOV, The Netherlands
13. Kulmala, R. (1984). The Finnish traffic conflict technique. In NATO advanced research workshop on international calibration study of traffic conflict techniques, Copenhagen, Denmark
14. Laureshyn, A., Svensson, A., and Hydén, C. (2010). Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis and Prevention*, 42:1637–1646., DOI: <https://doi.org/bz2k39>
15. Laureshyn, A., De Ceunynck, T., Karlsson, C., Svensson, A., and Daniels, S. (2017). In search of the severity dimension of traffic events: Extended Delta-V as a traffic conflict indicator. *Accident Analysis and Prevention*, 98:46–56., DOI: <https://doi.org/f9jpb6>
16. Lu, G., Liu, M., Wang, Y., Yu, G. (2012) Quantifying the Severity of Traffic Conflict by Assuming Moving Elements as Rectangles at Intersection, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 43, pp. 255 – 264., DOI: <https://doi.org/m42s>
17. Mahmud, S. S., Ferreira, L., Hoque, M. S., and Tavassoli, A. (2017). Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 41:153–163., DOI: <https://doi.org/gf9kms>
18. Miletics, D. (2015): A konfliktusmódszer alkalmazása, In: Koren, Cs. (szerkesztő): Biztonságosabb közúti infrastruktúra, Győr, Magyarország: Universitas-Győr Nonprofit Kft., pp. 197-206.
19. Muhlrad, N. and Dupre, G. (1984). The French conflict technique. In NATO advanced research workshop on international calibration study of traffic conflict techniques, Copenhagen, Denmark
20. Nicholson, A. J. (1985). The variability of accident counts. *Accident Analysis and Prevention*, 17(1):47–56., DOI: <https://doi.org/ctfg5w>
21. Parker, M, R. and Zegeer, C, V. (1989). Traffic conflict techniques for safety and operation - observers manual (No. FHWA-IP-88-027). Technical report, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transport
22. Perkins, S.R. and Harris, J.I. (1967) Traffic Conflict Characteristics: Accident Potential at Intersections. General Motors Corporation, Warren, MI.
23. Risser, R. and Schutzenhofer, A. (1984). Application of traffic conflict technique in Austria. In NATO advanced research workshop on international calibration study of traffic conflict techniques, Copenhagen, Denmark
24. Tarko, A., Davis, G., Saunier, N., Sayed, T., and Washington, S. (2009). White Paper SURRO-GATE MEASURES OF SAFETY ANB20(3) Subcommittee on Surrogate Measures of Safety ANB20 Committee on Safety Data Evaluation and Analysis
25. T-Analyst (2016). Software for semi-automated video processing
26. Songchitruksa, P. and Tarko, A. P. (2006). The extreme value theory approach to safety estimation. *Accident Analysis and Prevention*, 38:811–822., DOI: <https://doi.org/cppxzj>
27. Svensson, A. and Hydén, C. (2006). Estimating the severity of safety related behaviour. *Accident Analysis and Prevention*, 38:379–385., DOI: <https://doi.org/ffsbd3>
28. van der Horst, A. R. A., de Goede, M., de Hair-Buijssen, S., Methorst, R. (2014) Traffic conflicts on bicycle paths: A systematic observation of behaviour from video, *Accident Analysis and Prevention* 62, pp. 358– 368., DOI: <https://doi.org/gkctf6>
29. Wu, K., Aguero-Valverde, J., Jovanis, P. (2014) Using naturalistic driving data to explore the association between traffic safety-related events and crash risk at driver level, *Accident Analysis and Prevention* 72, pp. 210–218., DOI: <https://doi.org/f6m57b>



### Traffic conflict analysis: from the Swedish conflict technique to video-based analysis methods

*Keywords: conflict analysis,  
conflict method, accident,  
road safety, supplementary  
safety indicators*

To improve road safety, it is necessary to measure it accurately, to identify the causes of safety problems and to make recommendations. These analyses are usually based on historical accident data, but it is known that solutions can also be found by observing near-accident events.



### Konfliktanalyse im Straßenverkehr: von der schwedischen Kon- flikttechnik zu videoba- sierten Analysemethoden

*Schlüsselwörter: Konfliktana-  
lyse, Konfliktmethode, Unfall,  
Verkehrssicherheit, zusätzli-  
che Sicherheitsindikatoren*

Um die Sicherheit im Straßenverkehr zu verbessern, ist es notwendig, sie genau zu messen, die Ursachen von Sicherheitsproblemen zu identifizieren und Empfehlungen zu geben. Diese Analysen basieren sich in der Regel auf historischen Unfalldaten, aber es ist bekannt, dass Lösungen auch durch die Beobachtung von Beinahe-Unfällen gefunden werden können.

## E számunk lektorai

Dr. Henézi Diána ■ Dr. Jóna László

Lévai Zsolt ■ Dr. Sárközi György ■ Dr. Timár András



# Paradigmaváltás előtt áll a közlekedés – A zöldhidrogén felhasználása a közlekedésben<sup>1</sup>

Az értekezés célja, hogy bemutassa a KTI/SZ/278-3/2023. sz. „Zöldhidrogén előállítás, tárolása és felhasználása, nemzetközi esettanulmányok és mintaprojektek összegyűjtése a közlekedés, a szállítás és az energetika területéről” kutatási program alapvetését, és feltárja a zöldhidrogénre alapozott komplex fejlesztési program szükségességét a magyarországi energiastratégia egyes kérdéseinek újragondolásához.

*Kulcsszavak: zöldhidrogén előállítás; zöldhidrogén betárolás; off-grid megoldás; energia stratégia; energia függetlenség, dual fuel, eFuel*

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.4.5>

---

## Dr. Bódi Antal PhD

KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet  
e-mail: [bodi.antal@kti.hu](mailto:bodi.antal@kti.hu)

---

### 1. BEVEZETÉS

A KTI-ben (KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet) több tanulmány és döntéselőkészítő anyag készült, és számos projektötlet fogalmazódott meg az elmúlt időszakban a különböző stakeholderekkel történő egyeztetések során a zöldhidrogén előállítás, tárolása és felhasználása tárgyában. Folyamatosan végezzük a hazai és nemzetközi esettanulmányok és mintaprojektek összegyűjtését, elsősorban a közlekedés és a szállítás terüle-

téről. Az Intézetben meghatározó kutatások folynak az intelligens mobilitás kialakítása érdekében, amelyek jól kapcsolódnak a megújuló energia és az elektromobilitás elterjedést megalapozó IT fejlesztések vizsgálatához. A KTI szerepköréből adódóan kutatásaival a közlekedésbiztonság fokozását, az intelligens közlekedés kialakítását segíti elő. A korábbi jövőképünkben azzal számolhattunk, hogy a kiterjedt digitalizáció lehetősége és igénye a közlekedést is elérte. Olyan intelligens közlekedési rendszerek (Intelligent Transport

---

<sup>1</sup> Bódi Antal A zöldhidrogén felhasználása a közlekedésben / The green hydrogen usage in transportation In: Horváth, Balázs; Horváth, Gábor (szerk.) XIII. International Conference on Transport Sciences / XIII. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia, Győr : Multimodality and sustainability / Multimodalitás és fenntarthatóság Győr, Magyarország : Közlekedéstudományi Egyesület (2023) pp. 356-361. , 5 p. cikk kibővített változata az MTA Közlekedés- és Járműtudományi Bizottságának 2023. november 22-i ülésén elhangzott előadás anyagával.

Systems, ITS) jönnek létre, amelyek az általuk előállított és kezelt adatokra épülve lehetővé teszik az egységes közlekedési adattér kialakulását. A lehetőségek kiaknázása azonban jelentős kockázatot is hordoz magában, mivel az ITS kialakítása során fokozott biztonsági kitértiséget és kibernetikai kockázatot jelentő IT rendszereket vagyunk kénytelenek használni. Azzal, hogy adatvezérelt hálózati rendszerek közvetlen emberi kontroll nélkül képesek a közlekedésben meghatározó szerepet játszani, a felelősség meghatározásában és a jogkövető magatartás kikényszerítésében, a jogalkotás és a jogértelmezés számára nagyon komoly kihívást jelentenek. A várakozásunk, hogy az eddig megtapasztalt technológiai fejlődés olyan új lehetőségeket ad a kezünkbe, amelyek segítségével képesek leszünk a kialakuló kihívásokat kezelni és a kockázatok megszüntetni, vagy legalábbis jelentősen mérsékelni. Ezzel szemben az elmúlt évben kirobbant energiaválság jelentős mértékben kimutatta a közlekedés fosszilis alapú energiakitűtségét az egész világon, és teljesen új problémákat hozott felszínre, érzékeltetve a közlekedés alapvető energia kitértiségét. Ennek hatására számos fejlesztés és kísérleti modell megvalósítása indult be, előremutató szakmapolitikai kezdeményezések kaptak teret világszerte, így az EU-ban és Magyarországon is. A KTI-ben levő közlekedéstudományi kompetencia energetikai szempont szerinti felhasználása jelentős szinergiát jelent, hogy olyan átfogó megalapozó kutatás jöjjön létre, amely a jelenkor kihívásaira megfelelő horizontális és perspektivikus választ tud adni egyszerre a digitális kihívásokra és az energiakitűtség kezelésére.

## 2. A KUTATÁS CÉLJA

A kutatás célja, hogy létrehozzunk egy olyan döntéshozókészítő tanulmányt, amely a zöldhidrogénre alapozott komplex fejlesztési program szakmai megalapozását segíti elő, és ezzel hozzájárul a magyarországi energiastratégia egyes kérdéseinek újragondolásához a nemzetközi összehasonlítás során vizsgált esettanulmányokon keresztül. A legfontosabb vizsgálandó szempontok és kérdések:

- A zöldhidrogén-előállításal hogyan lehet tartósan betárolni és később felhasználni a hektikus napenergiatermelést, és hogyan lehet eltolni az energetikai szempontból kedvezőtlen túltermelési csúcspontokat?
- A decentralizált szempontok figyelembevételével hogyan lehet a zöldhidrogént helyben előállítani, tárolni és felhasználni?
- Az előállított zöldhidrogén esetén milyen off-grid megoldási lehetőségekkel lehet számolni az alternatív meghajtásra a vasúti, a közúti szállítás és a közössi közlekedés területén?
- Kapcsolódó energiamedzsementrendszerek kialakítása és működtetése során kvantum- és kibernetikai biztositására hogyan kell felkészülni?

## 3. A KUTATÁSI KERETEK MEGHATÁROZÁSA

Olyan hazai és nemzetközi modelleket és esettanulmányokat kutatunk fel, amelyek tevékenysége illeszkedik valamelyik felvázolt fejlesztési szcenárióra vagy annak egy-egy résztvékenységére. Várakozásaink szerint az elérhető lista nem lesz teljes körű, de néhány következtetés így is levonható, és további kutatási irányokat lehet vele meghatározni.

### 3.1. Konkrét szempontrendszer

- különösen fontosak az elmúlt 5-10 évben a már komoly szakértői háttérrel rendelkező cégek projektjei, amelyek korábban elkezdtek az zöldhidrogénnel foglalkozni, illetve sok új cég is alakult ezen a területen az utóbbi időben;
- a piacon nagyon sok az innováció, eltérő megközelítések léteznek a zöldhidrogén felhasználására, előállítására és tárolására;
- sok a közlekedésben érintett és meghatározó gyártó már most is partneri együttműködésekkel alakított ki ezekkel az új zöldhidrogénhez kapcsolódó cégekkel;
- a kutatás eredményeit összefoglaltuk egy előzetes megvalósíthatósági tanulmány-

ban, ahol azonosítjuk és összegyűjtjük a potenciális együttműködő partnereket. Javaslatot teszünk nemzetgazdasági szinten megvalósítandó üzleti tervre, amelyhez balanced scorecard-ot dolgozunk ki, releváns inerciarendszerben elhelyezzük a piac szereplőit.

### 3.2. Elvárt eredmények és módszertan

A zöldhidrogén előállítását, tárolását és felhasználását hazai és nemzetközi esettanulmányok alapján mutatjuk be. Meghatározó mintaprojektek összegyűjtése révén a közlekedés, a szállítás és az energetika területéről összekapcsolva az intelligens mobilitással.

A kutatási módszertan során elsősorban tudományos folyóiratok, szabványok, jogszabályok, könyvek, egyetemi és kutatóintézeti publikációk, szakmai kiadványok és szakmai tanulmányutakon ismertetett modellek kerülnek felhasználásra. A kutatási munkafolyamatok során rendszeres státuszértekezleteken egyeztetünk a kitűzött célok előrehaladásával kapcsolatban, amely segítségével könnyebben azonosíthatók lesznek a problémák, az előrehaladás és a szakmai minőség elvárásainak a teljesülése.

A vizsgálat kiterjedt arra, hogy a megújuló energiából történő zöldhidrogén előállításal hogyan lehet tartósan betárolni és később felhasználni a hektikus napenergiatermelést vagy a szélerőművek által megtermelt energiát, és hogy lehet eltolni időben az energetikai szempontból kedvezőtlen túltermelési csúcsokat. A legfontosabb fókusz, hogy a decentralizálási szempontok figyelembevételével hogyan lehet a zöldhidrogént helyben előállítani, tárolni és felhasználni. Ezzel két területen tud-

juk jelentősen megnövelni a biztonságot. Az előállított zöldhidrogént off-grid megoldási lehetőséget adnak alternatív meghajtásra mind a vasúti, mind a közúti szállítás és a közösségi közlekedés területén. Ez elősegítheti a közlekedési energiaigények kiszámítható kiszolgáltatását közvetlen hidrogén felhasználással, illetve a hidrogénre alapozott elektromos töltőpontok kialakításával. A zöldhidrogén előállításához kapcsolódó energiamedndsment rendszerek biztosítása elősegíti az energiahálózat rezilienciájának biztosítását.

### 3.3. A kutatás szükségessége

A kutatás során elkészült egy döntéselőkészítő tanulmány, amelynek a célja, hogy zöldhidrogénre alapozott komplex fejlesztési program szakmai megalapozásával járuljon hozzá a magyarországi energiastratégia egyes kérdéseinek újragondolásához a nemzetközi összehasonlítás során vizsgált esettanulmányokon keresztül. A 2022 novemberében tapasztalt üzemanyagellátási válság rámutatott a közlekedés szénhidrogén alapú kitettségére, amely eléri a 92%-ot (1. ábra). A szektorok között ez tekinthető kitettség szempontjából az egyik legnagyobb energiabiztonsági kockázatnak Magyarországon. 2022. november második felében olyat tapasztaltak a közlekedők, amit évtizedek óta soha: alig volt üzemanyag.

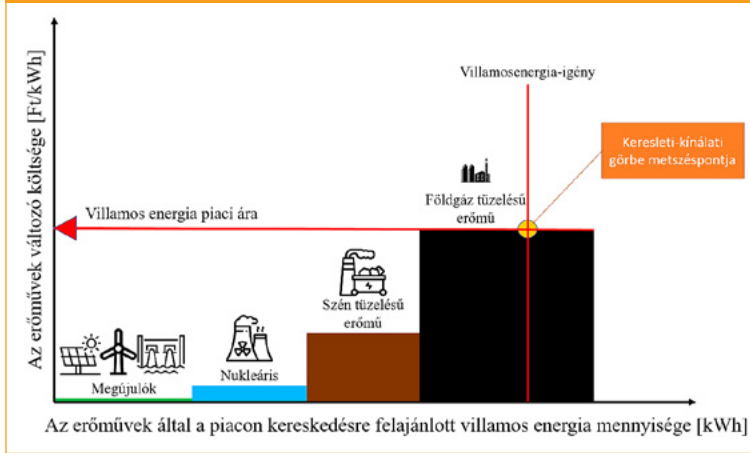
**1. ábra: Energetikai kitettség**

(Forrás: MTA Magyar Tudomány Ünnepe 2022. Prof. Dr. Aszódi Attila egyetemi tanár, energetikai mérnök előadása 2022. november 9.)



## 2. ábra: A jelenlegi árampiaci modell (merit order modell) egyszerűsített sémája

(Forrás: Aszódi A., Biró B., 2022, CC BY-SA 4.0)



Az erőművek által előállított áram árát elsősorban a legdrágábban termelő erőmű határozza meg (2. ábra), és ez az esetek többségében jelenleg a földgáztüzelésű erőműveket jelenti, amelyeknél a meghatározó költség a földgáz ára, aminek világpiaci áralakulását a holland gáztözsden lehet látni (3. ábra).

Egyszerre kell megküzdenünk azzal, hogy a megújuló energia termelése hektikus, előre nem kiszámítható, illetve rendszeresen tapasztalható, hogy olyankor jelentkezik a

túlermelés, amikor a fogyasztási igény alacsony. Szerencsére, az így megtermelt elektromos árammal elektrolizáló berendezések segítségével a vizet hidrogénné és oxigénné bonthatjuk. Az így megtermelt zöldhidrogént betárolhatjuk, majd igény szerint bármikor, amikor kevés megújuló energia áll rendelkezésre, a hidrogénnél az elektrolizálás folyamatával ellentétes irányba működő üzemanyagcellában áramot állíthatunk elő (4. ábra), vagy lehetőségünk van közvetlenül akár 100% hidrogén elégetésével energiát visszanyerni a gázerőművekben. A hidrogénnél és az oxigénnél újra víz lesz, így a folyamatban a hidrogén csak, mint energia puffertároló vesz részt és nincs vagy elkerülhető a károsanyag-kibocsátás. A megújuló energiák jellemzője, hogy változó költségük, egyben határköltségük közel nulla (2. ábra), így minél nagyobb arányban vesznek részt az energiamixben, azzal egyre inkább tudjuk csökkenteni az energiaköltségeket.

## 3. ábra: A gáz világpiaci árának alakulása a holland gáztözsden

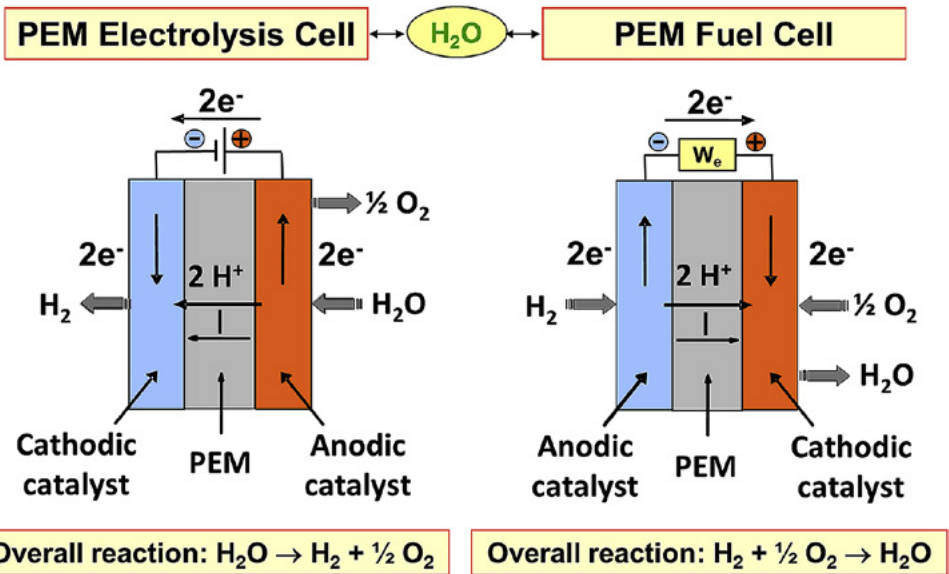
(Forrás: ICE Exend (2023))



A zöldhidrogén előállításával lehet tartósan betárolni és később felhasználni a hektikus napenergia-termelést, és így lehet eltolni az energetikai szempontból kedvezőtlen túlermelési csúcspontokat. A túlermelési csúcspontok nagyon károsak az elektromos hálózatra nézve, és a megtermelt energia jelentős része elveszhet, így ezen problémák kezelésére szokták a zsinór erőművek kiegészítésére a

## 4. ábra: Az elektrolizáló cella és az üzemanyagcella elvi működése

(Forrás: GANZAIR MODULÁRIS, HIDROGÉN KÖZEGŰ ENERGIATÁROLÓ ÉS TERMELŐ RENDSZEREK)



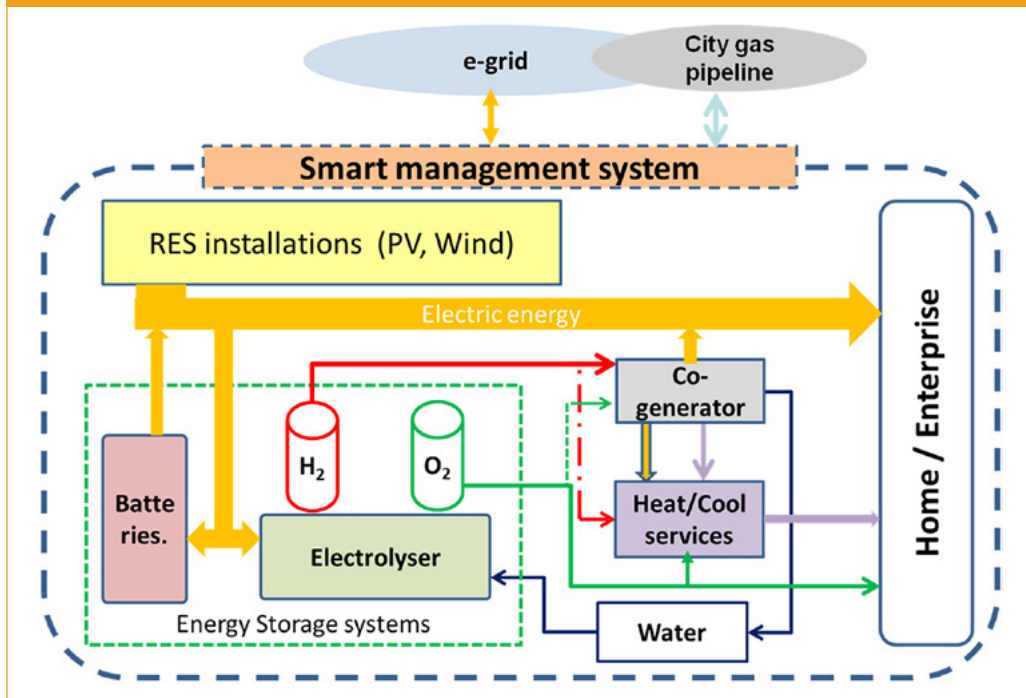
gyorsan szabályozható erőműveket felhasználni, mint a gázerőművek. A hidrogénnel táplált gázerőművekkel elérhető lenne, hogy a megújuló energia által keltett hálózati kitérítést magával a megújuló energiával leszünk képesek kezelni. A megújuló energiatermelés zavarai, hektikussága azonban nem globálisan jelentkezik, hanem a földrajzi elhelyezkedés is erősen befolyásolja. Egy-egy naperőműpark termelése nagyon rövid idő alatt képes jelentősen megváltozni, amennyiben helyi szinten például felhősödés lép fel. A szélerőműparkoknál is találkozhatunk váratlan hosszabb-rövidebb teljesítményesséssel. Ezzel szemben csak akkor tudunk hatékonyan fellépni, amennyiben a zöldhidrogénbe történő energiátárolással érvényesítjük a decentralizálási szempontokat. A zöldhidrogént helyben, decentralizáltan kell előállítani, tárolni és felhasználni. Ezzel jelentős mértékben tudjuk a költségeket csökkenteni, mivel a zöldhidrogén szállítása akár közúton, akár csővezetéken jelentősen megdrágítja az előállítást, és nagymérték-

ben növeli az ellátásbiztonság kockázatát. Amennyiben vonalas szállítási infrastruktúrát veszünk igénybe a zöldhidrogén szállítására, annak a potenciális terror kitérítéssel újabb, nehezen kezelhető kockázatokat fogunk kialakítani.

A decentralizáltan előállított zöldhidrogén off-grid megoldási lehetőségeket nyújt alternatív meghajtásra mind a vasúti, mind a közúti szállítás területén. Ez történhet üzemanyagcellával történő meghajtással vagy akár belső égésű motorokban történő felhasználással is. Már több országban megindultak az első pilot felhasználói alkalmazások, amelyek nagyon komoly kihívással küzdenek, mivel a zöldhidrogén-előállító infrastruktúra sem alakult még ki. Ellenben jelentős előnynek tekinthetjük a több mint ezer kilométeres hatótávot egy egyszeri gyors zöldhidrogén töltéssel. A zöldhidrogénnel történő tankolás időszükséglete nem nagyobb, mint a hagyományos szénhidrogén alapú üzemanyagoké.

## 5. ábra: A fő komponensek ismertetése

<https://nilssonenergy.com/products/> kép felhasználásával készült 2023.04.07.



Amennyiben a multimodális és multiszektorális alkalmazások is előtérbe kerülnek, azok jelentősen felgyorsíthatják a folyamatos és decentralizált zöldhidrogén ellátás kialakulását. A legnagyobb potenciál a kapcsolódó energiamenedzsment rendszerek kialakulásában van, mert a korábbi, 2. ábra szerinti árampiaci modellbe részben be tudjuk helyettesíteni a 100%-ban vagy jelentős bekeverési arányban üzemelő gázerőműveket, és ezzel az energiabiztonság legfontosabb szempontját a kiszámíthatóbb árakat tudjuk megcélözni.

### 3.4 Zöldhidrogén előállítás megújuló energia felhasználásával, a fő komponensek ismertetése (5. ábra)

A tanulmányban több releváns publikáció alapján ismertetjük a kérdés alapjait és beágyazottságát [2].

- Megújuló hidrogéntermelés
- Hidrogéntárolás és -elosztás

- Hidrogén végfelhasználás - közlekedés
- Hidrogén végfelhasználás - tiszta hő és energia biztosítása
- Ágazatközi tevékenységek - multiszektorális és multimodális megközelítés kifejlesztése
- Hidrogénelátási láncok, hidrogénvölgyek, hidrogénfolyosók, a hidrogénipar geopolitikai és üzletpolitikai kihívásainak ismertetése
- Stratégiai kutatási kihívások elemzése

### 3.5. Esettanulmányok ismertetése, technológiai kitekintés

Hidrogénüzemek tervezése, építési és üzemeltetési kihívásai különös tekintettel a hidrogén gáz jelentette biztonsági kockázatokra: tesztelés, adatbiztonság és a preventív biztonsági feltételek megteremtése. Szabványosítási feltételek az előállítás, tárolás és szállítás területén [1].

### 3.6. A zöldhidrogén felhasználása a közlekedésben

A különböző felhasználási területek a közlekedésben: eFuels előállítás, közvetlen hidrogén felhasználás, hidrogénből nyert elektromos töltés és áram felhasználása. A felhasználás hosszú távú távlat a gépjárművekben történő zöldhidrogén felhasználásra már láthatunk példát (6. ábra).

Ismert olyan hazai fejlesztési elképzelés, amely a fenntartható közlekedéshez egy rövid és középtávú megközelítést vizionál. Felismerve, hogy a kívánt emissziócsökkentés 80%-át a befektetés 20%-ából érhetjük el. Kialakítás alatt van olyan dual-fuel technológia, amely a zöldhidrogént és a dízelt egyaránt hasznosítja, így nem csak jelentős kibocsátáscsökkenést

### 6. ábra: Hidrogén meghajtás

[https://www.vezess.hu/ujauto-teszt/2021/06/02/nincs-mi-elromoljon-benne-es-csak-vizet-pufog-ki-a-jovo-autoja-budapesten-probaltuk-a-mirait/?gallery=1/1/dsc0356\\_10](https://www.vezess.hu/ujauto-teszt/2021/06/02/nincs-mi-elromoljon-benne-es-csak-vizet-pufog-ki-a-jovo-autoja-budapesten-probaltuk-a-mirait/?gallery=1/1/dsc0356_10) 2023.04.12



garantál, hanem rugalmasságot is biztosít, mivel a hagyományos dízel üzem továbbra is lehetőség marad. Amennyiben a szakmapolitikai változások lehetővé teszik a biodízel kiterjedt felhasználását, illetve az eFuel előállítását. Ez növeli a biztonságot, lehetővé téve a közlekedés zavartalan működését akkor is,

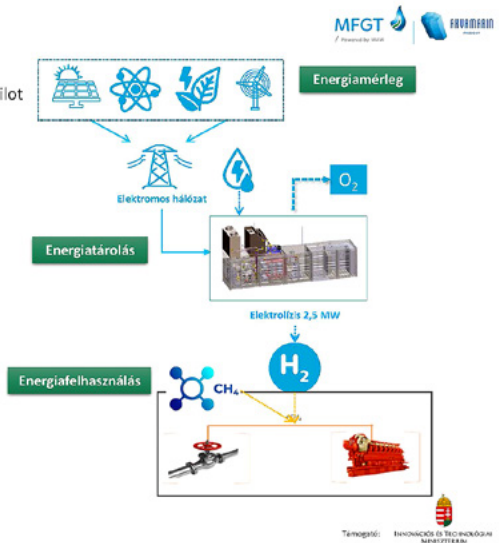
### 7. ábra: Akvamarin projekt áttekintés forrás: II. Workshop Akvamarin Energiatárolási innováció a Magyar Földgáztároló Zrt-nél, 2021.10.01

#### Akvamarin - áttekintés

- Cél: hidrogén tolerancia vizsgálata a tárolói infrastruktúrán, pilot projekt keretében
- 2,5 MW teljesítményű elektrolízis és kompresszor egység
- Projekt forrásigény: 2 896 Mft
- Projekt időtartama: 2021. február 01. - 2023. január 31.
- Elsősorban helyi infrastruktúra fejlesztés és kapcsolódó K+F programok



Kardoskúti FGT



8. ábra: Hidrogén folyosók tervezett kialakítása forrás: FGSZ TÍZ ÉVES FEJLESZTÉSI JAVASLAT 2022. május prezentáció

## A 4.-10. évben megvalósításra feltételesen javasolt projektek IV.

21

### PROJEKT LEÍRÁS

#### Hidrogén folyosók

A hidrogén stratégia értelmében először a földgáz+hidrogén keverékek megjelenése prognosztizálható a meglévő földgázszállító rendszeren, majd a tiszta hidrogént szállító vezetékek megjelenése is várható a meglévő vezetékek átalakításával, illetve új vezetékek létesítésével a hazai és átszállítási (import/export) hidrogén fogyasztási igények, a hidrogéntermelők betáplálási igényeinek alakulása szerint.

Projekt: az alábbi vezetékek és kompresszorállomások átalakításának vizsgálata:

- HU/UA hidrogén folyosó ■
- HU/HR hidrogén folyosó ■
- HU/SK hidrogén folyosó ■
- HU/RO hidrogén folyosó ■
- HU/AT hidrogén folyosó ■
- HU/SI hidrogén folyosó ■

### PROJEKT



ha infrastrukturális kihívások vagy a globális ellátásiláncban problémák lépnek fel. Különös jelentőséget ad arra, hogy a meglévő járművek retrofit átalakításával megnöveljük a meglévő élettartamot, csökkentjük az elsüllyedt költségeket, és ne kelljen kifizetni azt a kezdeti magas innovációs felárat, amelyet a legújabb tisztán hidrogénes megoldásoknál a gyártók diktálnak.

A kapcsolódó hidrogén infrastruktúra kérdései. A helyben történő termelés, a tárolás és a felhasználás, illetve a hidrogén szállítás lehetőségei és kockázatai komoly kihívást jelentenek, de ezek megoldásával ki lehet alakítani energetikai szempontból rugalmasan ellenálló megoldást a közlekedésben [3].

### 4. HAZAI ISMERT PROJEKTEK ÁTTEKINTÉSE

Az egyik legismertebb hazai projekt a Magyar Földgáz Tároló Zrt.-nél folyó Akvamarin Energiatárolási innováció (7. ábra). A kutatás során értékelni fogjuk a projekt előrehaladását és a várható továbbvitelét hidrogénfolyosók kialakításának irányába (8. ábra).

### 5. KONKLÚZIÓ

Az energiai kitettség felerősödése az EU-ban felfokozta a közös európai mobilitási adattér kialakításának szükségességét és az ITS közlekedési rendszerek kialakításánál a kiberfenyegetettség minimalizálását, illetve lehetőség szerinti kizárását. Ennek érdekében olyan 5G hálózati lefedettséget kell kialakítani a közlekedés számára, amely magas rendelkezésre állással és megfelelő biztonsággal képes az adatátvitelre, mivel a megbízható adatok felhasználása és rendelkezésre állása a közlekedési rendszerek folyamatos és tervezhető energiaellátásához is szükség lesz. Az adatok összegyűjtése és mozgatása során az adattér számára részben az 5G hálózat fogja az itt megsztott adatokból létrejövő megbízható adatot garantálni és egyben az EU kiberbiztonsági keretrendszer szerinti tanúsíthatóságot is megteremteni. Az ITS ökoszisztéma esetén a közhitelességi és a GDPR elvárások teljesülését rendszerszinten kell garantálni és az életbe lépő NIS2 rendelet szerint megvalósítani. További feladat, hogy a jövőben kiberbiztonsági szempontból meg kell vizsgálni a már kialakult forgalomirányító, közlekedésbiztonságot

támogató rendszereket, illetve a járműveken belüli, aktív közlekedésbiztonsági rendszerek esetén a mesterséges intelligencia alkalmazhatóságát.

A legfontosabb, hogy az átalakítás során ne okozzunk összeomlást a meglévő gazdasági struktúrákban. A jelenleg is az energiabiztonságot megteremtő vállalatok és szervezetek felelőssége, hogy a gazdaság és a társadalom számára biztosítsák a folyamatos energiaellátást. Az átmenet finanszírozhatósága nem járhat túl nagy elsüllyedt költségekkel, és törekedni kell az innovációs felárak jelentette veszélyek kivédésére. Lehetőleg őrizzük meg azokat a kompetenciákat, amelyekkel rendelkezünk. Ilyen lehet a több mint százéves dízel technológia. Kerüljük el, hogy természetes kartekek és monopóliumok alakuljanak ki és irreális árakat tudjanak a piacokon érvényesíteni. A biztonságos átmenet megvalósításának költséghatékony módja, hogy a zöldhidrogén alapú technológiák elterjedése ne cél, hanem egy reális eszköz legyen a károsanyag-kibocsátás csökkentéséhez. Ennek érdekében folyamatosan vizsgálni kell a költség-haszon elemzéssel minden projektet. Már most látszik, hogy nem szabad vertikális megoldásokban gondolkodni, hanem olyan pilot projekteket kell elindítani, amelyek horizontálisan lesznek képesek beépülni a helyi ökoszisztémába. A közlekedés energiaellátása során olyan megújuló rendszereket és energiamixet kell kialakítani, amelyek alkalmasak a dinamikusán változó felhasználói igények folyamatos kielégítésére, a szinte kezelhetetlen hektikus árfolyváltások kivédésére és a fogyasztói árak kisimitására. A napjainkban tapasztalható időszakos megújuló energiátüstermelés kezelésére a kézenfekvő megoldásként tekintünk a zöldhidrogén előállításában rejlő potenciális felhasználhatóságra. Azonban el kell kerülni, hogy a fosszilis energiától és az atomenergiától kialakult kietettséget most felváltjuk egy új típusú domináns kiettségre, ezért a megfelelő energiamix kialakítását és az átmeneti helyzet egyidejű kezelését szem előtt kell tartani. A nagy gazdasági, technológiai rendszerek rosszul tolerálják a túl gyors és nagymértékű változásokat, és ezek a változások tova gyű-

rűző drasztikus negatív gazdasági hatásokat válthatnak ki, ezért körültekintően és megfelelő modellekre megalapozottan kell eljárunk az átállások megtervezésével.

*A KTI/SZ/278-3/2023. sz. „Zöldhidrogén előállítás, tárolása és felhasználása, nemzetközi esettanulmányok és mintaprojektek összegyűjtése a közlekedés, a szállítás és az energetika területéről.” c. tanulmány a cikk fontos háttér információit szolgáltatta.*

## FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Attila Lengyel: EU and domestic regulation on the production of renewable hydrogen, constitutional issues related to the domestic regulation – A zöld hidrogén előállításának európai uniós és hazai szabályozása, a hazai szabályozással kapcsolatos alkotmányossági kérdések. *Journal of Agricultural and Environmental Law* ISSN 1788-6171, 2021 Vol. XVI No. 30 pp. 123-154, DOI: <https://doi.org/ms8h>
2. dr. Szilágyi Zsombor: Az energiahordozók jövője - A hidrogén a környezetbarát energiahordozó Magyar Mérnöki Kamara Továbbképzés 2021.
3. Peredy Zoltán, Venczel Márk, Czébely-Lénárt László: Emisszió-csökkentés gyakorlati megvalósítása a légiközlekedésben: Néhány ígéretes zöld megoldás áttekintése *ACTA PERIODICA (EDUTUS)* 26 pp. 60-83., 24 p. (2022)
4. Farkas-Csamangó Erika: Kutatások a (zöld) hidrogén szabályozási környezetében In: Gellén, Klára (szerk.) *Gazdasági tendenciák és jogi kihívások a 21. században*, 3. Szeged, Magyarország : Iurisperitus Kiadó (2022) 240 p. pp. 65-70. , 6 p.
5. Szén István: A hidrogén jelentősége a megújuló energiaforrások integrációjában valamint szerepe a fenntartható energetikában és a „zöld iparban”. In: Temesvári, Zsolt; Wüthl, Tibor; Molnár, György (szerk.) *XXXVIII. Kandó Konferencia 2022 - Kiadvány kötet Budapest, Magyarország : Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar* (2022) 419 p. pp. 69-79. , 11 p.
6. Szabó Lóránt: *HIDROGÉN A JÖVŐ ZÖLD ENERGIÁJA TUDOMÁNYOS MŰSZAKI*

- ÉS MŰVÉSZETI KÖZLEMÉNYEK 2021 pp. 15-25. , 11 p. (2021)
7. Muraközi Gergely: Hidrogén – a megújuló energiaforrásokra alapuló rendszerek Szent Grálja? CyberThreat.Report 2023.
  8. Szabo John: A hidrogén (fel)hajtás, avagy mennyire zöld ez az energia, és mit kezd vele Európa? [https://masfelfok.hu/2020/07/23/hidrogen-zold-energia-europai-unio-klimavaltozas/?fbclid=IwAR1C73sAORDVtIK\\_iZ5h5HWw3AtFbM8\\_pG5u22TudXID7nuZE5Je9KszCfG](https://masfelfok.hu/2020/07/23/hidrogen-zold-energia-europai-unio-klimavaltozas/?fbclid=IwAR1C73sAORDVtIK_iZ5h5HWw3AtFbM8_pG5u22TudXID7nuZE5Je9KszCfG) 2023.04.12.
  9. Deloitte - Hydrogen making it happen, whitepaper 2023.
  10. SIEMENS - Messages from 2030 Sweden: A picture of transformation 2022.
  11. Green Hydrogen - Webinar Series <https://www.youtube.com/@greenhydrogen-webinarserie5832>
  12. World Hydrogen Mobility Pre-Event Webinar - The Future of Low-Emission Transport?
  13. Linde Green Hydrogen Seminar 2021
  14. Hydrogen Online Workshop 2023
  15. Bódi, Antal; Maros, Dóra A közös európai mobilitási adattér és az ITS ökoszisztéma tanúsíthatósága KÖZLEKEDÉS ÉS MOBILITÁS 1 : 1 Paper: 8 , 5 p. (2022)



## A Paradigm Shift in Transport - Green Hydrogen in Transport

*Keywords: green hydrogen production; green hydrogen storage; off-grid solution; energy strategy; energy independence; dual fuel; eFuel*

The aim of this paper is to present the basic idea of the research programme KTI/SZ/278-3/2023 "Production, storage and use of green hydrogen, collection of international case studies and pilot projects in the field of transport, traffic and energy" and to explore the need for a complex development programme based on green hydrogen in order to rethink some issues of the Hungarian energy strategy.



## Der Verkehr steht vor einem Paradigmenwechsel - Der Einsatz von grünem Wasserstoff im Verkehr

*Schlüsselwörter: Erzeugung von grünem Wasserstoff; Speicherung von grünem Wasserstoff; netzunabhängige Lösung; Energiestrategie; Energieunabhängigkeit, Dual Fuel, eFuel*

Ziel dieser Arbeit ist es, die Grundlagen des Forschungsprogramms KTI/SZ/278-3/2023 "Produktion, Speicherung und Nutzung von grünem Wasserstoff, Sammlung internationaler Fallstudien und Pilotprojekte aus den Bereichen Verkehr, Verkehr und Energie" vorzustellen und die Notwendigkeit eines komplexen Entwicklungsprogramms auf der Grundlage von grünem Wasserstoff zu untersuchen, um bestimmte Fragen der ungarischen Energiestrategie neu zu überdenken.

## ELŐZETES HÍRADÁS

Amint arról a Mérnök Újság 2024. februári száma beszámolt és a Közlekedéstudományi Szemle is hírt adott, hogy 2023. december 17-én szülőfalujában, az erdélyi Csombordon szobrot avattak Prof. Dr. Vásárhelyi Boldizsár (1899-1963), a modern magyar útépités megalapozójának, a Közlekedéstudományi Szemle első szerkesztőjének tiszteletére, megemlékezve halálának 60 éves évfordulójáról.

A Veres Márton Vitéz szobrászművész alkotásának felállításához szükséges fedezetet a közúti és vasúti szakterület 26 szervezetének adománya biztosította a Közlekedéstudományi Egyesület gesztorsága mellett. A maradvány és további öt szervezet adománya lehetővé tette, hogy az Egyesület megkeresse a BMGE vezetését, hogy egy hasonmás szobor elhelyezésre kerüljön a „K” épület kertjében lévő professzori szobrok közé. Dr. Rózsa Szabolcs, az Építőmérnöki Kar dékánja előterjesztését a Kari Tanács, majd az Egyetem Szenátusa is egyhangúlag támogatta.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és a Közlekedéstudományi Egyesület Prof. Dr. Vásárhelyi Boldizsár (Csombord, 1899 – Budapest, 1963.) Kossuth-díjas tanszékvezető, egyetemi tanár, a Mérnök Kar egykori dékánja, a műszaki tudományok doktora születésének 125. évfordulóján emlékező konferenciát és szobor avatást szervez 2024. szeptember 10-én, kedden délután. A Konferencia 14 órakor kezdődik a Központi épületben. Utána - az előzetes tervek szerint 16 órakor - következik a szobor avatása a „K” épület déli kijárata előtt.

**Minden érdeklődőt tisztelettel várnak a szervezők!**

# Támogatóink



ÉPÍTÉSI ÉS KÖZLEKEDÉSI  
MINISZTERIUM



**KTI**  
Alapítva - Since 1938

Magyar Közlekedéstudományi  
és Logisztikai Intézet



Petőfi  
Kulturális  
Ügynökség



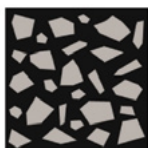
**STADLER**

Stadler Trains Magyarország Kft.

**FÜMTERV**



**VOLANBUSZ**



**EUROASZFALT**  
ÉPÍTŐ ÉS SZOLGÁLTATÓ KFT.

**HungaroControl**

Magyar Légiforgalmi Szolgálat



**KÖZLEKEDÉS**  
TERVEZŐIRODA



**NEMZETI**  
ÚTDÍJFIZETÉSI  
SZOLGÁLTATÓ ZRT.

