



Különböző újrahasznosított aszfalt (RAP) tartalmú, habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeverékek közvetett húzószilárdságának modellezése

Ali Saleh¹, Gáspár László²

¹Széchenyi István Egyetem, Építőmérnöki Kar, Közlekedésépítési és Vizgazdálkodási Tanszék

²Széchenyi István Egyetem, Építőmérnöki Kar, Közlekedésépítési és Vizgazdálkodási Tanszék és a KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.

E-mail: ali.b.saleh.090@gmail.com, gaspar.laszlo@kti.hu

DOI: [10.36246/UL.2024.1.01](https://doi.org/10.36246/UL.2024.1.01)

KIVONAT

A cikk a különböző arányban újrahasznosított aszfaltot (RAP) tartalmazó aszfaltkeverékek közvetett húzószilárdságának vizsgálatára összpontosít, lineáris regressziós és a neurális hálózati modellek alkalmazásával. A Véletlenszerű erdő (Random Forest) és a Neurális hálózat (Neural Network) modell összehasonlítása szemléltette és igazolta a gépi tanulási technikák aszfaltok közvetett húzószilárdságának (ITS-értékeknek) becslésére való megfelelőségét, nedves és száraz körülmények között egyaránt. Ez a kutatási munka hozzájárult ahhoz, hogy az aszfaltkeverékek teljesítményét befolyásoló sokrétű dinamikát egyre jobban meg lehessen érteni, emellett értékes adalékokat nyújtott a pálya-szerkezet-tervezési és -építési gyakorlat különböző környezeti feltételek mellett való optimalizálásához. A munka során kifejlesztett modell sikeresen, tehát magas R^2 -értékkel képes becsülni az ITS (nedves és száraz) érték és az azt befolyásoló tényezők, a habosított bitumen tartalom (FBC) és a RAP közötti kapcsolatot. A további vizsgálat feltárta az ITS metrika nedves és száraz körülmények között eltérő viselkedését.

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

ABSTRACT

The paper concentrates on the modeling of Indirect tensile strength (ITS) of foamed bitumen bound mix asphalt with variable reclaimed asphalt pavement (RAP) content using linear regression analysis and support vector regression (SVR) models. A comparison performed between Random Forest and Neural Network models illustrates and proves the versatility of machine learning techniques in predicting asphalt ITS values both in wet and dry conditions. The research work enhances our understanding of the multifaceted dynamics influencing the performance of asphalt mixtures, offering valuable insights for optimizing pavement design and construction practices in diverse environmental conditions. The model developed successfully captures the relationship between the ITS (wet and dry) metric and its contributing factors, Foamed Bitumen Content (FBC) and RAP, with a high R-squared value. Further examination reveals distinct behaviour of the ITS metric in wet and dry conditions.

Keywords: foamed bitumen, warm mix asphalt, Neural Network, Support Vector Regression (SVR), Machine learning

Ali Saleh

Okl. építőmérnök, diplomáját 2015-ben szerezte a Thisreen Egyetemen (Szíria) 2015-ben, habosított bitumen témában; Latakia kikötőben különböző mérnöki feladatokat hajtott végre; 2020 szeptembere óta a Széchenyi István Egyetemen, Győrben, Stipendium Hungaricum ösztöndíjas, PhD-hallgató, 8 publikáció szerzője.

Gáspár László

Okl. mérnök, okl. gazdasági mérnök, 1971 óta a KTI Nonprofit Kft. alkalmazottja, jelenleg kutató professzor, 1999 óta a Széchenyi István Egyetemen, Győr dolgozik, most professzor emeritus, 473 publikáció szerzője, amelyekre 895 független hivatkozás ismert, 635 szakmai előadást tartott.

1. BEVEZETÉS

Az amerikai burkolt úthálózat 96 százaléka aszfaltburkolatú, bizonyítva az anyag döntő jelentőségét az útépitésben [1]. Az útpályaszerkezet egészének hosszú távú teljesítménye az egyes rétegek kölcsönhatásától is nagy mértékben függ; ebben a tekintetben a tudományos alapokon nyugvó pályaszerkezet-tervezési módszerek alkalmazása kiemelt szerephez jut. Ebben a vonatkozásban feltétlenül említést érdemel 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; ezek mindegyike érdemlegesen hozzá tud járulni a jó minőségű aszfaltkeverékek előállításához [2], [3].

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

A habosított bitumen technológiát elterjedten alkalmazzák alaprétegek stabilizálására. Ennek előnyei közé tartozik az alapréteg szilárdságának növelése, amelynek következtében a rétegvastagság csökkenthető, a vízzárósága fokozódik, valamint a szélsőségesen kedvezőtlen időjárási viszonyokkal szemben is nagyobb lesz 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. Ezen összehangolt eljárás szerint, a forró bitumenbe kis mennyiségű, hideg vizet fecskendeznek, aminek hatására az eredeti térfogatának körülbelül 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, kényes egyensúlyt teremtve a fenntartható útépités ezen területének megtervezésekor.

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 RAP %-os aránya az Egyesült Államokban folyamatosan növekedett – a 2009-es 15,6%-ról 2018-ra 21,1%-ra. Az egyes tagállamok Állami Aszfaltépitési Szövetségei – 77%-os arányban – hangot

adtak azon célkitűzésüknek, hogy az újrahasznosított anyagok hasznosítására irányuló erőfeszítéseiket 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 bevonódottságának hatékonyságát pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) vizsgálták [10], [11]. Az újrahasznosított aszfaltkeverékekben a levegő hégageloszlásának vizsgálatár SEM és a röntgen-számítógépes tomográfia alkalmazásával végezték [12], [13].

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

2. HÁTTÉRINFORMÁCIÓK

2.1. A KÖTŐANYAG HATÁSA

Átfogó vizsgálatsorozatot végzett Abreu et al. [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. Eredményeik azt mutatták, hogy a RAP-tartalom növekedésével lágyabb bitumentípus alkalmazása válik szükségessé, ami a habosítási folyamatot érdemlegesen javítja.

Arefin et al. [16] a habosított bitumennel készült aszfaltkeverékek (FBM) rövid és hosszú távú öregedési hatásait vette vizsgálat alá. Kutatásaik aláhúzták a kötőanyagminőség 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 et al. [17] annak megértésére összpontosított, hogy a bitumen aszfaltén- 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 tekintetében, érdemlegesen hozzájárulva a habosított aszfalttechnológiák fejlesztéséhez.

Bairgi et al. [18] és Hasan et al. [19] tanulmányai megkérdőjelezték azokat a hagyományos állításokat, hogy a habosított kötőanyag rugalmassági modulussal mért rugalmas viselkedése közvetlen összefüggésben van a habosított víz mennyiségével. 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 et al. [20] a 100% RAP-ot és töltőanyagként portlandcementet tartalmazó FBM-mel foglalkozott. Vizsgálatuk 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 és Ramiączek [21] a habosított bitumen és a bitumenemulzió kötőanyagú aszfaltkeverékeket hasonlították össze. Számos laboratóriumi tömörítési módszert és %-os RAP-arányt vettek figyelembe. Az eredmények rávilágítottak arra, hogy ezek a tényezők milyen hatással vannak a vizsgált keverékek tulajdonságaira, hangsúlyozva a RAP-tartalom érdemleges teljesítménybefolyásoló szerepét.

Hou et al. [22] a RAP szemeloszlásának az FBM dinamikus modulusára gyakorolt hatását tanulmányozta alacsony hőmérsékleten (0°C alatt). Kutatásaik azt mutatták, hogy a durvább szemeloszlás alacsony hőmérsékleten az FBM dinamikus modulusát csökkenti. Ez a hatás azonban magasabb hő-mérsékleten nem volt érdemleges.

Guatimosim et al. [23] átfogó vizsgálata a hidegen újrahaznosított, 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 zúzalékszemek 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 et al. [24] 60% RAP-tartalmú FBM minták készítésekor az adalékanyagok hőmérsékletét 160°C-ig emelték. Eredményeik 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.

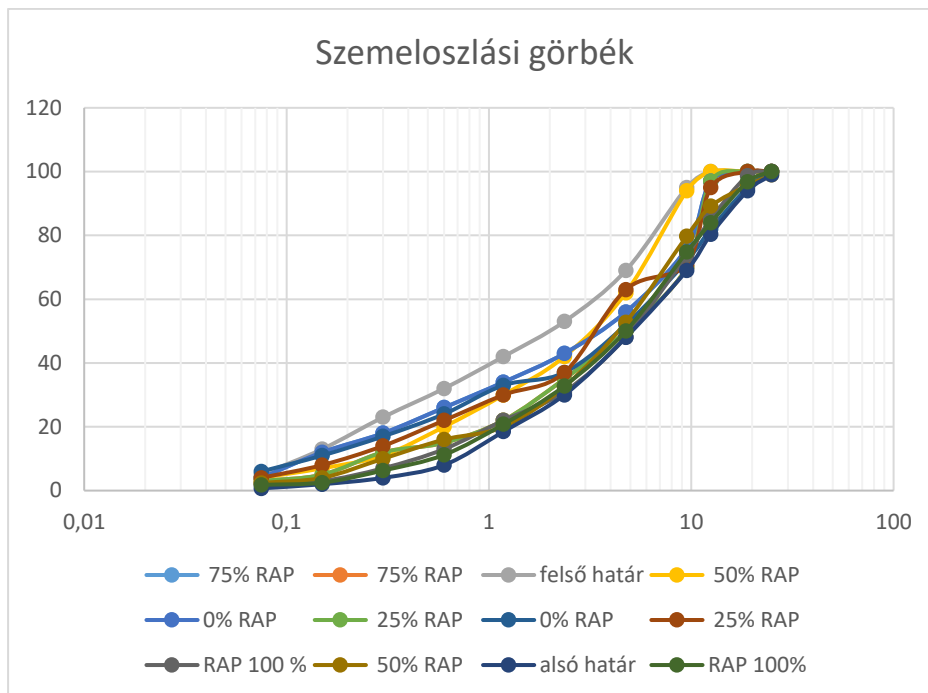
2.4. A HABOSÍTOTT BITUMENTARTALOM HATÁSA

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 újrahaznosított aszfaltburkolat anyagában (RAP) levő öregedett kötőanyag kulcsfontosságú szerepet játszik a lágyabb, meleg keverék kötőanyagának ellensúlyozásában, ezáltal hozzájárulva a RAP-ot és habosított bitument 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 újrahaznosított anyagokat, így, például, RAP-t is használnak [25].

3. AZ ALKALMAZOTT MÓDSZERTAN

3.1. AZ ADALÉKANYAG SZEMELOSZLÁSÁNAK ÉS AZ OPTIMÁLIS NEDVESSÉGTARTALOMNAK A MEGHATÁROZÁSA

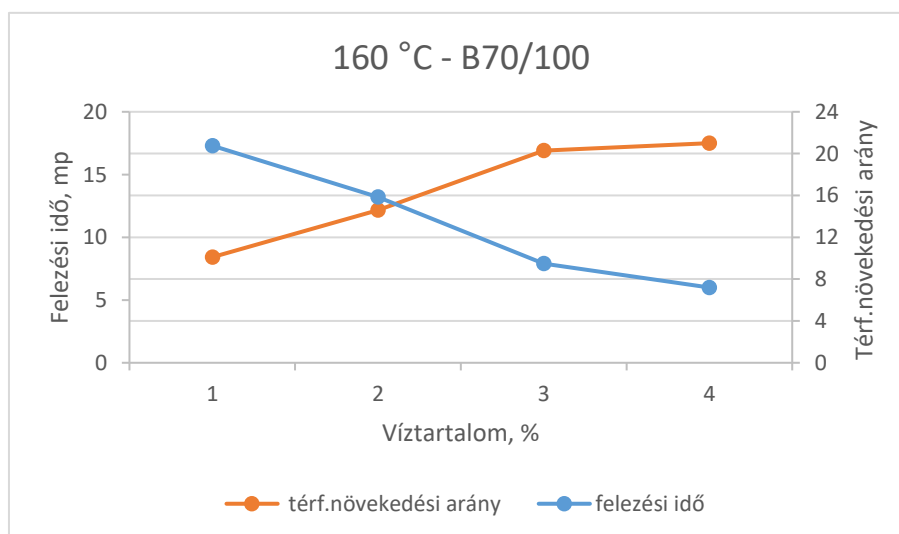
Az ismertető vizsgálatok során 2-2 szemeloszlású változatot készítettek 0-25-50-75-100 %-nyi újrahaznosításra szánt, tört aszfaltburkolat anyagával; mindegyik szemeloszlás kielégítette a megfelelő DIN szabvány követelményeit [26] (1. ábra). Ezen keverékek maximális térfogatsúlya, rendre, a következőknek adódott: 2,474, 2,468, 2,476, 2,471 és 2,464.



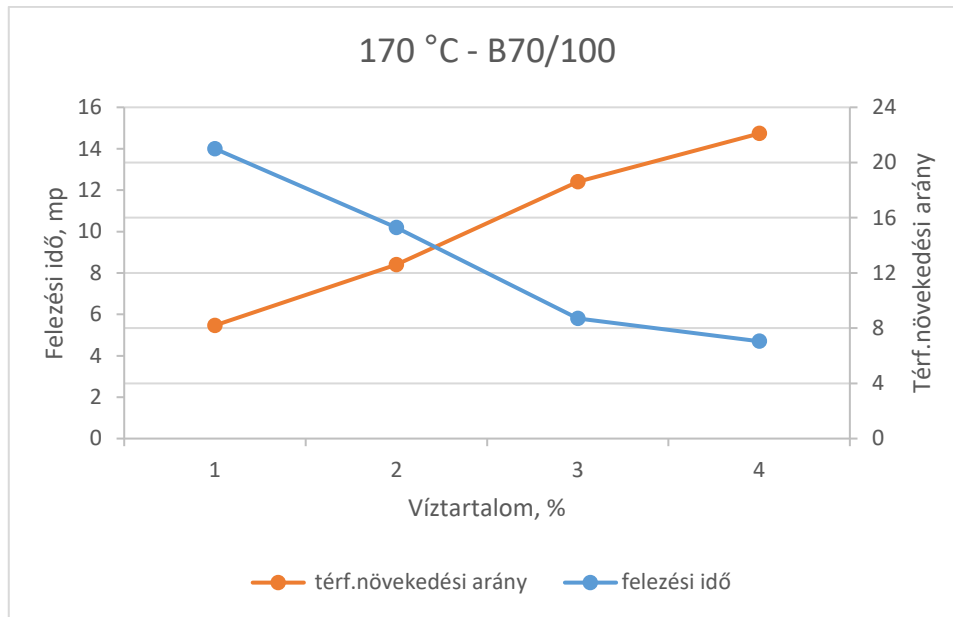
1. ábra: A választott szemeloszlási görbék.

3.2. OPTIMÁLIS NEDVESSÉGTARTALOM MEGHATÁROZÁSA

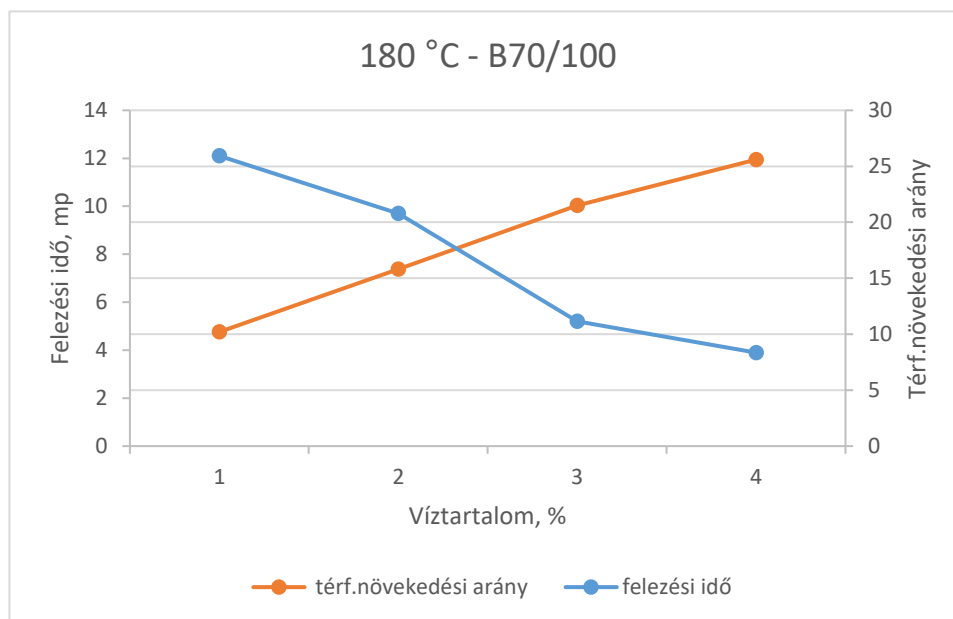
A vizsgálathoz választott 70/100 bitumentípusról megállapítottuk, hogy a megfelelő szabvány [27] előírásait kielégíti, valamint alkalmas az útépitésben adalékanyagok hatékony stabilizálására. A vizsgálathoz felhasznált habosított bitumen optimális tulajdonságai közül kiemelhető a 10,2 mp-es felezési 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 mp-es felezési időt követelnek meg.



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



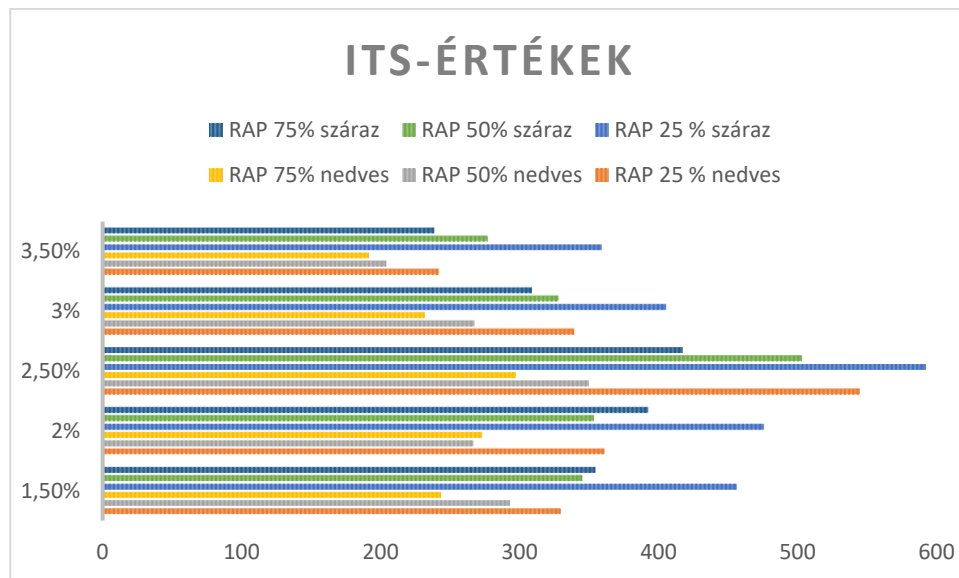
3. ábra: A B70/100-as bitumen felezési ideje és térfogatváltozási aránya 170°C hőmérsékleten.



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

3.3. A HABOSÍTOTT BITUMEN OPTIMALIZÁLÁSA

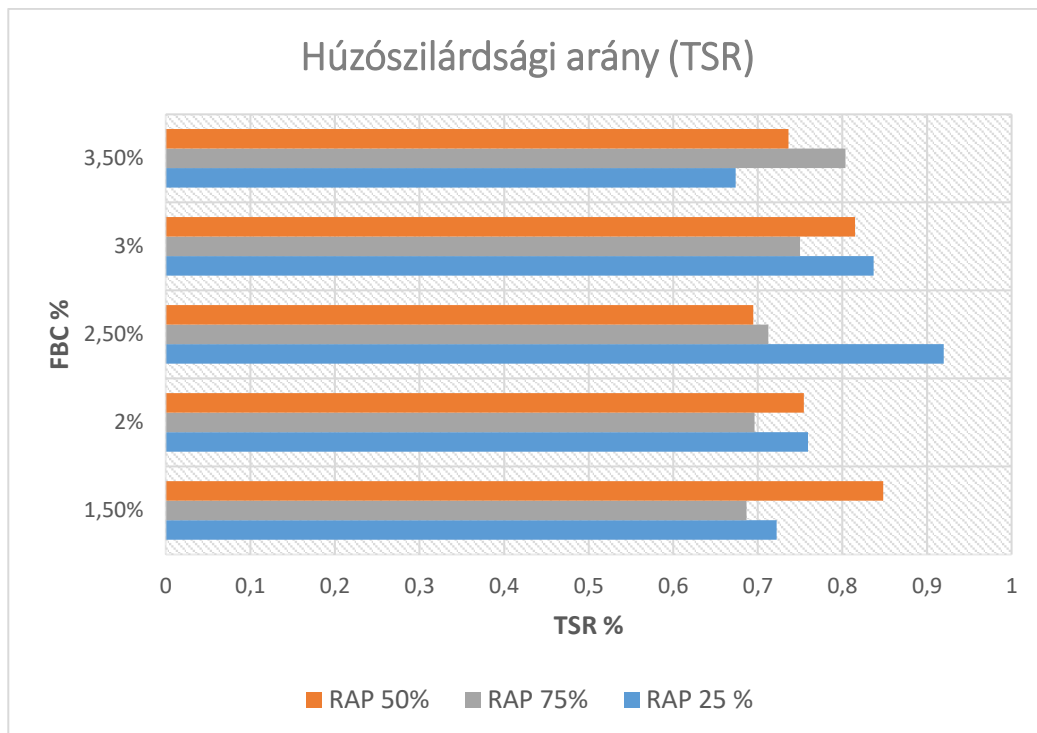
Az 5. ábra szemlélteti mind a habosított bitumen tartalom (FBC), mind pedig a RAP %-os hatását az aszfaltkeverékek szilárdságára, különböző környezeti körülmények között. Az eredmények azt mutatják, hogy ezek a %-os eltérések a közvetett húzószilárdság (ITS) értékében jelentős különbségekhez vezethetnek,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



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

A Közvetett húzószilárdság (ITS) vizsgálatában a Húzószilárdság-arány (TSR) az aszfaltkeverékek termikus repedésállóságának értékeléséhez kritikus paraméternek tekinthető. 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 tartósságának biztosítására [28].

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.



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

4. GÉPI TANULÁSI MODELLEK

4.1. SZUPPORT VEKTOR REGRESSZIÓ (SVR)

Az SVR algoritmuson belül a lineáris függvény mindkét oldalán meghatározott szélességű tartományt (“margót”) hoznak létre. Ezt a tűréshatárként szolgáló szélességet egyedileg határozzák meg. Az ezen a területen kívüli mintákat a teljes veszteség kiszámításához felhasználják. Az SVR lényege a célgörbe megfelelő illesztése a hibák lehető legkisebb mértékre való csökkentése 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 előrejelzésében az SVR regresszió a többváltozós regressziós modelleknél sikeresebbnek bizonyul [30]. Ezenkívül az SVR modellek az aszfaltkeverékek nyomvályú-mélységét és közvetett húzószilárdságát is sikeresen előre becsülték [31] [32]. Lényeges megemlíteni, hogy SVR-modelleket útpályák állapotának előre jelzésére is fejlesztettek ki, ígéretes eredménnyel [24] [33]. Mindezek bizonyítják az SVR sokoldalúságát és hatékonyságát az aszfaltkutatás és az útpályaszerkezetek teljesítményének előre becslése terén

4.2. ADAM OPTIMALIZÁLÓ

Az Adam optimalizáló olyan népszerű optimalizáló algoritmus, amelyet neurális hálózatok tanítására alkalmaznak. Az “Adaptive Moment Estimation” rövidítése, és két optimalizálási algoritmusok technikáit kombinálja. Az Adam optimalizáló ritka gradiensek, “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 tanítására 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 előrejelzéseket aggregálnak [37].

A Random Forest egyedülálló előnye a bagging módszerhez képest, hogy minden döntési fa összeállításakor a felosztáshoz szelektíven ki tudja választani a funkciók egy-egy részhalmazát. 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 hatékonyan 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 előre becslésekhez 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 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 kifejezve nedves és száraz viszonyokra. A betanítást követően, a modelleket a tesztkészleten értékeli, és kiszámítják az átlagos négyzetes hibát, hogy az előre becslt 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 ellenállást 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.

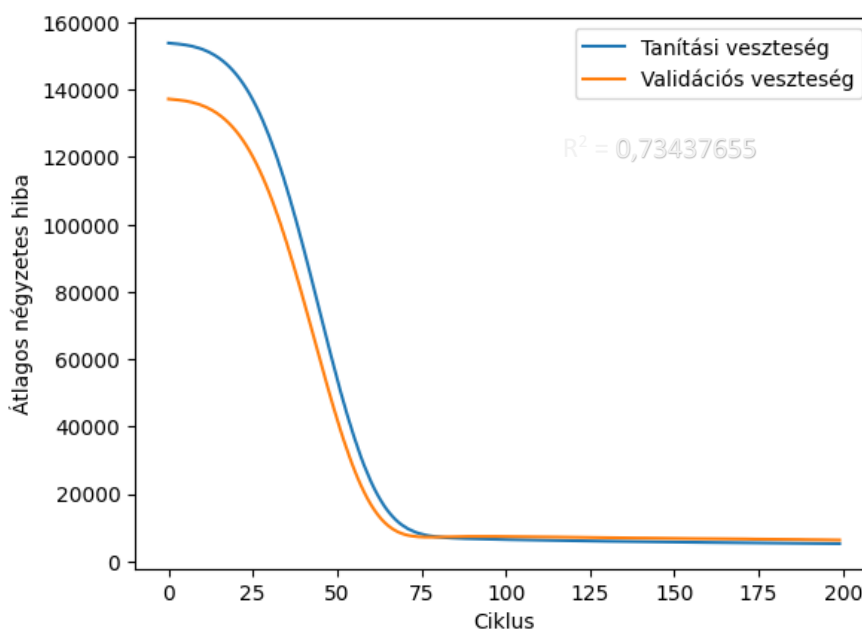
Testreszabás: Az FBC és a RAP egyidejű alkalmazása az aszfaltkeverék-receptúrák test-reszabásához (a megrendelői igények fokozott kielégítéséhez) érdemlegesen hozzájárul, megfelelően a projekt konkrét követelményeinek, figyelembe véve olyan tényezőket, mint az éghajlat, a forgalmi terhelés és az útpálya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

5.2. A GÉPI TANULÁSI (ML) MODELL TELJESÍTMÉNYE

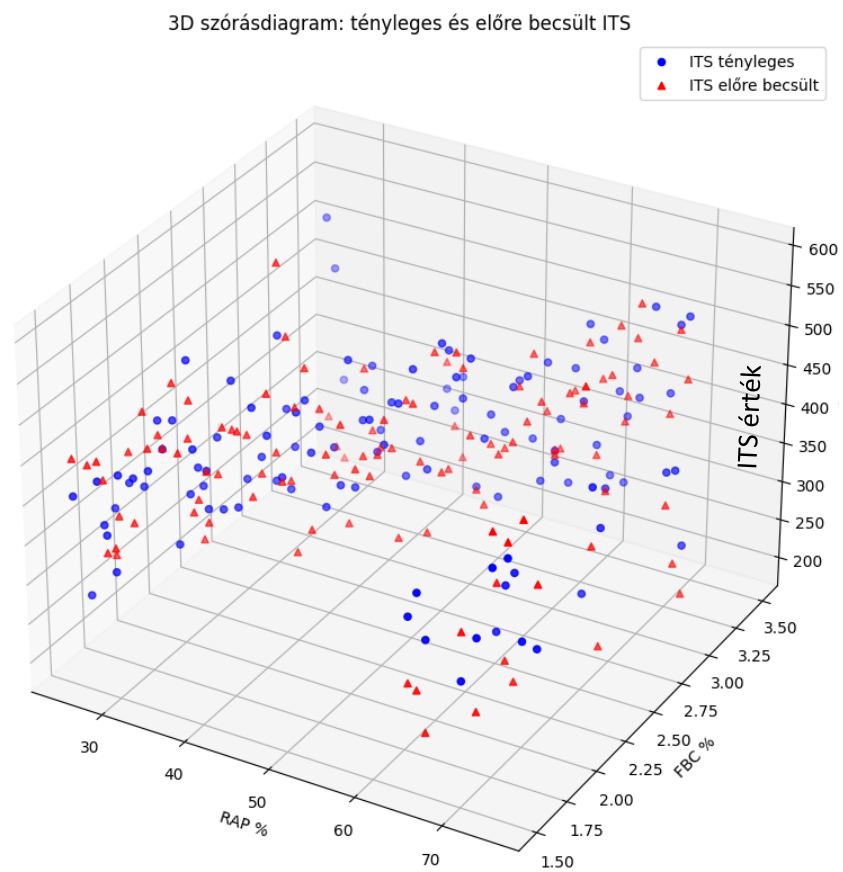
A gépi tanulási regressziós feladat modellje, FBC és RAP bemeneti jellemzőkkel, a közvetett húzószilárdság (ITS) előrejelzésére neurális hálózatot használ. A modell egy betanítási cikluson megy keresztül, amely iteratív módon finomítja magát, hogy új értékek széles skáláját, különböző körülmények között, szimulálni és tanulmányozni tudja. Az adat-előkészítési fázisban, a bemeneti jellemzőket "X" NumPy tömbbe konszolidálják, és az ITS célváltozót y tömbben tárolják. A betanítási hurok (ciklus) magában foglalja az adatok felosztását tanítási 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, és kimeneti réteg 1 neuronnal a regresszióhoz. A modellt Adam optimalizálóval és az átlagos négyzetes hibaveszteség felhasználásával fejlesztették ki. Ezt követően, szabványosított adatokra, 200 ciklusos betanítást hajtanak végre. Ezt követően a tesztadatokra az átlagos négyzetes hibát és az R-négyzetet számítják ki. A betanulási idő-szak jellemzőinek alakulása, beleértve a betanulási veszteség, a validálási veszteség és az R2 diagramjait, a 7. ábrán látható.

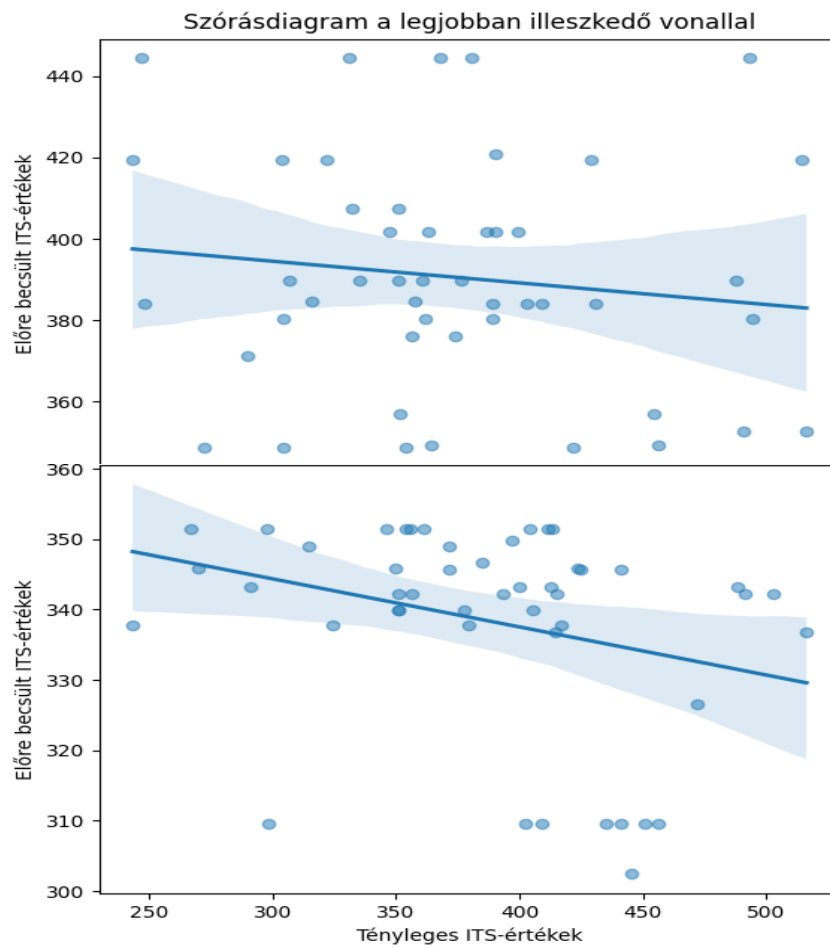
A 8. ábra a betanított modelltől származó 3D szórásdiagramokat jeleníti meg, ábrázolva a tényleges (mért) és az előre becsült ITS értékek közötti kapcsolatot. A diagramok egyértelművé teszik, hogy a modell adatai mennyire illeszkednek a mérési eredményekhez. A 9. ábra pedig a betanítási folyamat során rögzített 2D szórásdiagramokat mutatja be, amelyek lehetővé teszik a modell-előrejelzések időbeli alakulásának és korrekcióinak szemléltetését.



7.ábra: A tanítási és a validálási veszteség időbeli alakulása.

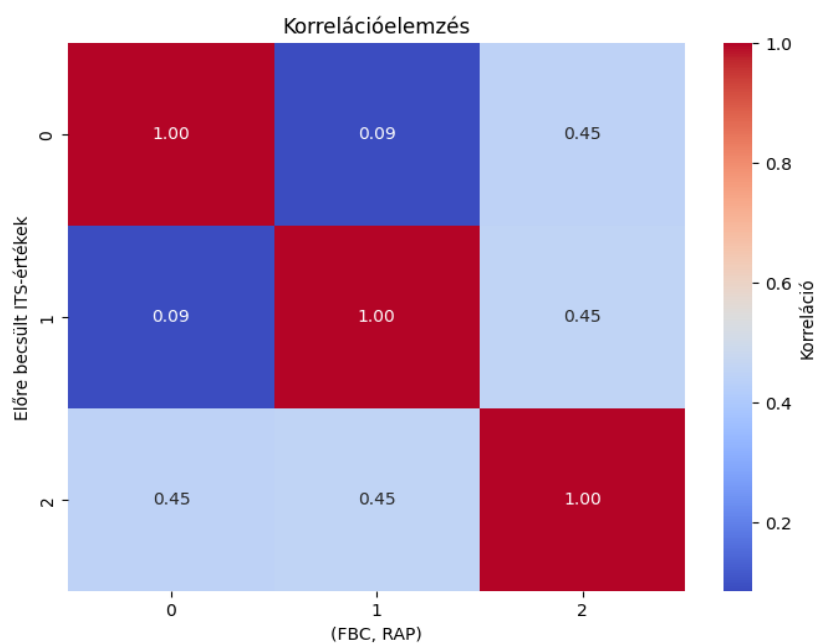


8.ábra: Az ITS 3D-s szórásdiagramja, a RAP (%) és az FBC (%) függvényében.



9. ábra: Két mintának a betanítási időszak alatti, előre becsült és mért ITS-értékek 2D-s szórás-diagramjai, legjobban illeszkedő függvényekkel.

A 10. ábra a korrelációvizsgálat eredményeit összegezi.



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

A model végső alakja a következő:

$$ITS = 0,2939FBC + 13,5723RAP + 387,4862 \quad (1)$$

Ez az egyenlet kifejezi a neurális hálózattól “tanult”, az inputok és az előre becsült ITS közötti összefüggést.

A betanítási folyamat az átlagos négyzetes hiba veszteség függvényét és az Adam optimalizálót is hasznosítja. A betanítási folyamat során alkalmazott, legfontosabb egyenletek a következők:

(1) MSE veszteség függvény:

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

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

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 θ_t paraméterekre vonatkozó célfüggvény, $\nabla_{\theta} * J(\theta_t)$ a célfüggvény gradiense és ϵ 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.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

Összefoglalva, az ebben a tanulmányban elvégzett átfogó elemzés rávilágít a habosított bitumentartalom (FBC), az újrahasznosított 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 ($R^2=0,734$) le tudja képezni, azaz az előre becsült adatok a tényleges mért értékekhez jól illeszkednek.

A modell teljesítményének különböző körülmények között végzett további elemzése azt mutatta, hogy az ITS metrika nedves és száraz körülmények között meglehetősen eltérő viselkedést mutat. 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.

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.

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.

7. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: Roberts, F.L., Mohammad, L.N., & Wang, L.B., 2002. History of Hot Mix Asphalt Mixture Design in the United States. *J of Mat in Civil Eng*, 14 (4), 279-293. <https://doi.org/10.1061/ASCE0899-1561200214:4279>

[2]: T. Baghaee Moghaddam & H. Baaj 2018. Application of compressible packing model for optimization of asphalt concrete mix design, *Constr Build Mater*, vol. 159, pp. 530–539, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.004>

[3]: S. B. Cooper, L. N. Mohammad, S. Kabir, & W. King, 2014. Balanced asphalt mixture design through specification modification: Louisiana's experience, *Trans Res Record*, vol. 2447. National Research Council, pp. 92–100. <https://doi.org/10.3141/2447-10>

[4]: S. S. Kar, A. K. Swamy, D. T. Tiwari, and P. K. Jain, 2018. Impact of low viscosity grade bitumen on foaming characteristics, *J of the South Afr Inst of Civil Eng*, vol. 60, no. 2, pp. 40–52, <https://doi.org/10.17159/2309-8775/2018/v60n2a5>

[5]: L. H. Csanyi, 1957. Foamed asphalt in bituminous paving mixtures, *Highw Res Board Bull*, no. 160.

[6]: G. Wirtgen, 2012. Wirtgen cold recycling technology Wirtgen GmbH Windhagen, Alemanian, 2012.

[7]: B. A. Williams, A. Copeland, & T. C. Ross, 2018. Asphalt pavement industry survey on recycled materials and warm-mix asphalt usage: 2017.

[8]: S. S. Kar, D. Tiwari, A. K. Swamy, & P. K. Jain, 2017. Impact of binder on properties of foamed bituminous mixtures, *Proc of Inst of Civil Eng: Const Mater*, vol. 170, no. 4, pp. 194–204, <https://doi.org/10.1680/jcoma.16.00037>

[9]: M. M. Iwanski, A. Chomicz-Kowalska, & K. Maciejewski, 2020. Resistance to moisture-induced damage of half-warm-mix asphalt concrete with foamed bitumen, *Mat*, vol. 13, no. 3, <https://doi.org/10.3390/ma13030654>

[10]: M. Hoy, S. Horpibulsuk, and A. Arulrajah, 2016. Strength development of Recycled Asphalt Pavement - Fly ash geopolimer as a road construction material, *Constr Build Mater*, vol. 117, pp. 209–219, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.136>

[11]: F. Dong, X. Yu, B. Xu, & T. Wang, 2017. Comparison of high temperature performance and microstructure for foamed WMA and HMA with RAP binder, *Constr Build Mater*, vol. 134, pp. 594–601, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.106>

- [12]: J. Li, W. Fu, & H. Zang, 2018 “Design Method for Proportion of Cement-Foamed Asphalt Cold Recycled Mixture,” MATEC Web of Conf, vol. 142, p. 02002, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814202002>
- [13]: Z. Li, P. Hao, H. Liu, & J. Xu, 2019. Effect of cement on the strength and microcosmic characteristics of cold recycled mixtures using foamed asphalt, *J Clean Prod*, vol. 230, pp. 956–965, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.156>
- [14]: N. Bala, M. Napiyah, & I. Kamaruddin, 2020. Nanosilica composite asphalt mixtures performance-based design and optimisation using response surface methodology, *Int J of Pav Eng*, vol. 21, no. 1, pp. 29–40, <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1435881>
- [15]: L. P. F. Abreu, J. R. M. Oliveira, H. M. R. D. Silva, D. Palha, & P. V. Fonseca, 2017. Suitability of different foamed bitumens for warm mix asphalts with increasing recycling rates, *Constr Build Mater*, vol. 142, pp. 342–353, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.085>
- [16]: M. S. Arefin, T. Quasem, M. Nazzal, A. R. Abbas, & Y. AbuHassan, 2020. Effect of short-term and long-term ageing on dynamic modulus of foamed warm mix asphalt, *Int J of Pav Eng*, vol. 21, no. 4, pp. 524–536, Mar, <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1493202>
- [17]: S. S. Kar, A. K. Swamy, D. Tiwari, & P. K. Jain, 2020. Impact of Chemical Composition on Foaming Characteristics of Asphalt Binder, *J of Trans Eng, Part B: Pav*, vol. 146, no. 3, p. 04020045, <https://doi.org/10.1061/jpeodx.0000196>
- [18]: B. K. Bairgi, U. A. Mannan, & R. A. Tarefder, 2019. Influence of foaming on tribological and rheological characteristics of foamed asphalt, *Constr Build Mater*, vol. 205, pp. 186–195, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.009>
- [19]: M. R. Mohd Hasan, Z. You, H. Yin, L. You, & R. Zhang, 2019. Characterizations of foamed asphalt binders prepared using combinations of physical and chemical foaming agents, *Constr Build Mater*, vol. 204, pp. 94–104, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.156>
- [20]: E. A. Taziani, E. Toraldo, F. Giustozzi, & M. Crispino, 2016. 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, <https://doi.org/10.1155/2016/4894351>
- [21]: A. Chomicz-Kowalska & P. Ramiaczek, 2017. 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*, pp. 560–569. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.066>
- [22]: Y. Hou, Y. Cai, Z. Zang, Z. Qian, & B. Zhao, 2019. Dynamic Characteristics of Warm Mix Foamed Asphalt Mixture in Seasonal Frozen Area, *Adv in Mater Sci and Eng*, vol. 2019, <https://doi.org/10.1155/2019/1825643>
- [23]: F. V. Guatimosim, K. L. Vasconcelos, L. L. B. Bernucci, & K. J. Jenkins, 2018. Laboratory and field evaluation of cold recycling mixture with foamed asphalt, *Road Mater and Pav Des*, vol. 19, no. 2, pp. 385–399, <https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1261726>
- [24]: N. Karballaezadeh, D. Mohammadzadeh S, S. Shamshirband, P. Hajikhodaverdikhan, A. Mosavi, & K. wing Chau, 2019. 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*, vol. 13, no. 1, pp. 188–198, <https://doi.org/10.1080/19942060.2018.1563829>
- [25]: T. Gandhi, W. Rogers, and S. Amirhanian, 2010. Laboratory evaluation of warm mix asphalt ageing characteristics, *Int J of Pav Eng*, vol. 11, no. 2, pp. 133–142, <https://doi.org/10.1080/10298430903033339>
- [26]: ASTM D692-00, 2004. Standard Specification for Coarse Aggregate for Bituminous Paving Mixtures, 2004, 2 p.
- [27]: EN 12591, 2009. Bitumen and bituminous binders— Specifications for paving grade bitumens, 36 p.
- [28]: F. Kamran, M. Basavarajappa, N. Bala, & L. Hashemian, 2021. 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, pp. 764–775.
<https://doi.org/10.1177/03611981211012692>

[29]: V. Vapnik, 1999. The nature of statistical learning theory. Springer science & business media.

[30]: K. Gopalakrishnan, A. M. Asce, & S. Kim, 2010. Support Vector Machines Approach to HMA Stiffness Prediction, *J of Eng Mech* Volume 137, Issue 2 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0000214](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000214)

[31]: M. Maalouf, N. Khoury, & T. B. Trafalis, 2008. Support vector regression to predict asphalt mix performance, *Int J Numer Anal Methods Geomech*, vol. 32, no. 16, pp. 1989–1996, <https://doi.org/10.1002/nag.718>

[32]: Y. Zhao, K. Zhang, Y. Zhang, Y. Luo, & S. Wang, “Prediction of air voids of asphalt layers by intelligent algorithm,” *Constr Build Mater*, vol. 317, p. 125908, 2022.

[33]: M. Nazemi & A. Heidariapanah, 2016. Support vector machine to predict the indirect tensile strength of foamed bitumen-stabilised base course materials, *Road Mater and Pav Des*, vol. 17, no. 3, pp. 768–778, <https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1119712>

[34]: H. Ziari, M. Maghrebi, J. Ayoubinejad, & S. T. Waller, 2016. Prediction of pavement performance: Application of support vector regression with different kernels, *Transp Res Rec*, vol. 2589, pp. 135–145, <https://doi.org/10.3141/2589-15>

[35]: Y. Huang, 2009. Advances in artificial neural networks - Methodological development and application, *Alg*, vol. 2, no. 3. pp. 973–1007, <https://doi.org/10.3390/alg02030973>

[36]: H. Gong, Y. Sun, X. Shu, & B. Huang, 2018. Use of random forests regression for predicting IRI of asphalt pavements, *Constr Build Mater*, vol. 189, pp. 890–897, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.017>

[37]: A. Fathi, M. Mazari, M. Saghafi, A. Hosseini, & S. Kumar, 2019. Parametric Study of Pavement Deterioration Using Machine Learning Algorithms. *Int Airf and Highw Pav Conf*, 12 p.

[38]: D. Daneshvar & A. Behnood, 2022. Estimation of the dynamic modulus of asphalt concretes using random forests algorithm, *Int J of Pav Eng*, vol. 23, no. 2, pp. 250–260, <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1741587>

[39]: H. Gong, Y. Sun, W. Hu, P. A. Polaczyk, & B. Huang, 2019. Investigating impacts of asphalt mixture properties on pavement performance using LTPP data through random forests, *Constr Build Mater*, vol. 204, pp. 203–212, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.198>

[40]: Y. Zhan, J. Q. Li, C. Liu, K. C. P. Wang, D. M. Pittenger & Z. Musharraf, 2021. Effect of aggregate properties on asphalt pavement friction based on random forest analysis, *Constr Build Mater*, vol. 292, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123467>



Hazai bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása hét magyarországi tesztparcellára a REMO klímamodell meteorológiai adatai alapján

Herceg András

¹Soproni Egyetem, Erdőmérnöki kar, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet

E-mail: herceg.andras@uni-sopron.hu

DOI: [10.36246/UL.2024.1.02](https://doi.org/10.36246/UL.2024.1.02)

KIVONAT

Az útpályaszerkezetek üzemeltetésük során a forgalmi terhelésen túl éghajlati hatásoknak is kitéttek. Ennek jelentőségét felismerve az USA-ban a 20. század utolsó évtizedében új bitumenosztályozási rendszert fejlesztettek ki és integráltak az American Strategic Highway Research Program (SHRP) -ba. Az amerikai eredmények alapján, Magyarországon már 1995-ben létesült SHRP kötőanyagszabvány szerinti vizsgálatokra alkalmas laboratórium, és elindult a bitumenek SHRP megfelelési vizsgálata. Az akkortájt innovatív folyamat azonban megszakadt, így hazánkban jelenleg az útbitumenek osztályozása jellemzően a hagyományos vizsgálati eljárások alapján történik.

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

Jelen cikk egy olyan kutatás módszertani eredményeit mutatja be, ahol a kiválasztott 7 magyarországi vizsgálati cella (Budapest, Eger, Debrecen, Szeged, Kaposvár, Veszprém, Szombathely) hőmérsékleti adatait felhasználva a jelenlegi és a jövőre prognosztizált klimatikus viszonyok is figyelembevételre kerültek. A kiválasztott cellák Magyarország 7 tervezési-statisztikai régióját veszik figyelembe úgy, hogy mindegyik régióból 1-1 város került kiválasztásra. A kiválasztott 7 cella alapján kapott eredmények természetesen még nem általánosíthatóak hazánkra, de indokolttá teszik, hogy egy egész országot lefedő, rácspon alapú („sokpontos”) kutatás során szükséges a hazai viselkedési fokozatok újra meghatározása.

Kulcsszavak: Viselkedési fokozat (PG), PG klíma zónák, SHRP program

ABSTRACT

In addition to traffic loads, pavements are also subject to climatic influences during their operation. Recognizing this importance, a new bitumen classification system was developed in the USA in the last decade of the 20th century and was integrated into the American Strategic Highway Research Program (SHRP). On the basis of the American results, a laboratory for testing according to the SHRP binder standard was established in Hungary in 1995 and the testing of bitumen for SHRP compliance was started. However, the then innovative process was stopped, so that at present the classification of road bitumen in Hungary is typically based on conventional testing procedures.

The key parameter of the behavioral binder standard is the recording of the performance grades (PG X-Y), which was done in the 1990s after processing the Hungarian climatic data, but now needs to be updated.

This paper presents the methodological results of a study where the current and projected future climatic conditions were taken into consideration using temperature data from 7 selected Hungarian study cells (Budapest,

Eger, Debrecen, Szeged, Kaposvár, Veszprém, Szombathely). The selected cells cover the 7 planning-statistical regions of Hungary, with 1 city selected from each region. The results obtained from the selected 7 cells are of course not yet applicable to the whole country, but justify the need to redefine the domestic behavioral gradients in a grid point ("multi-point") study covering the entire country.

Keywords: performance grade (PG), PG climate zones, SHRP program

Herceg András

A Soproni Egyetem (SOE) Erdőmérnöki Karán a Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet munkatársa. Fő kutatási területe a vízmérleg-modellezés.

1. BEVEZETŐ

Az aszfaltútburkolatok élettartamát nemcsak a forgalom, hanem a helyi időjárási viszonyok (pl. léghőmérséklet, sugárzás, csapadék) is nagyban befolyásolják, amelyekre emberi beavatkozással nem lehet hatni [1]. Ezért fontos, hogy ezeket figyelembe vegyük az útburkolat tervezésekor. Kifejezetten fontosak a hőmérséklet és a sugárzás hatásai, mivel az aszfaltútburkolatok ellenállása a terhelésnek hőmérsékletfüggő [2] [3]. Magas hőmérsékleten az aszfalt rugalmas-viszkózus, míg alacsony hőmérsékleten rugalmas tulajdonságokat mutat. Nyáron az útburkolatok akár 50-60 °C-ig felmelegedhetnek, ami miatt deformálódhatnak és keréknyomok keletkezhetnek [4]. Télen viszont a hideg útburkolatokra (<0 °C) a térfogatcsökkenés és a napi hőmérsékletingadozás miatt repedések keletkezhetnek. Emellett a pályaszerkezet nedvességtartalmának változása is deformációt okozhat, például amikor gyakoriak a fagyás-olvadás ciklusok [2] [5]. A közepes hőmérsékletű tartományban (5-15 °C) pedig az aszfaltútburkolatok jelentős fáradása várható. A valós környezeti változások és a forgalom által terhelt útburkolatokon a hőmérsékletfüggő károsodási formák összetett módon és egymást befolyásolva jelentkeznek [4].

Az említett káros hatások arra ösztönzik a kutatások fejlesztését, hogy azok az útpályaszerkezet-hibák kialakulását igyekezzenek megelőzni, valamint hosszú távon határozzák meg a valós aszfalt fenntartási feltételeket [2]. Kevésbé hangsúlyozott, de kiemelt fontosságú az alsóbbrendű vagy mezőgazdasági utak, valamint az agroerdészeti rendszerek kiszolgáló útjainál, illetve az erdők feltáróhálózatánál a környezeti jellemzőinek alaposabb vizsgálata. Ezeknél az úthálózatoknál az időjárásnak való kitettség a vékonyabb pályaszerkezet miatt erőteljesebben is érezteti hatását.

A klimatikus hatások aszfaltrétegekre gyakorolt hatása azonban a kötőanyagok viselkedésének tanulmányozásával vizsgálható. Jelen kutatás a magyar klimatikus viszonyoknak megfelelő bitumenfokozatok korabeli meghatározásának korszerűségét hivatott megvizsgálni, és igyekszik ellenőrizni az amerikai eredmények mintegy 30 évvel ezelőtti hazai adaptációjának megbízhatóságát, egyrészt az időközben a szakma rendelkezésére álló pontosabb meteorológiai adatbázis(ok) felhasználásával, másrészt a modellszámításhoz alkalmazott és időközben átdolgozott újabb egyenletek segítségével a kiválasztott 7 mintaterületen.

2. KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSAI

Az éghajlatváltozás fő jellemzője az átlaghőmérséklet globális emelkedése (globális felmelegedés) és az ebből következő, a hidrológiai ciklusra gyakorolt hatások. [6], [7].

Az előrejelzett felmelegedés valamennyi európai területen várhatóan 2 °C-kal lesz magasabb, mint a globális [7], [8].

Az olyan szélsőséges események, mint az aszályok feltételezhetően gyakrabban fordulnak majd elő [6], (Kjellström et al. 2011). A csapadék eloszlásának változásai gyakran eredményeznek megnövekedett csapadékmennyiséget az egyes események során, azonban nem befolyásolják az éves csapadékmennyiséget.

Ilona és munkatársai (2022) [9] átfogó elemzést végeztek, statisztikai tesztek és trendelemzést alkalmazva a hőmérséklet és a csapadék idősorain, hogy összehasonlítsák az 1871-1918 és az 1971-2020 közötti időszakokat. Az eredmények figyelemre méltó hőmérsékleti különbséget mutatnak, az 1971-2020-as időszak 0,77 °C-kal volt melegebb, mint az 1871-1918-as időszak. A felmelegedés az utóbbi 40 évben tehát nagyon intenzív [10]. A maximális hőmérséklet minden évszakban jelentős emelkedő tendenciát mutatott, melyek közül a legjelentősebb felmelegedés a téli időszakban volt megfigyelhető (1,29 °C). A felmelegedés következtében kevesebb a fagyos nap (a napi minimumhőmérséklet 0 °C alatt marad), mint a 20. század elején: 1901 és 2020 között országos átlagban 19 nappal kevesebb. Az utóbbi évtizedekben gyakrabban fordulnak elő hóhullámok (napi átlaghőmérséklet ≥ 25 °C). Mindazonáltal az 1980-as évektől kezdve az aszályok egyre gyakrabban fordulnak elő a vegetációs időszakban [11].

A csapadékviszonyok tendenciái sokkal tisztázatlanabbak. Magyarországon az elmúlt 120 évet vizsgálva az értékelési csapadékmintázatokban jelentős elmozdulás figyelhető meg. Míg az egész időszak alatt általános csökkenés figyelhető meg, az elmúlt 50 évre összpontosítva ellentétes tendencia rajzolódik ki. Ráadásul az elmúlt két évtizedben a csapadék szélsőértékei is észrevehetően növekedtek [10], [12]). Hazánkban emellett a csapadék eloszlása rendszertelen, ezért a heves csapadékesemények és a súlyos aszályok előfordulása egyaránt valószínű [13].

3. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS HATÁSAI A PÁLYASZERKEZETRE

A klímaváltozás egyik sajátossága, hogy a megváltozott környezeti feltételek hatással vannak az éghajlatváltozást előidéző gazdasági és társadalmi tevékenységekre. Az infrastruktúra hosszú távú időállósága kulcsfontosságú, és fontos, hogy a jelenleg tervezett úthálózatok pályaszerkezetei mennyire lesznek majd képesek alkalmazkodni a változó klímaviszonyokhoz, amely alapvetően az egyes tervezési paraméterek (például egyenletek állandói, zónahatárok, zónákra jellemző faktorok) előrejelzésekben prognosztizált jövőbeli változásokra való kielevezettségén fog múlni. Mindazt a 2. fejezetben bemutattuk, a klímaváltozási forgatókönyvek a szélsőséges időjárási események gyakoriságának növekedését vetítik előre (például hóhullámok, kései fagyok, vagy a hosszú aszályos időszakok nyáron) [2].

Az éghajlatváltozás hatásainak tekintetében az utak állapotában a hőmérséklettel kapcsolatos hatások a legmarkánsabban észlelhetők. Ezen hőmérsékleti hatásokat elemezve pár fontosabb példát ki kell emelni [2]:

- Az egyre forróbb nyári hónapok fokozottan károsíthatják az aszfaltburkolatot. A gyakoribb hőségnapok és hőségperiódusok jelentősen hozzájárulnak az útburkolat nyomvályúsodásához, különösen akkor, ha a napi átlaghőmérséklet három napon át meghaladja a 26 °C-ot. Fontos figyelmet fordítani a nyári melegedés tendenciájára, mivel az aszfaltkeverékek merevségi modulusai, különösen a plasztikus deformációra való hajlam, kedvezőtlen irányban változnak a hőmérséklet emelkedésével.
- A fagypont körüli hőmérséklet és a gyakrabban változó halmazállapotú csapadék is problémákat okoz az útburkolatokban. A fagy miatt aszfaltrepedések jönnek létre, és az így beszivárgó víz a kátyúsodást fokozza.
- A gyakoribb fagyás-olvadás ciklusok a kritikus időszakokban a földmű fokozottabb elnedvesedését, ezáltal teherbírás csökkenését eredményezhetik [14].
- A városokban az aszfaltozott utak, a kevesebb zöld felület, az egyre gyakoribb nagy üvegfelületekkel rendelkező épületek és a használt légkondicionálók további hőmérséklet-emelkedést eredményeznek, amely tovább súlyosbíthatja a városokban tapasztalható nyomvályúsodást. [15].
- A fokozódó aszály vitalitás-csökkenést eredményez az útburkolatokat szegélyező növényállományok esetén, csökkentve azok szélsőségmérséklő szerepét, fokozva ezzel a kedvezőtlen hatások még erőteljesebben érvényesülését.

A klímaváltozás tehát a megváltozó környezeti jellemzők miatt a pályaszerkezetek tervezési paramétereinek, esetleg magának a tervezési elveknek a módosítását indukálja [16].

4. SHRP BITUMENKUTATÁSI PROGRAM

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

Az aszfaltburkolat sötét felszínének hőt megőrző tulajdonsága miatt (amit a kisebb albedó okoz) azonban legtöbbször magasabb hőmérsékletet mutat, mint a környező levegő [16]. Míg az aszfalthőmérséklet mérések csak korlátozottan állnak rendelkezésre, a léghőmérsékletmérések országos lefedettséget biztosítanak és alkalmazhatóak az aszfalthőmérséklet becslésére. A léghőmérséklet általában szezonálisan, havi gyakorisággal használható az aszfaltburkolatok hőmérsékletének becslésére. Az aktuális aszfalthőmérséklet nemcsak a levegő hőmérsékletétől, hanem az előző időszak (órák, napok) időjárásától is függ. Ennek következtében nehéz pontos összefüggést meghatározni nagy időbeli felbontásban.

Az SHRP bitumenkutatói program keretében, az 1990-es években egy új, az aszfalt-keverékek teljesítmény-tesztjén alapuló bitumenosztályozási rendszert fejlesztettek ki, amelyet mára a legtöbb USA államban, Kanadában és megannyi országban is [18] [19], így Európán belül is bevezettek [19], [20], [21].

A „Performance Grade” (PG), vagyis viselkedési fokozat elnevezésű, új megközelítésű bitumenosztályozási rendszer kifejlesztésének az alapcélja az utak minőségének és tartósságának fejlesztése volt. Konceptiója, hogy a pályaszerkezetekben levő bitumenkeverékekre vonatkozó tesztípusokat és követelményeket az aktuális, valamint helyi éghajlati és időjárási körülményekhez igazítsák [23] [24]. A kutatás eredménye a Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) keverék-tervezési módszer. A bitumenekre vonatkozó előírások létrehozása, az aszfaltok tervezési hőmérsékletének, adott éghajlati zónában való meghatározásával történik, ahol a bitumeneknek specifikus teljesítmény-követelményeknek kell megfelelnie [19] [25].

5. ANYAG ÉS MÓDSZER

5.1. VISELKEDÉSI FOKOZAT (PERFORMANCE GRADE) KIALAKÍTÁSA BITUMENEK ESETÉN

A bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása és majd osztályozási alapja, az útpályaszerkezetek napi minimum és a maximum hőmérsékletének meghatározásán nyugszik (PG X-Y).

Az aszfalt maximum tervezési hőmérséklete, egy adott éven belül hét, egymást követő legmelegebb nap átlaghőmérsékletéből kerül meghatározásra. (PG X). Az aszfalt minimum tervezési hőmérséklete, az egy adott évben mért legalacsonyabb napi minimumhőmérséklettel számolható. (PG Y) [19].

A Superpave előírása szerint egy vizsgálati periódus: 20-30 év lehet. A minimum és maximum aszfalthőmérsékleteket évenként kell meghatározni [19].

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

1. táblázat: Viselkedési fokozat osztályozása [1].

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

Az 1. táblázat értelmezéséhez példaként nézzünk egy PG X-Y: 70-34-ot. Ez esetben egy adott bitumen útpályaszerkezet rétegbe elhelyezett aszfalt kötőréteg rendeltetésszerűen -34 °C-tól, +70 °C-ig alkalmazható, a megadott valószínűségi kategóriában.

5.2. A MAXIMUM ÉS A MINIMUM PG HŐMÉRSÉKLETEK MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZERE

A módszer valószínűségi szintjei a következők lehetnek: 50%, 85%, 95%, 98%. Egy 50% -os valószínűség azt jelenti, hogy egy adott maximális vagy minimális léghőmérséklet minden második évben fordulhat elő. A 98% -os valószínűség pedig azt jelenti, hogy a maximális vagy a minimális léghőmérséklet ötven évente fordulhat elő [19].

A léghőmérsékletekből számolt útpályaszerkezet hőmérsékletek, a pályaszerkezet hőáramának és hőenergia-megmaradásának elméleti modelljén alapulnak. A modell-validáció a levegő és az útpályaszerkezetek hőmérsékletek terepi mérésével történt és erős korrelációt mutatott [26] [27].

A minimális hőmérsékletet a pályaszerkezet felületére, a maximális hőmérsékletet pedig annak felülete alatti 20 mm-es mélységre kell meghatározni [19].

Az egy adott aszfaltréteghez kötött maximum PG hőmérséklet meghatározásra, a következő egyenlettel lehetséges, [23] [27]:

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

Ahol:

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

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

ϕ : A meteorológiai állomás szélességi foka [°]

d: a réteg tervezési mélysége [mm]

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

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

Egy adott aszfaltrétegben a minimum PG hőmérséklet került meghatározásra pedig az alábbi összefüggés használatos [23] [27]:

$$T_{min}^d = -1,56 + 0,72 \cdot T_{air} - 0,004 \cdot \phi^2 + 6,26 \cdot \log_{10}(d + 25) + z(4,4 + 0,52 \cdot \sigma_{air}^2)^{0,5} \quad (2)$$

Ahol:

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

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

ϕ : A meteorológiai állomás szélességi foka [°]

d: A réteg tervezési mélysége [mm]

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

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

5.3. KUTATÁSI TERÜLET ÉS ADATBÁZIS

A napi maximális és minimális hőmérséklet értékek, mint napi felbontású bemeneti adatok 7 magyar város, mint kutatási területekre eső pixel felhasználásával kerültek letöltésre.

A 7 kiválasztott cella figyelembe veszi Magyarország 7 tervezési-statisztikai régióit úgy, hogy mindegyik régióból 1-1 város került kiválasztásra ((Budapest, Eger, Debrecen, Szeged, Kaposvár, Veszprém, Szombathely). Vizsgálati időszakként „jelennek” a 1990-2020 (1990.01.01. – 2019.12.31.)

közötti 30 éves időszakot jelöltük ki. Az előrejelzéshez a REMO regionális klímamodellt használtuk fel, amelynek alapadatait az 2. táblázat mutatja. Az előrejelzés időszakai pedig 2020-2050 (2020.01.01 – 2049.12.31.) valamint 2050-2080 (2050.01.01 – 2079.12.31.).

5.3.1. FORESEE

A léghőmérsékletekhez felhasznált adatbázis a „FORESEE” (Open Data-base FOR ClimatE Change-Related Impact Studies in CEntral Europe), ami egy napi léptékű rácsponti adatbázis, meteorológiai adatokkal (minimális és maximális léghőmérséklet, valamint csapadék).

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

A múltra (1951-2019) interpolált megfigyelési (mért) adatok állnak rendelkezésre. Az előrejelzés adatai pedig 2020-2100 között, 10 korrigált regionális klímamodellre (ENSEMBLES FP6 projekt [29] érhetőek el, A1B üvegházgáz kibocsátási scenáriót felhasználva [30].

2. táblázat: Az alkalmazott RCM-ek [31].

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

6. EREDMÉNYEK

A kutatás eredményeit a 3. és 4. táblázat összegzi a vizsgálati időszakokra.

A táblázatokban és az ábrákon szereplő maximum, valamint minimum pályaszerkezet-hőmérsékletek meghatározása tehát, „A maximum és a minimum PG hőmérsékletek meghatározásának módszere” alfejezetben közölt képletek segítségével történt. Fontos megjegyezni, hogy a képletek felhasználása során valószínűségi szintnek, a P=98%-ot vettünk, amiből z=2,05 következik.

3. táblázat: Az 1990-2020-as vizsgálati időszak, mért adatokra alapozott eredményei. A hét egymást követő legmagasabb napi maximumhőmérsékletek; A maximum pályaszerkezet-mélységek "d" mélységben; A napi minimum léghőmérsékletekből számolt átlag; A minimum pályaszerkezet-hőmérséklet "d" mélységben.

Budapest				
	A hét egymást követő legmagasabb napi max. átlaga [°C]*	Max. pályaszerkezet-hőm. „d” mélységben [°C]	Napi min. lég-hőm.-ből számolt átlag [°C]	Min. pályaszerkezet-hőm. „d” mélységben [°C]
1990-2020	33,79 (1,98)	56,96 (1,54)	-11,95 (3,02)	-16,62 (2,17)
2020-2050	33,13 (1,91)	56,40 (1,49)	-11,88 (4,16)	-17,89 (3,00)
2050-2080	34,95 (2,39)	58,19 (1,86)	-9,55 (5,33)	-17,67 (3,83)
Eger				
1990-2020	32,14 (2,05)	55,61 (1,60)	-14,72 (2,75)	-18,51 (1,98)
2020-2050	32,22 (2,06)	55,69 (1,61)	-12,83 (3,99)	-18,53 (2,87)
2050-2080	34,13 (2,60)	57,63 (2,03)	-10,63 (3,73)	-16,65 (2,69)

Debrecen				
1990-2020	32,36 (1,85)	55,72 (1,45)	-15,33 (2,94)	-19,01 (2,12)
2020-2050	32,51 (2,20)	56,11 (1,72)	-12,11 (3,41)	-17,21 (2,45)
2050-2080	34,17 (2,31)	57,48 (1,80)	-9,64 (2,39)	-14,37 (1,72)
Szeged				
1990-2020	34,29 (1,89)	57,56 (1,47)	-15,19 (3,92)	-19,53 (2,82)
2020-2050	34,44 (2,27)	57,97 (1,77)	-12,95 (3,05)	-16,93 (2,20)
2050-2080	35,97 (2,01)	58,96 (1,57)	-10,54 (3,62)	-15,83 (2,61)
Kaposvár				
1990-2020	32,76 (1,96)	56,39 (1,53)	-12,72 (2,93)	-16,68 (2,11)
2020-2050	32,61 (1,87)	56,21 (1,46)	-12,73 (3,99)	-17,90 (2,88)
2050-2080	34,39 (2,36)	57,97 (1,84)	-10,13 (4,35)	-16,45 (3,13)
Veszprém				
1990-2020	32,18 (2,09)	55,87 (1,63)	-13,51 (3,24)	-17,86 (2,33)
2020-2050	31,55 (1,82)	55,18 (1,42)	-13,55 (4,07)	-18,85 (2,93)
2050-2080	33,50 (2,45)	57,19 (1,91)	-10,49 (4,29)	-16,91 (3,09)
Szombathely				
1990-2020	32,19 (2,11)	55,85 (1,64)	-14,15 (2,99)	-18,10 (2,15)
2020-2050	31,12 (1,69)	54,68 (1,31)	-14,33 (5,16)	-20,89 (3,72)
2050-2080	33,01 (2,32)	56,66 (1,81)	-10,13 (4,83)	-17,38 (3,48)

*: Egy év 365 napján mért napi maximum hőmérséklet értékek közül a hét, egymást követő legmagasabb érték átlaga.

4. táblázat: A tesztcellák bitumen PG besorolása a három vizsgálati periódus szerint.

	Budapest	Eger	Debrecen	Szeged	Kaposvár	Veszprém	Szombathely
1990-2020	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22
2020-2050	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22
2050-2080	PG 64-22	PG 58-22	PG 58-16	PG 64-16	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22

Az 1. táblázatban közölt kategóriák alapján [32], az 1990-2020, és 2020-2050 időszak eredményei mind a 7 tesztcella esetén a PG 58-22-os kategóriába sorolhatóak, azaz valamely útpályaszerkezeti rétegbe épített, adott bitumenes kötőanyagú aszfaltkeverék rendeltetésszerűen -22 °C-tól, +58 °C-ig alkalmazható, az alkalmazott 98%-os valószínűségi szint mellett. Az első két vizsgálati időszakban kapott eredmények hasonlóságának az oka, hogy a hőmérsékletadatokban alapvetően stagnálás tapasztalható a 21. század közepéig [33].

A harmadik vizsgálati időszakban (2050-2080) azonban a besorolás Budapest esetén PG 64-22, Debrecen esetén PG 58-16, míg Szeged esetén PG 64-16.

Magyarország vonatkozásában a PG besoroláshoz szükséges alapszámításokat a kilencvenes években elsősorban dr. Tóth Sándor és Perlaki Róbert nyomán végezték el. Elsődleges számításaik szerint az akkori magyar éghajlati viszonyoknak döntő mértékben (86,7%) a PG 58-28, és 13,7%-ban a PG 58-22

besorolás felelt meg. Megjegyezzük, hogy az ekkor járatos B-65, illetve B-80 típusú bitumenek a PG 58-28 követelményszinteket nem elégtették ki [34].

A minimális burkolathőmérséklet összefüggést később módosították, emiatt a számításokat újra elvégezve, a hazánkban alkalmazandó viselkedési fokozatnak már a PG 58-22 típust ajánlották. A kapott eredmény egyezést mutatott a hasonló szélességi fokon fekvő észak-amerikai államok esetén választott besorolásokkal.

Jelen kutatás eredményeit összehasonlítva a korábbi, „Hazai bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása egy soproni tesztparcella meteorológiai adatai alapján” c. cikk [35] eredményeivel ott az 1990-2020, és 2020-2050 időszak esetén a PG 52-16-os kategóriába sorolható be a tesztparcella, míg a harmadik vizsgálati időszakban (2050-2080) a PG 52-10-es kategóriába esik, ami ott az enyhülő téli minimumhőmérsékletre engedett következtetni. Megjegyzendő, hogy az eredményekben való eltérést elsősorban a számításokhoz választott megbízhatósági szint indukálja, mivel a [35] cikk az 50 %-os, míg a jelenlegi pedig 98 %-os valószínűségi szintet alkalmazza.

7. KONKLÚZIÓ

A pályaszerkezet-méretezést célzó modellek „csak” a vélelmezett forgalmi terhelésre adnak választ, hiszen a tervezési élettartamra vetített jövőbeli forgalomlefolys csak jelentős bizonytalansággal becsülhető, így a végeredmény is fenntartásokkal kezelendő [35]. Az aszfaltútburkolatok élettartamát azonban nemcsak a forgalom, hanem a helyi időjárási viszonyok (elsősorban léghőmérséklet) is nagyban befolyásolják. A hagyományos módszerek nem tudják figyelembe venni az aszfaltburkolat szerkezetére gyakorolt hőmérsékleti hatások komplexitását a részletes hőmérsékleti profil hiányában. Cho et al. 2020, 2022 [36] [37] az alsóbb aszfaltrétegek hőmérsékletét a német irányelvek alapján becsülték, az aszfaltréteg-hőmérséklet közvetlen vizsgálat nélküli.

Jelen kutatás a „Hazai bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása egy soproni tesztparcella meteorológiai adatai alapján” c. cikk [38], mint első módszertan eredményeket bemutató kutatás folytatásaként íródott. A FORESEE adatbázisból lekérdezett klímaadatok felhasználásával, a Superpave módszerrel számolt aszfalthőmérsékletek révén a bitumen alapú kötőanyagok a kiválasztott 7 mintaterület éghajlati viszonyait figyelembe véve töltik be rendeltetésüket. Lényeges azonban, hogy jelen cikk egy országos léptékű viselkedésbesorolást megcélzó kutatás második lépése, így a közölt eredmények ennek tükrében kezelendők.

A kapott eredmények részben térnek el a témában közel 30 éve publikált első hazai eredményektől [24]. A tervezéshez használt maximális burkolathőmérséklet fokozata mindkét esetben az 58-as fokozatba esik (bár a 2050-2080-as periódusban a Budapest és Szeged tesztcellák a 64-es kategóriába voltak sorolhatóak). Az hasonlóság elsősorban a számításokhoz választott megegyező megbízhatósági szint (98%) okozza. Megjegyzendő azonban, hogy a valószínűségi szint rögzítése a mindenkori útügyi adminisztráció kockázatvállalásának függvénye.

A minimális burkolathőmérséklet értékei részben mutatnak egyezést.

A kapott 22-es fokozat (és Budapest és Szeged esetén 16-os a 2050-2080-as vizsgálati időszakban) csökkenést jelent a 30 évvel ezelőtti, 86,7%-ban 28-as értékekhez képest, bár a maradék 13,7%-ban viszont egyezést mutat [35]. Az eltérést feltételezhetően a klimatikus változások is magyarázzák, hiszen a klímaelőrejelzések az enyhülő téli hőmérsékletek irányába mutatnak [5] [16] [22].

Az ország teljes területén végzett kutatás és a kilencvenes évekbeli eredmények újraértékelése indokolt, mivel az eredeti módszer fejlesztésre került, és szükség van a tervezési forgalom és az átlagsebesség értékeinek figyelembevételére a PG alapértékeinek korrigálásához. Ezeknek a paramétereknek a figyelembevétele eddig még nem történt hazánkban, bár a tervezési forgalom hatása jelentős lehet, például az autópályák esetében a javasolt bitumen fokozat kiválasztására.

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú projekt keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium) Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

8. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: Leonovich, I. & Melnikova, I. 2011: Pogodno-klimaticheskie usloviia i ikh uchet pri vybore tekhnologii i organizacii dorozhnykh rabot, Trudy BGTU 2: 52–57. (in Russian)

[2]: Leonovich, I., & Melnikova, I. 2012: Influence of Temperature on the Formation of Damages in Asphalt Concrete Pavements under Climatic Conditions of the Republic of Belarus, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 7(1): 42–47. <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2012.06>

[3]: Pethő, L. 2008: A hőmérséklet eloszlás alakulása az aszfalt burkolatú pályaszerkezetekben és ennek hatása a pályaszerkezeti rétegek méretezésére, technológiai tervezésére. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

[4]: Bonchenko, A. 1994: Asfaltobeton: Sdvigoustoichivost i tekhnologiya modifitsirovaniia polimerom. Moskva: Mashinostroenie. 176 p. (in Russian)

[5]: Nunn, M. E. 1989: An Investigation of Reflection Cracking in Composite Pavements in the United Kingdom, in Proc. of the 1st International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, Assessment and Control. March, 1989, University of Liege, Belgium. 143–153.

[6]: IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

[7]: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

[8]: Jánosi, I. M., Bíró, T., Lakatos, B. O., Gallas, J. A. C. & Szöllösi-Nagy, A: 2023 Changing Water Cycle under a Warming Climate: Tendencies in the Carpathian Basin. *Climate*, 11, 118. <https://doi.org/10.3390/cli11060118>

[9]: Ilona, J., Bartók, B., Dumitrescu, A., Cheval, S., Gandhi, A., Tordai, Á.V. & Weidinger, T. 2022: Using Long-Term Historical Meteorological Data for Climate Change Analysis in the Carpathian Region. *Atmosphere*, 13, 1751. <https://doi.org/10.3390/atmos13111751>

[10]: Lakatos, M., Bihari, Z., Izsák, B., Marton, A. & Szentes, O. 2021: Megfigyelt éghajlat változások Magyarországon, *Légekör*, 66. évfolyam, 3. szám, ISSN 0 133-3666

[11]: Mátyás, C., Berki, I., Bidló, A., Csóka, G., Czimber, K., Führer, E., Gálos, B., Gribovszki, Z., Illés, G., Hirka, A. & Somogyi, Z. Sustainability of Forest Cover under Climate Change on the Temperate-Continental Xeric Limits. *Forests* 2018, 9, 489. <https://doi.org/10.3390/f9080489>

[12]: H. Q. Tran, Fehér, Zs. Z., Túri, N. & Rakonczai J. 2022: Climate change as an environmental threat on the central plains of the Carpathian Basin based on regional water balances, *Geographica Pannonica*, Volume 26, Issue 3, 184–199, ISSN 1820-7138, <https://doi.org/10.5937/gp26-37271>

[13]: Gálos, B., Führer, E., Czimber, K., Gulyás, K., Bidló, A., Hänsler, A., Jacob, D., Mátyás, CS. (2015): Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County, *IDŐJÁRÁS*, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service Vol. 119, No. 4, October – December, 2015, pp. 425–441

[14]: Gáspár, L. 2007: A klímaváltozás és az útburkolatok. Közúti és mélyépítési szemle. 2007 március, 3. szám: 1-6.

- [15]: Pongrácz, R., Bartholy, J. & Miklós, E. 2011: Analysis of projected climate change for Hungary using ENSEMBLES simulations. *Applied Ecology and Environmental Research*, 9(4), 387-398, https://doi.org/10.15666/aecer/0904_387398
- [16]: Gribovszki, Z., Kalicz, P., Herceg, A. & Primusz, P. 2020: A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre, *Útügyi Lapok*, <https://doi.org/10.36246/UL.2020.1.01>
- [17]: Boromissza, T. 1997: Méretezési Praktikum, Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezési gyakorlata, Közúti közlekedési füzetek 16, *Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium*, Budapest, p. 82.
- [18]: Mukunde, R. & Ghassan, C. 2020: Determination of Temperature Zoning for the Great Lakes Region of Africa based on Superpave System. 495-501. <https://doi.org/10.29117/cic.2020.0062>
- [19]: Pszczoła, M., Ryś, D. & Jaskula, P. 2017: Analysis of climatic zones in Poland with regard to asphalt performance grading. *Roads and Bridges*. 16. 245 - 269. <https://doi.org/10.7409/rabdim.017.016>
- [20]: Radziszewski, P., Sarnowski, M., Król, J., Pokorski, P., Jaskula, P., Ryś, D. & Pszczoła, M. 2019: Low-Temperature Requirements for Bitumen in Central East European Road Construction. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 14. 249-270. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.442>
- [21]: Bartholy, J., Bozó L. & Haszpra L. (szerk.) 2011: Klímaváltozás – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke, Budapest, p. 281.
- [22]: Tóth, S., Görgényi, Á., Karoliny, M. & Pcuhard, Z. 1997: A SHRP SUPERPAVE szerepe Észak-Amerikában és Európában. *Közúti és Mélyépítési Szemle*, 1999/7-8.
- [23]: Tóth, S. 2001: Hazai útépitési bitumenek minősége (1996-2000). kutatási jelentés, ÁKMI Kht
- [24]: Tóth, S. 1999: The Quality of the Bitumens Produced in Hungary According to the SHRP Specifications. Paper No 067
- [25]: Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing, 1995: Asphalt Institute, Superpave Series No. 1 (SP-1)
- [26]: Solaimanian, M. & Bolzan, P. 1993: Analysis of the Integrated Model of Climatic Effects on Pavements. Report No. SHRP-A-637, Strategic Highway Research Program. National Research Council. Washington, D.C.
- [27]: Solaimanian, M. 1994: Development of SHRP Asphalt Research Program Climatic Databases. Report SHRP-A-685, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.
- [28]: The Asphalt Binder Handbook, 2011. Asphalt Institute, Manual Series No. 26 (MS-26),
- [29]: van der Linden, P. & Mitchell, J.F.B. (Eds.) 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK.
- [30]: Dobor, L., Barcza, Z., Hlásny, T., Havasi, Á. 2013: Creation of the FORESEE database to support climate change related impact studies. International Scientific Conference for PhD Students.
- [31]: Jacob, D., Barring, L., Christensen, O.B., Christensen, J. H., Castro, M., Deue, M., Giorgi, F., Hagemann, S., Hirschi, M., Jones, R., Kjellström, E., Lenderink, G., Rockel, B., Sanchez, E., Schar, C., Seneviratne, S.I., Somot, S., Van Ulden, A. & Van Den Hurk, B. 2007: An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Clim Change*, 81:31-52, https://doi.org/10.1007/s_10584-006-9213-4
- [32]: AASHTOM320-10: Standard Specification for Performance- Graded Asphalt Binder. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010
- [33]: Herceg, A. 2017: A növényzet vízkörforgalomra gyakorolt hatása a klímaváltozás tükrében, PhD értekezés, Soproni Egyetem, pp. 70
- [34]: Nunn, M. E. 1989: An Investigation of Reflection Cracking in Composite Pavements in the United Kingdom, in Proc. of the 1st International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, Assessment and Control., University of Liege, Belgium. 143–153.
- [35]: Primusz, P. & Tóth, Cs. 2020. Az egyedi pályaszerkezet-méretezésben rejlő gyakorlati előnyök. 27. 13–19.

[36]: S. Cho, Pethő, L., Tóth, Cs. & Lakatos, É. 2020. Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése hőmérséklet profil alapján, 2020, <https://doi.org/10.36246/UL.2020.2.07>

[37]: S. Cho, Tóth, Cs. & Pethő, L. 2022. Predicting asphalt pavement temperatures as an input for a mechanistic pavement design in Central-European climate, Eleventh International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, Volume 1 – Hoff, Mork & Saba (eds), ISBN 978-1-032-12044-7

[38]: Herceg, A., Tóth, Cs., Primusz, P., Kalicz, P. & Gribovszki, Z. 2022: Hazai bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása egy soproni tesztparcella meteorológiai adatai alapján. *Közlekedéstudományi szemle*, 72 (1). pp. 32-47. ISSN 0023-4362



A közúti hidak dinamikus tényezőjének csökkentési lehetőségei túlsúlyos civil járművek és nehéz katonai szállítások esetén

Hajós Bence

Első Lánchíd Bt.

E-mail: elsolanchid@elsolanchid.hu

DOI: [10.36246/UL.2024.1.03](https://doi.org/10.36246/UL.2024.1.03)

KIVONAT

A hídtervezési előírások nem adnak meg külön dinamikus tényezőt különleges túlsúlyos járművek számításához. Egyetlen hídtervezési szabályzat sem foglalkozik lánctalpas járművekkel. A túlsúlyos járművek és a lánctalpas járművek hidakat terhelő többlet dinamikus hatása lényegesen eltér a normál forgalom okozta dinamikus hatástól, ezért érdemes ezek részletes vizsgálata. A tanulmány felvázolja a figyelembe vehető eltéréseket, és javaslatot ad további kutatásokra és a dinamikus tényező csökkentésére túlsúlyos szállítások és lánctalpas járművek számításához.

Kulcsszavak: híd, dinamikus tényező, túlsúlyos jármű, nehéz katonai szállítás, hídszabályzat

ABSTRACT

Bridge design standards do not specify a specific dynamic factor for calculating special overweight vehicles. No bridge design code addresses tracked vehicles. The additional dynamic impact of overweight vehicles and tracked vehicles on bridges is significantly different from the dynamic impact of normal traffic and therefore deserves detailed consideration. The study outlines the differences that can be taken into account and suggests further research and a reduction of the dynamic factor for the calculation of overweight and tracked vehicles.

Keywords: bridge, dynamic factor, overload transport, heavy equipment transport, design code

Hajós Bence

Okleveles építőmérnök, okleveles mérnöktanár. Hídszakértő, hídtervező. Korábban az állami közútkezelő hidász mérnöke volt. Elsődleges szakterülete a hídvizsgálat, hidak teherbírás vizsgálata.

1. ELŐJÁRÓBAN

A hatályos magyar hídtervezési Útügyi Műszaki Előírás (e-UT 07.01.12:2011) a hasznos járműterheknél dinamikus többlet figyelembevételét írja elő, hasonlóan korábbi korok hídszabályzataihoz és számos más ország gyakorlatához.

Az első magyarországi hídszabályzatban is, ami 1910-ben jogszabályként jelent meg, szerepelt már dinamikus tényező, amivel a járműterheket kellett felszorozni, de igen egyszerűen, a támaszköztől

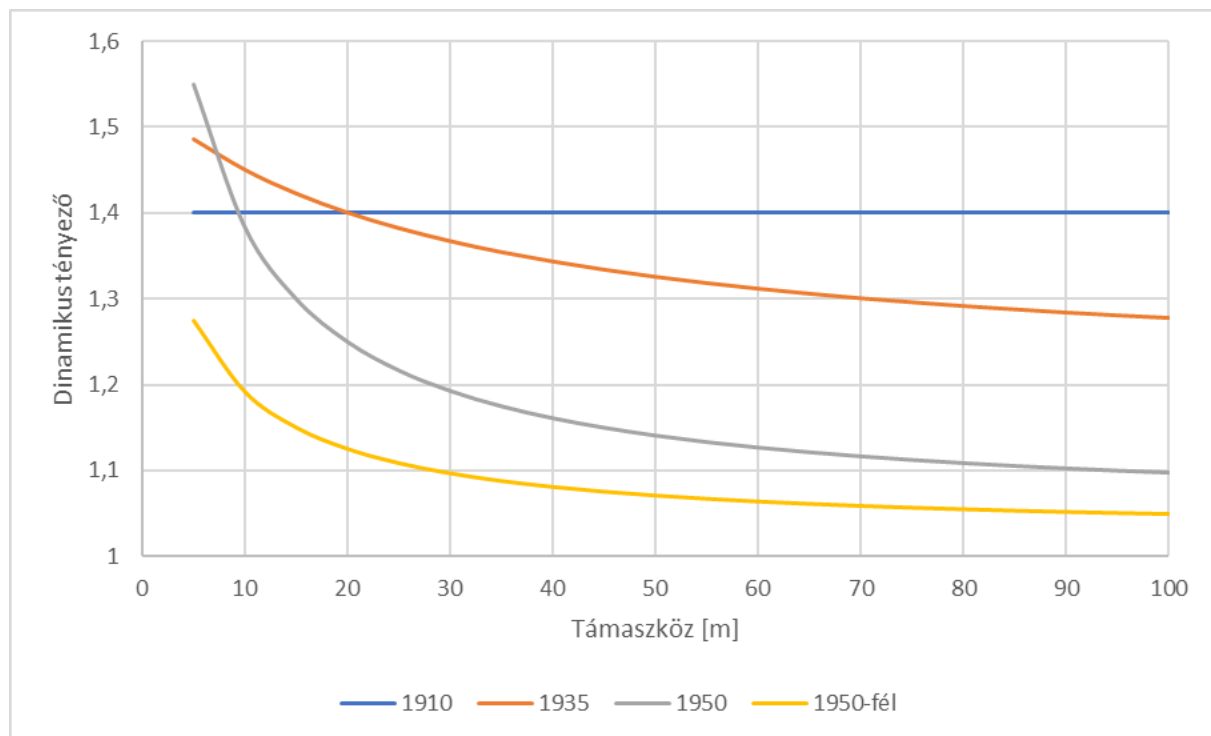
függetlenül ennek nagyságát az előírás vas- és acélszerkezet esetében $\mu = 1,4$ tényezővel, vasbeton szerkezet esetében pedig $\mu = 1,3$ tényezővel rögzítette.

1935-ben jelent meg a második magyar közúti hídszabályzat „ideiglenes” jelzővel. Ekkor vezették be a támaszköztől függő dinamikus tényezőt.

$$\mu = 1,20 + \frac{10}{30+l} \tag{1}$$

A következő, sorrendben harmadik közúti hídszabályzat, szintén „ideiglenes” jelzővel már a II. világháború után, 1950-ben jelent meg. Ebben csökkentették a dinamikus tényező értékét (1. ábra). Az akkor megállapított tényező a mai napig változatlanul érvényes.

$$\mu = 1,05 + \frac{5}{5+l} \tag{2}$$



1. ábra: Közúti hidak dinamikus tényezői az eddigi magyar előírásokban.

Röviden bemutatok néhány további hídszabályzat szerinti előírást a dinamikus többlet figyelembe vételére, majd megvizsgálom, a szabályzat szerinti értékek használhatósági korlátait a különleges, túlsúlyos járművek vonatkozásában, mind civil, mind katonai esetet is elemezve.

2. DINAMIKUS TÉNYEZŐ MÁS ELŐÍRÁSOKBAN

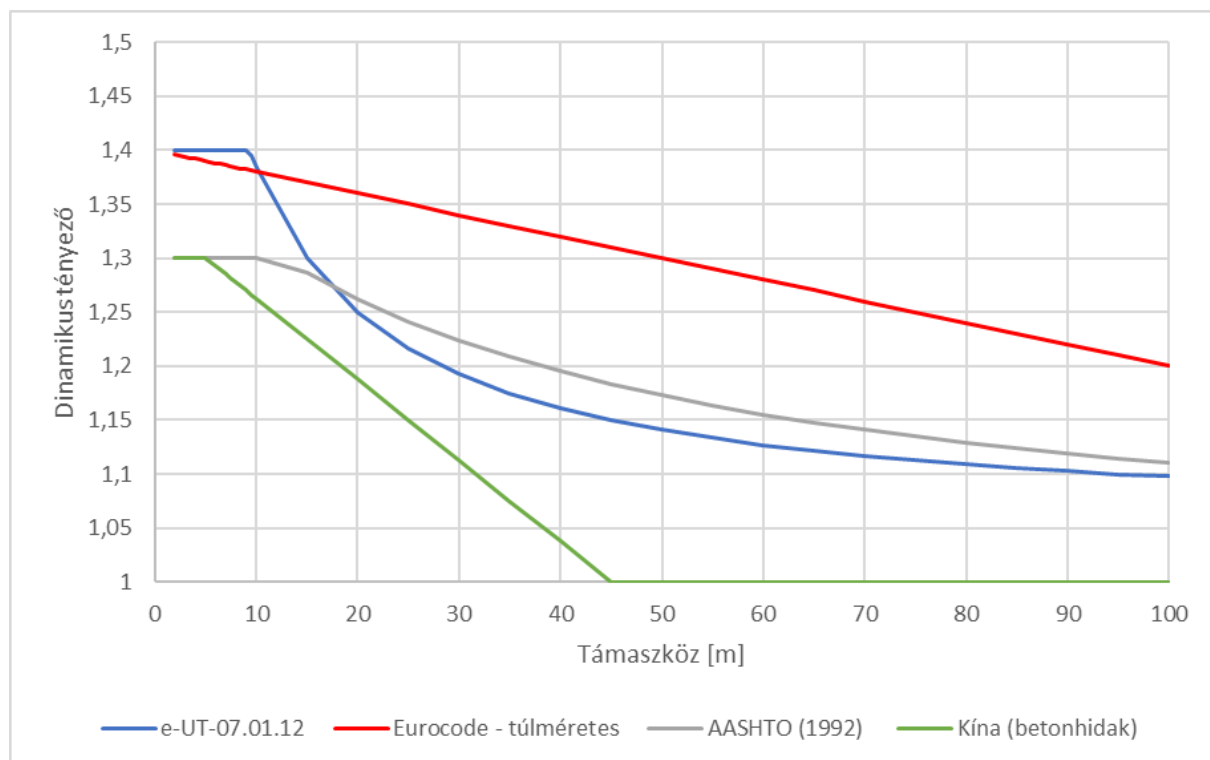
A hatályos magyar Útügyi Műszaki Előírással jelenleg párhuzamosan érvényes és használható az Eurocode (MSZ EN 1990:2011) is a közúti hidak méretezéséhez. Napjainkban megjelenés előtt van a közúti hidak erőtani számítását tartalmazó új Útügyi Műszaki Előírás, ami több szempontból is paradigmaváltásként lényegében átveszi a hatályos Eurocode szerinti méretezési módszertant, attól csak néhány, tárgyi vizsgálatunk szempontjából nem releváns ponton eltérve (Bartus et al 2023; Hajós 2023).

Az Eurocode, és így a megjelenés előtt álló Útügyi Műszaki Előírás tervezet szövege sem tartalmaz alapesetben dinamikus tényezőt. Természetesen dinamikus hatás változatlanul terheli a hidakat, azonban az Eurocode szerinti ideális járműterhek intenzitását (sávonként alkalmazandó ikertengelyeket és ezekkel egyidejű megoszló terheléseket) úgy határozták meg, hogy azok már tartalmazzák a dinamikus többletet, ezért külön dinamikus tényezővel való növelés már nem szükséges.

Az Eurocode ezzel kétség kívül lényegesen egyszerűsíti a dinamikus hatás felvételét, mégpedig a támaszköztől, szerkezeti rendszertől, főtartó alapanyagtól függetlenül. Ennek következménye, hogy a hatályos szabályozáshoz képest, mikor nagyobb támaszközhöz kisebb dinamikus többlet tartozik, a globális biztonság a nagyobb támaszközök esetében elvileg kicsit magasabb lesz, mint kicsiny támaszközök esetén.

Az Eurocode-ban különleges tehereset a túlsúlyos járművek számítása. Mivel a túlsúlyos jármű alapértéke (mérlegelés, vagy rakodási terv alapján) nem tartalmaz dinamikus hatást, az Eurocode a túlsúlyos járművekhez ad csak meg dinamikus tényezőt, ami a támaszköz függvényében 1,4 és 1,2 között változik (2. ábra).

Példának a 2. ábrában megadtuk az Egyesült Államok előírását is: a dinamikus tényező hasonló a magyar előíráshoz, a legnagyobb értéke 1,4 helyett 1,3, viszont nagyobb nyílásoknál pedig 1-3%-kal nagyobb értéket ad meg.



2. ábra: Közúti hidak dinamikus tényezői egyes előírásokban.

Vannak országok, ahol külön előírás érvényes az acél és a vasbeton hidakra. Erre példa a kínai hídtervezési előírás. Kínában az acélhidak dinamikus tényezője lényegében azonos az amerikaival, de a vasbeton hidak dinamikus tényezője (2. ábra) sokkal kisebb, 45 m fölött pedig nem kell a dinamikus hatást figyelembe venni.

Kanadában a dinamikus tényezőt a híd sajátfrekvenciájának függvényében kell meghatározni 1,2 és 1,4 között.

3. A DINAMIKUS HATÁS VIZSGÁLATA

A mozgó közúti jármű és a híd kölcsönhatása a statikus terheléshez képest többlet terhelést okoz, ezt mint láttuk, jellemzően önálló dinamikus tényezővel vagy a járműteher felvett alapértékének növelésével vesszük számításba. A dinamikus hatást a valóságban természetesen sok tényező befolyásolja, a híd és a jármű együttes dinamikus modellezése sokparaméteres rendszerekkel közelíthető. A hídszerkezetet terhelő dinamikus hatás függ a jármű rugózásától, csillapításától,

kerekeinek számától, a jármű sebességétől, a jármű tömegétől, a jármű hosszától és szélességétől, a jármű aktuális műszaki állapotától, a híd támaszközétől, a híd sajátfrekvenciájától, a híd csillapításától, a híd önsúlyától, a kocsipálya hibáitól – s e sort még lehetne folytatni.

A hídtervezési előírásokban a dinamikus hatást hasonlóan minden más számított hatáshoz, egyszerűsítik. Mint bemutattam, számos tervezési előírásban a dinamikus tényező egyszerűen a támaszköz függvénye, nagyobb támaszközhez kisebb dinamikus tényező tartozik. A dinamikus hatást befolyásoló többi tényezőt az előírások nem veszik figyelembe.

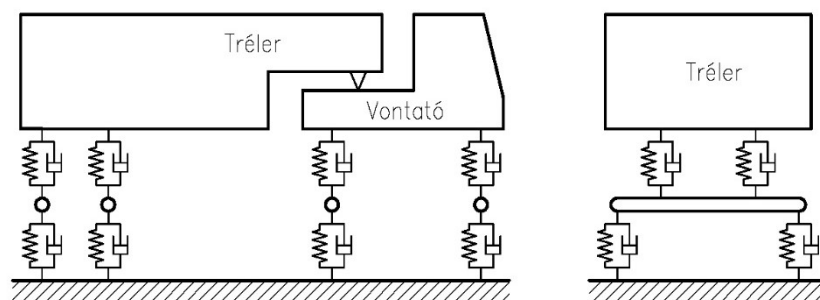
Minél nagyobb a hasznos jármű tömege, számszerűsítve annál nagyobb a dinamikus többlet hatás értéke, ezért érdemes megvizsgálni azt, hogy a normál járművek esetében figyelmen kívül hagyott paraméterek közül van-e olyan, ami a különleges, túlsúlyos járművek vizsgálatakor felértékelődik.

A dinamikus hatás pontos számítása igen összetett modellezést eredményezne, továbbá ilyen elemzés során már csak korlátozottan alkalmazható Hook törvénye, a jármű és a híd is nem lineárisan rugalmasan viselkedik, részben viszkóelasztikus modellezést kellene használni.

A dinamikus hatást befolyásoló egyik legjelentősebb paraméter a jármű „rugózása”. A híd ellenőrzését civil forgalomban nem végezhetjük el különféle járműtípusokra (például más legyen a híd teherbírása mezőgazdasági traktorra és más nyergesvontatóra), viszont civil különleges túlsúlyos járművek és katonai terhelés esetén lehetséges ilyen szempontú differenciálás is.

A járműrugózás hatására egy egyszerű példa a mezőgazdasági traktor (például MTZ-80, önsúly 3600 kg). Egyetlen könnyű mezőgazdasági traktor képes belengetni egy 100 m nyílású acélhidat. Ennek oka, hogy az amúgy könnyű, kéttengelyes MTZ-80 rugózása adott esetben hatékonyan gerjeszti a vizsgált acélhidat.

Megfigyelhetjük a jármű felfüggesztésének típusából eredő különbségeket is. A hagyományos teherautóknak légrugózása van, s az abroncs is érdemi csillapított rugózásra képest (3. ábra).

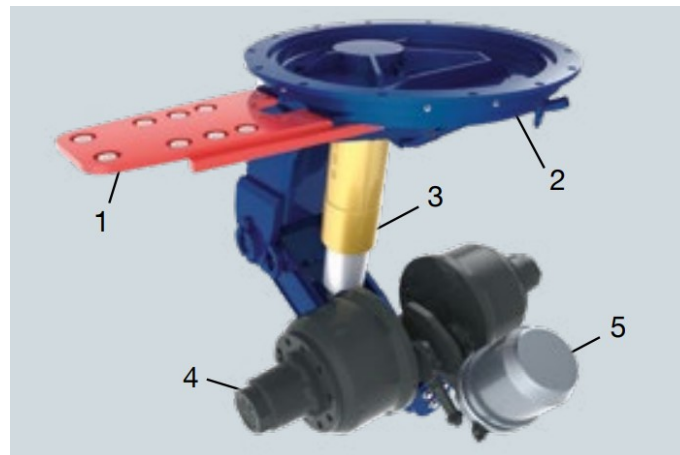


3. ábra: Hagyományos jármű felfüggesztés több-test-rendszerű dinamikai modellezése (szerző rajza).

A 3. ábrán lévő dinamikai modellben látható oldalnézetben és keresztmetszetben az egyes tengelyeket a jármű alvázához kapcsoló csillapított rugók, valamint a tengelyeken lévő kerekek, mint önálló csillapított rugók.

Ha egy közúti járműnek a normál teherautókhöz képest (40 tonna) lényegesen nagyobb a tömege (100 tonna felett), akkor annak jellemzően több tengelye is van, melyek egy közös merev alvázhoz kapcsolódnak. Ez már önmagában kedvezőbb, azaz kisebb dinamikus többletet eredményez, mivel a több független csillapított rugózás óhatatlanul részben egymást is csillapítja azáltal, hogy a közös merev felépítményt alátámasztó több tengely megtámasztottsága közvetett módon kölcsönösen egymásra kihat.

A dinamikus hatás szempontjából további jelentős előnyökkel jár a túlsúlyos szállításhoz kifejlesztett, soktengelyes járműveknek különleges, olajhidraulikus felfüggesztési rendszere. A civil és a katonai nehéz közúti szállítójárművek ma már többségében olajhidraulikus felfüggesztésűek (4. ábra).

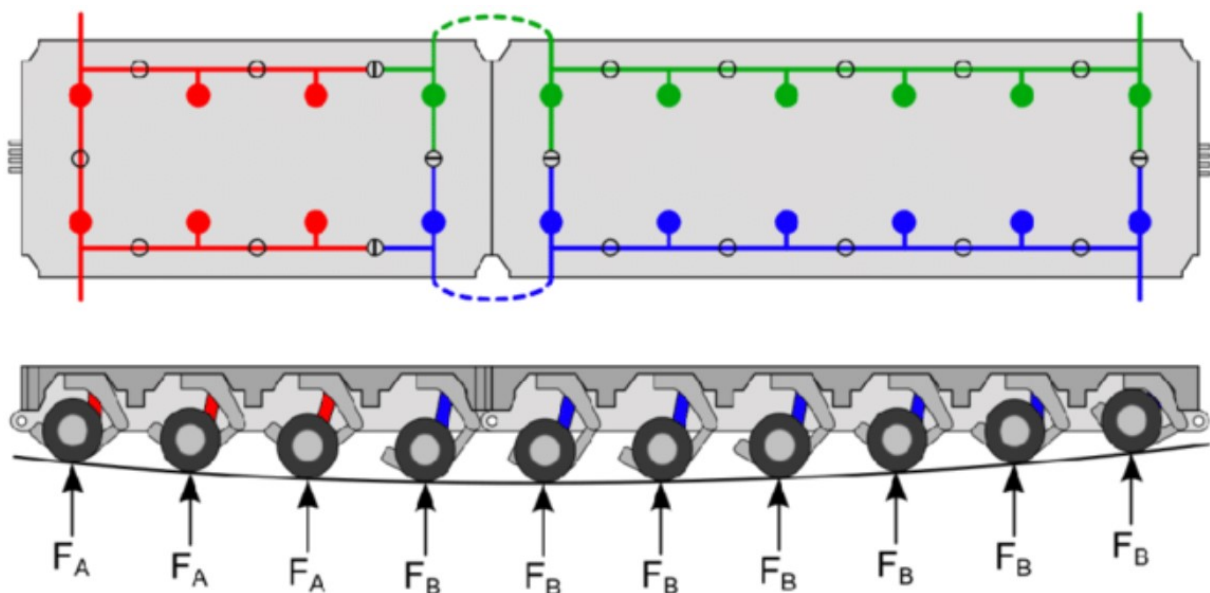


4. ábra: Olajhidraulikus felfüggesztésű rövidtengely
(https://www.goldhofer.com/fileadmin//downloads/BRO_TT/EN/THP_SL-S_SL-L_SL_EN-A4.pdf).

A 4. ábrán lévő jelölések: 1. rövidtengely mechanikus kormányrúdja; 2. kormányzást biztosító forgórész; 3. olajhidraulika; 4. kerék helye; 5. fékhenger.

Az olajhidraulikus felfüggesztés esetén a tengelyeket egy-egy olajhidraulika kapcsolja az alvázhhoz, amelyek közös hidraulikakörre vannak kapcsolva. Ha az egyik hidraulika összenyomódik, akkor az onnan távozó hidraulikaolaj megjelenik többi hidraulikánál többlet lökethosszt eredményezve. Ezáltal az összekapcsolt tengelyek terhelése kiegyenlítődik.

A Heavy-Duty Modules tréler modulárisan egymáshoz sorolható tengelyeit legtöbbször három, egyes esetekben négy hidraulikus körbe szerelik (5. ábra). Egy-egy hidraulikus körön belül a tengelyek terhelése egyenlő.



5. ábra: Háromkörös, olajhidraulikus felfüggesztésű moduláris tréler (Escribano-Garcia et al 2020).

Három hidraulikakör esetén a három kör egy-egy függőleges eredővel helyettesíthető, amelyek így határozott rendszert képeznek a jármű terhelésének felvételében.

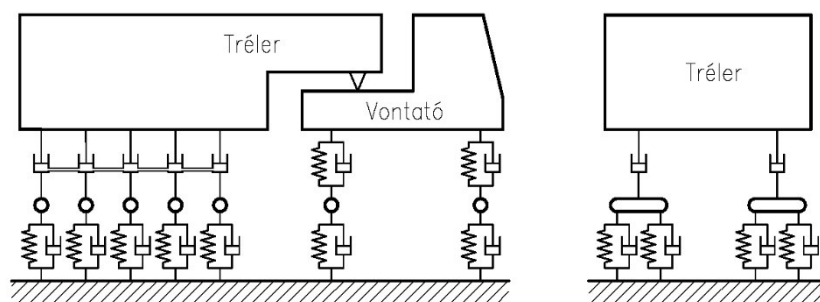
Minél nagyobb egy jármű teljes tömege, annál több tengelye van. Például, ha a jármű össztömege 250 tonna, akkor tipikusan van 22 tengelye. Az ilyen jármű hosszú is, például 35 m. Belátható, hogy egy ilyen jármű és a híd együttes dinamikai modellje, kölcsönhatása teljesen más, mint a kéttengelyes könnyű mezőgazdasági traktoré. Egyrészt a tengelyeknek a rugózása egészen más, mint a légrugós

tengelyeké, másrészt sok tengely rugózása egymást részben kiegyenlíti. Kimondható, hogy minél nagyobb egy jármű teljes tömege, annál kisebb lesz a dinamikus hatása.

A hidraulikus felfüggesztésű járműveknek nincsen „hintázó” mozgása, ugyanakkor rugózásuk keményebb, kedvező tulajdonságaik elsősorban kis sebességnél jelentősek.

A hagyományos jármű 3. ábrán szereplő dinamikai modelljének mintájára az olajhidraulikus körbe rendezett nehézgépszállító tréler dinamikai modelljét szemlélteti a 6. ábra.

Kisebbséges dinamikus többletet eredményez, hogy a túlsúlyos járműveknek sok tengelye van. További előnyökkel jár, hogy a nehézgépszállító tréler két oldali kerekei önálló felfüggesztésű rövidtengellyel kapcsolódnak az alvázhoz. A dinamikai modellben szereplő kerekek csillapított rugózása is kedvezőbb, mert keresztirányban négy vagy nyolc gumiabroncs közel egyenletesen támasztja alá a járművet, így az úthibákból származó hatások is kisebbek lesznek, mert a jármű nagyobb felületen érintkezik az útburkolattal.



6. ábra: Olajhidraulikakörös nehézgépszállító tréler több-test-rendszerű dinamikai modellezése (szerző rajza).

4. LÁNCTALPAS JÁRMŰVEK DINAMIKUS HATÁSÁRÓL

Eddig csak a kerekes járműveket vizsgáltuk. A katonai járművek jelentős rész nem kerekes, hanem lánctalpas.

Egyetlen hídtervezési szabályzat sem ad eltérő tényezőket a lánctalpas járművekhez (STANAG 2021; AEP-3.12.1.5 NATO Standard). A magyar előírásokban nincs lánctalpas jármű méretezésére vonatkozó hídtervezési szabályozás (MSZ EN 1990:2011; e-UT 07.01.12:2011). Külön vizsgálat nélkül az Egyesült Államokban és Kanadában a katonai járművekhez 1,15-ös dinamikus tényezőt javasolnak.

A lánctalpas járművek dinamikus többlethatását Antonty Everitt szakdolgozatában kísérleti mérésekkel elemezte. Összehasonlította négy katonai jármű dinamikus hatását ugyanazon a hídszerkezeten. A kísérletet Kanadában, 29,6+32,9 m támaszközű közúti hídon végezték. Három különböző kerekes járművet (50,4 tonna össztömegű, öttengelyes nehézgépszállító tréler, 27,5 tonna össztömegű, négytengelyes és 26,1 tonna össztömegű háromtengelyes katonai jármű) és egy 63,2 tonna össztömegű Leopard 2 harckocsit használtak a mérésekhez.

Everitt az útpálya esetleges egyenetlenségét az útpályára helyezett fapalló akadályokkal modellezte. Összesen 90 különféle áthaladási esetet mértek meg a négy járművel. Ezek között volt hibátlan útpályával készített mérés és a fapalló akadályokkal modellezett sérült útpályával készített mérés is. A méréseket 10, 20, 30, 40 és 50 km/h sebességgel készítették.

A vizsgálat eredménye azt mutatja, hogy a kerekes járművek dinamikus hatása hibátlan útfelület esetén másfélszerese a lánctalpas járműnek, akadályokkal modellezett sérült útpálya esetén pedig ötszöröse volt a lánctalpas járműhöz képest.

Lenner doktori disszertációjában a lánctalpas járművek dinamikus tényezőjét részletesen vizsgálja. Közli Homberg ajánlását, aki kutatását 1970-ben végezte. A dinamikus tényezőt lánctalpas járművek esetében 1,1-értékben maximalizálta.

A lánctalpas járművek fejlődéstörténetét és sokféleségét részletesen bemutatta Farkas Zoltán nyolcrészes cikksorozatában. Vizsgálatunk szempontjából kedvező, hogy a jelenleg használatos nagy tömegű katonai járművek (Leopárd harckocsi) felfüggesztése és így dinamikus hatása a híd szempontjából legkedvezőbbek közé tartozik. Régebbi típusú, híd szempontjából kedvezőtlenebb rugózású katonai járművek száma lényegesen kisebb és ezek tömege is kisebb, így nem okoznak mértékadó terhelést.

Érdemes megemlíteni, hogy a lánctalpas járművek teherátadását a felfekvési felületen egyenletesen megoszlnak tekintjük, bár tudjuk, hogy ez a valóságban nem minden esetben igaz. Mivel jellemzően a lánctalp felfekvési hosszúsága rövid (például 5 m), a lánctalpon belül meglévő egyenetlenségek globális hatása nem jelentős, ezért ez elhanyagolható. Érdemi hatása csak kis nyílású hidaknál és lokális vizsgálatoknál lehetne, de ezekben az esetekben bizonyosan a szoló tengely lesz a mértékadó terhelés és nem a lánctalp, így a lánctalpon belüli egyenetlenségek a híd szempontjából elhanyagolhatók.

5. JAVASLATOK

Javaslom a különleges túlsúlyos civil és katonai járművek dinamikus tényezőjének csökkentését. A pontosításhoz további kutatások és elsősorban kísérleti mérések szükségesek. A kedvező eredményeket az eddigi vizsgálatok igazolják, csökkentett tényező általános alkalmazásához további mérések szükségesek.

A bemutatott irodalom alapján javaslom a kísérletek elvégzéséig és kiértékeléséig, a lánctalpas járművek dinamikus tényezőjét 1,1 értékben maximalizálni. A jármű és a híd kölcsönhatásának szükséges részletesebb elemzése után javaslom a 1200 kN feletti kerekes járművek esetében is maximalizálni a dinamikus tényezőt 1,1 értékkel, amennyiben a sebesség legfeljebb 40 km/h.

6. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: AEP-3.12.1.5 NATO Standard Military Load Classification of bridges, ferries, rafts and vehicles. Edition A Version 1, September 2017;

[2]: Bartus, R., Kővári, Á. & Németh, G. 2023: Észrevételek és javaslatok a készülő új e-UT 07.01.12 közúti hidak erőtani számítása – Útügyi Műszaki Előíráshoz. Útügyi lapok, 11(18), 19 <https://doi.org/10.36246/UL.2023.2.01>

[3]: e-UT 07.01.12:2011 Erőtani számítás, Közúti hidak tervezése (KHT) 2. Útügyi Műszaki Előírás, Online: <https://ume.kozut.hu/dokumentum/205>

[4]: Escribano-Garcia, R, Bobadilla, M, Somovilla Gómez, F, Ahmed, A, (2020): A Theoretical Model with Which to Safely Optimize the Configuration of Hydraulic Suspension of Modular Trailers in Special Road Transport. In Applied Sciences, Vol. 11.

[5]: Everitt, Antony (2019): Dynamic load effects of tracked and wheeled military vehicles from bridge load testing. A Thesis Submitted to the Division of Graduate Studies of the Royal Military College of Canada, MSc Thesis Document;

[6]: Farkas, Z. (2017): Lánctalpas futóművek I. rész. In *Haditechnika*, 51 (5). pp. 64-68. <https://doi.org/10.23713/HT.51.5.14>

[7]: Farkas, Z. (2017): Lánctalpas futóművek II. rész. In *Haditechnika*, 51 (6). pp. 62-65. <https://doi.org/10.23713/HT.51.6.13>

[8]: Farkas, Z. (2018): Lánctalpas futóművek III. rész. In *Haditechnika*, 52 (1). pp. 55-60. <https://doi.org/10.23713/HT.52.1.12>

[9]: Farkas, Z. (2018): Lánctalpas futóművek IV. rész. In *Haditechnika*, 52 (2). pp. 54-58. <https://doi.org/10.23713/HT.52.2.12>

[10]: Farkas, Z. (2018): Lánctalpas futóművek V. rész : A lánctalpas jároszerkezet. In *Haditechnika*, 52 (3). pp. 64-67. <https://doi.org/10.23713/HT.52.3.14>

[11]: Farkas, Z. (2019): Lánctalpas futóművek VI. rész. In *Haditechnika*, 53 (5). pp. 70-75. <https://doi.org/10.23713/HT.53.5.15>

- [12]: Farkas, Z. (2019): Lánctalpas futóművek VII. rész. In *Haditechnika*, 53 (6). pp. 67-71. <https://doi.org/10.23713/HT.53.6.14>
- [13]: Farkas, Z. (2020): Lánctalpas futóművek VIII. rész. In *Haditechnika*, 54 (1). pp. 69-75. <https://doi.org/10.23713/HT.54.1.14>
- [14]: Hajós B. (2023): Szempontok és javaslatok a közúti hídtervezés hasznos ideális jármű teher szintjének meghatározásához a készülő új Útügyi Műszaki Előírásban, *Útügyi lapok*, 11(18), 14 <https://doi.org/10.36246/UL.2023.2.03>
- [15]: Homberg, H. 1970. Berechnung von Brücken und Militärlasten, Band 1, STANAG 2021 Norm für militärische Fahrzeuge und Brückenbelastungen, Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf;
- [16]: Lenner, R. (2014): Safety Concept and Partial Factors for Military Assessment of Existing Concrete Bridges. PhD dissertation, Universität Der Bundeswehr München, Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften;
- [17]: MSZ EN 1990:2011 Eurocode: A tartószerkezetek tervezésének alapjai
- [18]: STANAG 2021 Standardization Agreement, Military Load Classification of bridges, ferries, rafts and vehicles. Edition 8, 14 September 2017 NSO/1074 (2017) MILENG/2021;



Autópálya-hálózat fejlesztési tervek Magyarországon

Molnár László Aurél

¹Okl. mérnök, okl. gazdasági mérnök, címzetes főiskolai docens

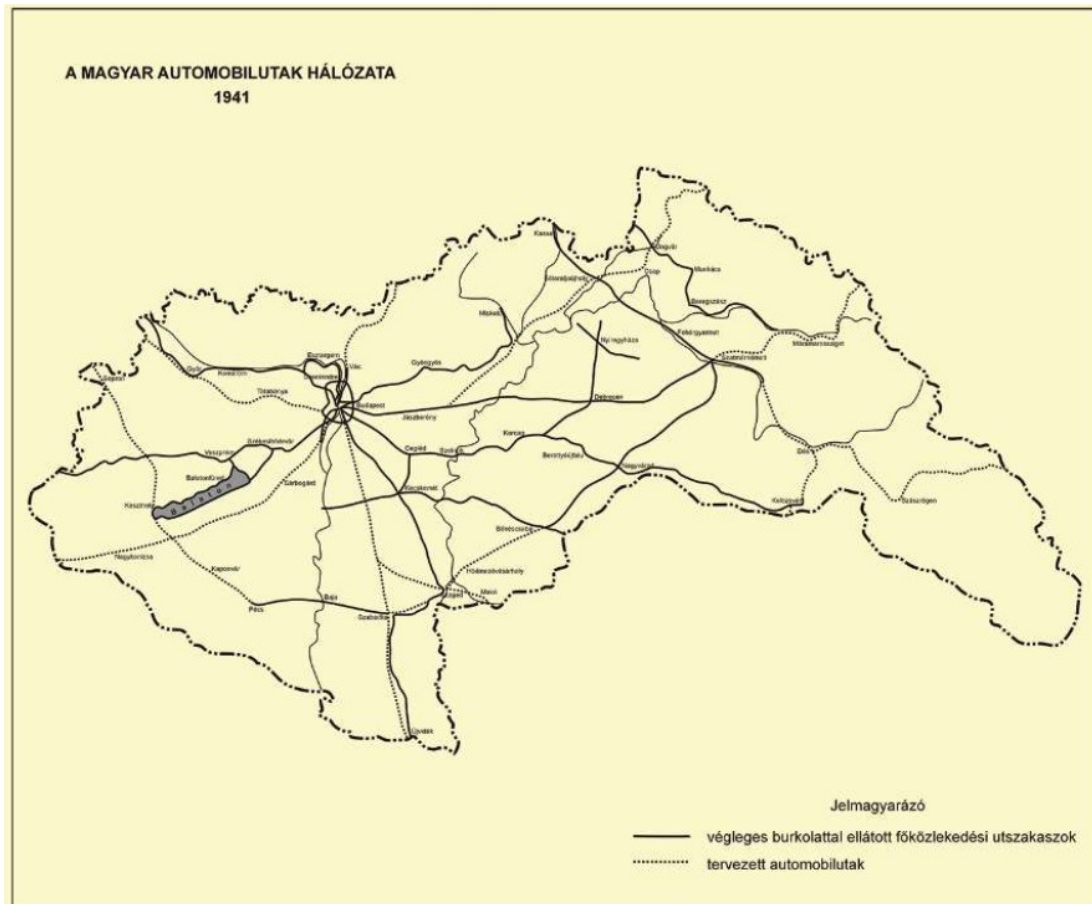
E-mail: molnar.laurel@gmail.com

DOI: [10.36246/UL.2024.1.04](https://doi.org/10.36246/UL.2024.1.04)

Molnár László Aurél

Született 1942-ben. Mérnöki pályáját az UVATERV-nél kezdte. 1971-től a KPM-ben, majd 1976-1993-között a Szombathelyi Közúti Igazgatóságon dolgozott főmérnök, majd igazgatóként. 1997-2011 között ismét a közlekedési minisztérium munkatársa volt, ahol az autópálya-hálózat és a nemzetközi közúti kapcsolatok fejlesztésével, az úthálózat és a területfejlesztés kapcsolatával foglalkozott. Szakíróként egyre inkább a közlekedés története és társadalmi hatásai foglalkoztatják. Mérnöki működéséről írott emlékezése online olvasható.

Európa első kizárólagos autópályája, az AVUS (Automobil-Verkehrs- und Übung-Straße), egy berlini útszakasz volt, amelyet 1921-ben helyeztek forgalomba. Az Amerikai Egyesült Államokban 1927-ben már országos hálózat létezett. Európában az automobilizmus és a forgalom növekedésével egyik országban a másik után jelentek meg a kizárólag gépkocsiforgalomra épített utak, és indult meg ezeknek hálózattá fejlődése. Magyarországon a személyautók száma 1941-ben még csak 17.000 volt, de már volt egy-két olyan útszakasz, ami alkalmas volt nagy sebesség kifejtésére, s így az automobilizmus pályájának volt tekinthető. Ekkor készítette el doktori disszertációját Vásárhelyi Boldizsár mérnök az első szakszerű koncepciót „a magyar automobilutak hálózatára”. Egy évvel később már a főváros körüli autópályát is javaslatot dolgozott ki.



1. ábra: Dr. Vásárhelyi Boldizsár autópálya tervjavaslatai [1].

A történelem azonban megakadályozta ezeknek a terveknek a megvalósulását. A veszített háború, a súlyos békeszerződés és a rövidesen hatalomra jutó kommunista diktatúra a modernizáció, a nyugathoz való felzárkózás és az életszínvonal emelkedésének reményét gyorsan szertefoszlatta. Így az első magyar autópálya-szakasz megépítésére a 60-as évekig kellett várni.

Hálózatra azonban akkor még csak a legoptimistább szakemberek gondoltak (Murányi Tamás, Jakab Sándor). Legtöbbsen – még az Útügyi Kutató Intézetben is – úgy vélték, hogy autópályákat majd ott kell építenünk, ahol a meglévő út kapacitása kimerül, tehát az országban szétszórva, többnyire a nagyvárosok közelében épülő rövid szakaszokra készültek, noha – amint erre dr. Rigó Mihály felhívja a figyelmet – Vásárhelyi Boldizsár már 20 évvel korábban is az egyszámjegyű utak szögfelezőjében jelölte ki az autópályák nyomvonalát, érzékelve azok területfeltáró szerepét.

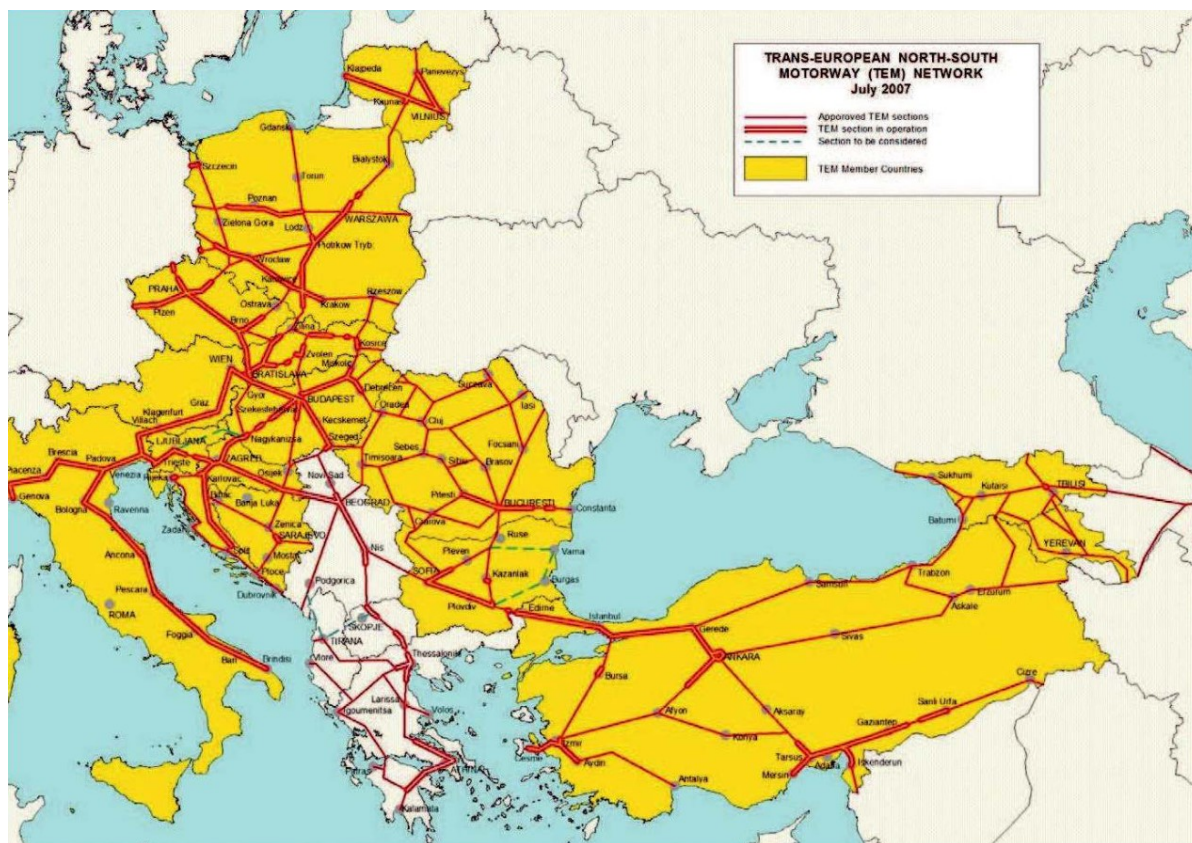
Ezt illusztrálja az első két kezdeményezés is. Elsőként az 1. sz. főút Budapest–Győr közötti szakaszának kiváltása került napirendre Tatabánya érintésével, mert a régi úton Piliscsabán át a kedvezőtlen terep, a sok lakott terület és nagy ipari forgalom már akkor zsúfolt forgalmi viszonyokat teremtett. De rövidesen bebizonyosodott, hogy a Bicske-Tatabánya nyomvonal és az alkalmazott műszaki jellemzők nem nyújtják a várt megoldást. Másodikként a mind népszerűbb balatoni üdülés kiszolgálása vált egyre sürgetőbbé. Így kezdődött meg az M7 autópálya építése Budapesttől Siófok felé, első ütemben „félautópályaként”, ami a forgalom növekedésével majd teljes, 2x2 sávú autópályává fejleszthető.

Az 1960-as években a kormányzat még nem támogatta a motorizációt, de az úthálózat fejlesztése már tovább nem volt halogatható. Új vezetők kerültek a közúti apparátus élére (dr. Ábrahám Kálmán és munkatársai), akik olasz és francia minták nyomán egy 500 kilométeres útdíjas autópálya-hálózat kiépítését tűzték ki célul. Műszakilag és gazdaságilag alátámasztott fejlesztési terv erre nem készült, de mindenki egyetértett abban, hogy – Vásárhelyi javaslatától eltérően – a „nagy andráskereszt”, vagyis a

Hegyeshalom – Budapest – Szeged, illetve Letenye – Budapest – Miskolc autópálya-tengelyeket kell mindenképp megvalósítani. A két tengely metszéspontját Budapesten a Hungária körúton épülő magasvezetésű városi autópálya adta volna.

A koncessziós programról kezdeményezett külföldi tárgyalások azonban nem vezettek eredményre, miközben a gazdaságpolitika megújítását célzó törekvéseket is megakasztotta az 1968-as „Prágai tavaszt” követő politikai visszarendeződés. Ennek ellenére – ha küzdelmek árán és lassuló ütemben is – folytatódott az autópályák építése. Ekkor ugyanis már mind a politika, mind az autós társadalom egyetértett abban, hogy tovább kell lépni, és az egész országot felölelő hálózatra van szükség, de ennek részletei még tisztázatlanok voltak. Az építkezés a vázolt négy irányban hosszabb-rövidebb szakaszokban haladt előre.

Maradt azonban nyitott ablak is: nyugati nemzetközi szervezetek finanszírozásával és szervezésében 1970-ben hosszú tervező munka kezdődött a közép-európai országok, valamint Olaszország és Törökország úthálózatának összehangolt fejlesztésére „Trans-European-North-South-Motorway-TEM” címszó alatt. A hosszas vizsgálódás 2007-ben ért véget egy bonyolult hálózat programjával, ami azonban addigra aktualitását szinte teljesen elvesztette.



2. ábra: A TEM Transzeurópai észak-dél autópályák [2].

Ugyancsak az 1970-es évek elején tűzte ki célul az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága (UNECE – ENSZ-EGB), hogy az európai nemzetközi forgalom számára a korábbi, London-központú hálózat helyett egy rácsos rendszerű, kelet-nyugati és észak-déli főutakból, valamint ezek közé illeszkedő másodrendű utakból álló hálózatot hoz létre. Ez a javaslat az E-utak rendszeréről 1975-ben nyert jóváhagyást, és azóta is érvényben van.

A 70-80-as években számos javaslat és koncepció készült a fokozatosan kiépítendő magyar autópálya-hálózatra. Ezek többsége azonban még mindig a régi főúthálózatnak volt egyféle leképezése. Tovább élt ezekben mind a korábban említett „András-kereszt” és a keresztmetszetében ütemezett

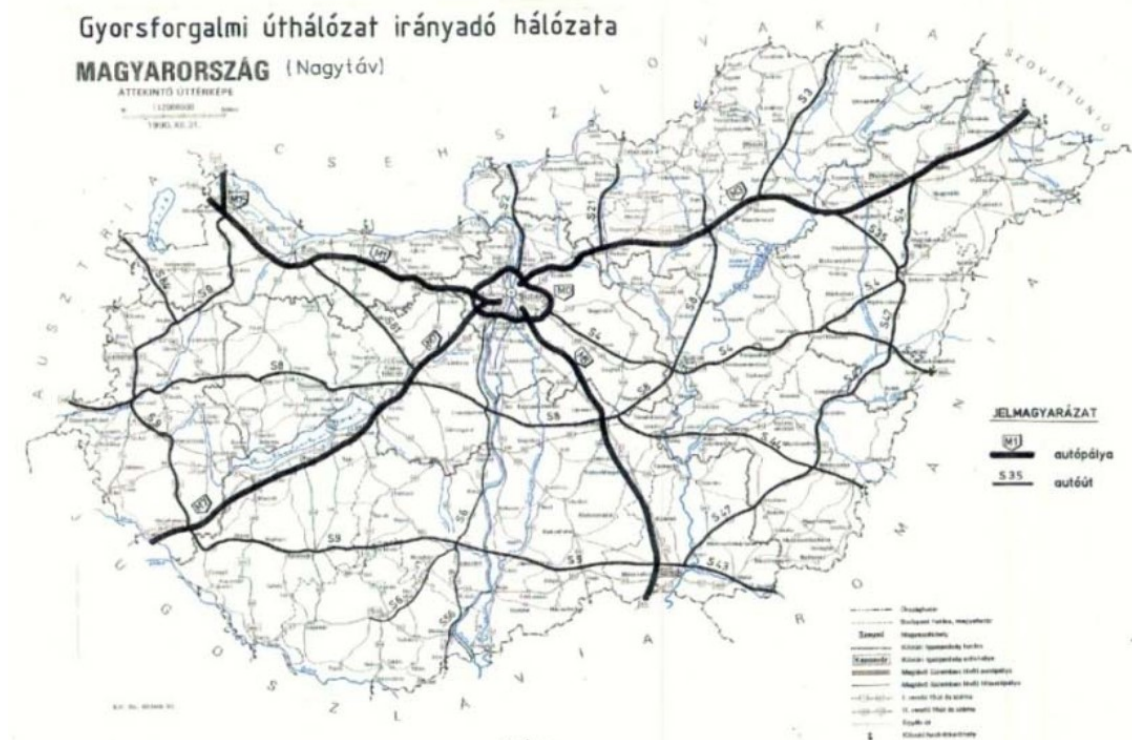
kiépítés, az ú.n. „félautópálya” elmélete. Ezek között talán az Út-Vasúttervező Vállalat (UVATERV) 1977-ben készített keretterv-javaslatát emelhetjük ki, mint ami leginkább igazodott a nemzetközi autópálya-építési gyakorlathoz, és a megvalósítási költségek és területfejlesztési hatások szempontjából is kedvezőnek látszott. Ez azonban új Duna-hidakat még nem tartalmazott.

Ez utóbbi szempontjából fontos kiemelni, hogy két nagy folyónkon, melyek az országot három hasábra osztják, nagyon kevés közúti híd ívelt át. Hídjaink zöme közös vasúti-közúti híd volt, természetesen a vasút elsőbbségével. Budapesttől délre a Dunán éppen csak két ilyen híd volt, Dunaföldvár és Baja. Egyéb semmi! A Tiszán Szeged, Szolok, Záhony, Vásárosnamény a közúti hidak listája, ezek is városi hidak. Rajtuk kívül közös hidak, pontonhidak és kompok. Miként tudott volna hát a három régió napi szinten együttműködni?



3. ábra: UVATERV: Országos Közúthálózat Fejlesztési Keretterv 1977 [3].

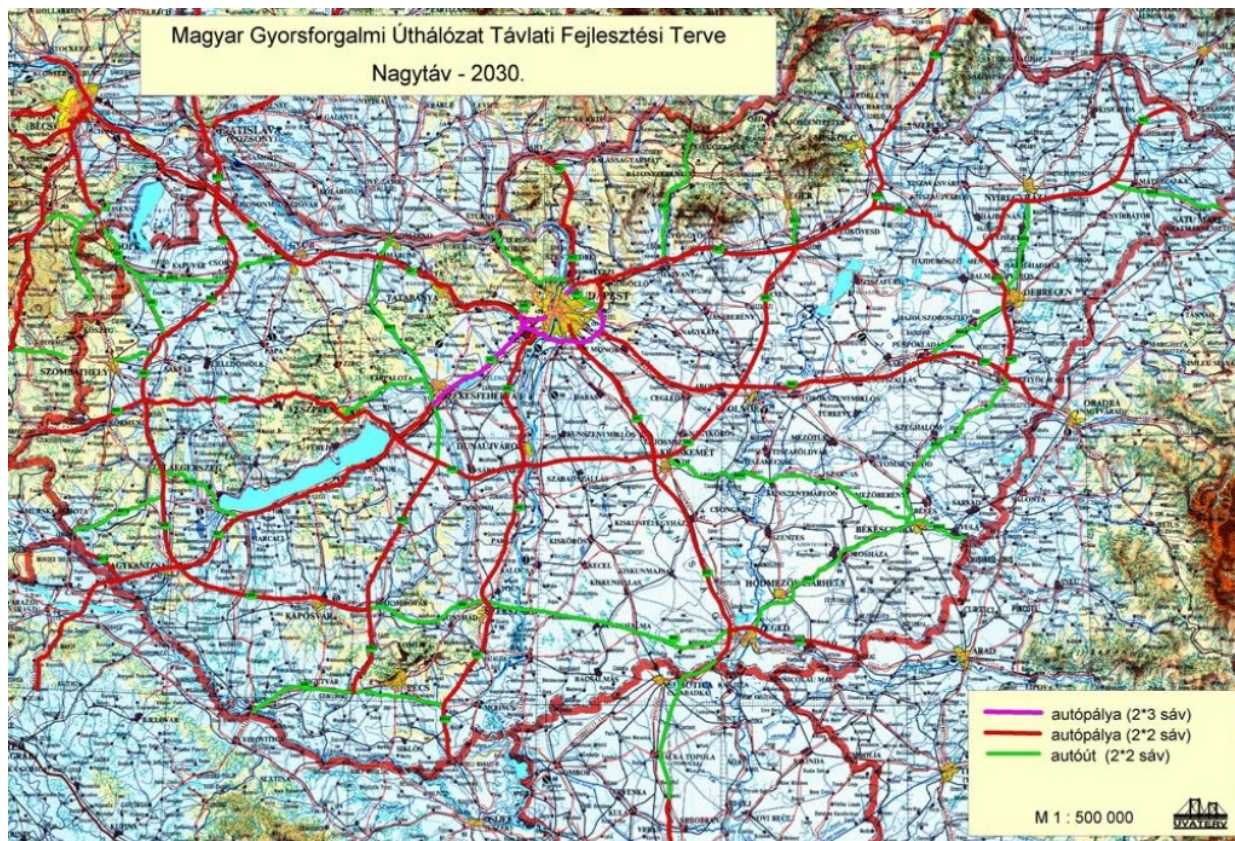
A hálózat további fejlesztését az 1990-ben hivatalba lépett polgári kormány is programba vette. Távlati fejlesztési terv is készült, ami megőrizve az andráskeresztet már az ENSZ-EGB hálós E-úthálózatának elveit is szem előtt tartotta. Ezen már megjelennek az új Duna-hidak is Dunaújvárosnál és Szekszárdnál.



4. ábra: A gyorsforgalmi úthálózat távlati fejlesztési programja 1991 [4].

Elsőként – a Világbank pénzügyi támogatásával – a Budapest körülölelő M0 déli szakasza valósult meg, kapcsolatot teremtve a legnagyobb tranzitforgalom számára az M1 (Hegyeshalom-Győr) és az M5 (Kecskemét-Szeged) autópálya között, egyelőre 2x2 sávú autóút formájában, ami később 2x3 sávú autópályává fejleszthető.

Ugyanakkor tárgyalások kezdődtek a Világbankkal és az Európai Unió illetékes szerveivel további kölcsönökről és támogatásokról, a törvényhozás pedig megkezdte a korszerű területfejlesztési törvény előkészítését, ami a közlekedésfejlesztésnek is hivatott volt keretet adni. Annál inkább, mert a hazai gondolkodásba gyorsan beépült az európai hálózatokhoz való alkalmazkodás, azokhoz csatlakozás szükséglete. Ezek jegyében, immár az Európai Unió TEN-T (Trans-European Network – Transport) követelményei jegyében készült el az UVATERV-nél 1995-re a Gyorsforgalmi Hálózat Fejlesztési Terve, aminek időtávlata 2030-ig tekintett.



5. ábra: 1995 UVATERV Gyf. Hálózatfejl. Terv – Nagytáv 2030 [5].

Érdekes közjáték volt, hogy 1990-ben egy magántársaság területfejlesztési célokat hangsúlyozva felvetette az ún. Déli Autópálya tervét, ami az északnyugati határtól az államhatárral párhuzamosan félkörívben az északkeleti területekig az ország egész peremvidékét átszelte volna, mint a hagyományos sugaras-gyűrűs szerkezet külső gyűrűje. A gondolat évekig foglalkoztatta a szakmai és önkormányzati köröket, de végül elhalt. Szellemissége azonban még sokáig, akár napjainkig fel-felbukkan.

Döntőnek bizonyult viszont az európai közlekedési miniszterek akciója. 1991. évi értekezletükön Prágában célul tűzték ki azoknak a közlekedési folyosóknak a kijelölését, melyek meghatározóak a volt szocialista országok beillesztéséhez a nyugat-európai társadalmi-gazdasági környezetbe. 1994-ben Krétán elfogadták a 9 Krétai Folyosó mappáját, amit 1997-ben Helsinkiben egy további folyosóval bővítettek, és több kiegészítő ágat kapcsoltak hozzá. Ez a mindmáig élő Helsinki Folyosók rendszere. A tíz folyosóból hazánkat a IV., az V. és a VII. folyosó érinti.

IV	Drezda/Nürnberg – Prága – Brno – Pozsony – Győr – Budapest – Arad – Craiova – Szófia – Plovdiv – Isztambul
	<ul style="list-style-type: none"> • IV/a: Brno – Bécs (csak vasút) • IV/b: Arad – Bukarest – Konstanca • IV/c: Szófia – SzalonikiRajna–Majna–Duna-csatornán
	Velence – Trieszt/Koper – Ljubljana – Maribor – Budapest – Ungvár – Lviv – Kijev
V	<ul style="list-style-type: none"> • V/a: Pozsony – Zsolna – Kassa – Ungvár • V/b: Fiume – Zágráb – Budapest • V/c: Ploče – Szarajevó – Eszék – Budapest

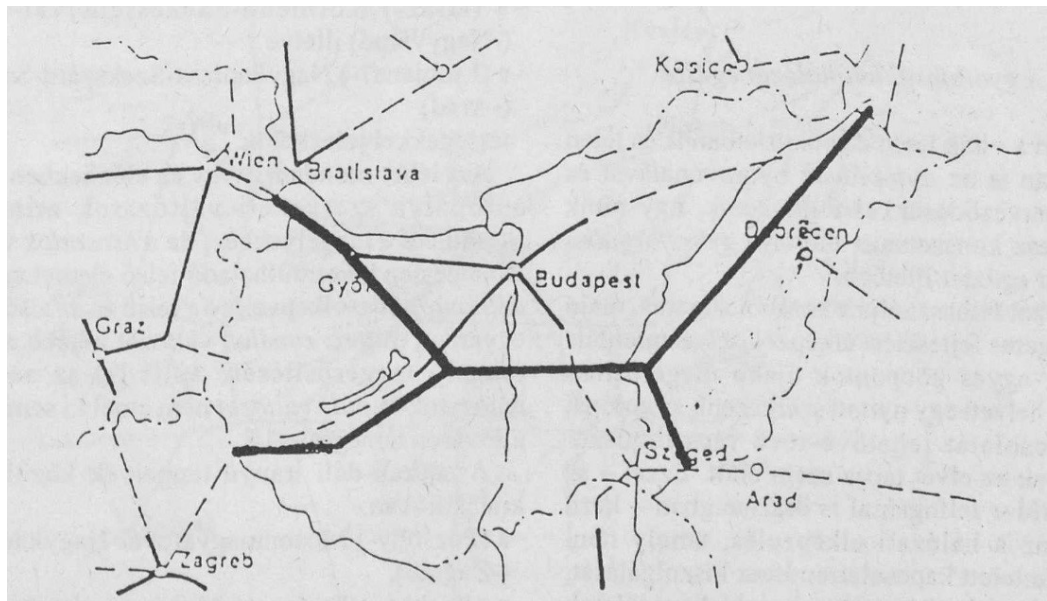
VII A Duna és elérhető az Északi-tenger a keresztül

Magyar kikötői: **Győr-Gönyű, Komárom**, Budapest-Csepel, Dunaújváros, Baja, Mohács Teljes szakasz: Rotterdam - Mainz - Frankfurt - Bamberg - Regensburg - Passau - Linz - Bécs - Pozsony - Győr-Gönyű - Budapest-Csepel - Dunaújváros - Baja - Mohács - Belgrád - Silistra - Konstanca - Galat - Izmail



6. ábra: Helsinki folyosók táblázatban és térképen [6].

A rendszer egészét áttekintve kitűnik, hogy ezek a folyosók nem alkotnak konzisztens és koncepcuózus rendszert, csupán egyszerűen rögzítik azokat az útvonalakat, melyek a szovjet érdekszférából szabadult országok számára elsődlegesek a nyugati kapcsolatok gyors kiépítéséhez. Az ebből fakadó negatívumokra Fleischer Tamás hívta fel a figyelmet. Fleischer, 1994 [7] írása két alapvető, és gyorsan népszerűvé lett ábrával bizonyít. Az első, az ún. „boríték ábra” a 10x21 cm-es boríték rajzával azt mutatja be, hogy a magyarországi tranzitforgalom szempontjából döntő négy sarokpont: Hegyeshalom, Záhony, Letenye és Szeged között milyen szerkezet nyújtja a legrövidebb út és kiépítés lehetőségét (7. ábra [7]). A boríték átlós ragasztásai Hegyeshalom és Letenye felől Székesfehérvár/Polgárdi térségében futnak össze, Záhony és Szeged felől pedig Kecskemét és Szolnok térségében. E két pontot a Dunaújváros – Kecskemét – Szolnok tengely köti össze, kulcselemként értelemszerűen egy Duna-híddal.

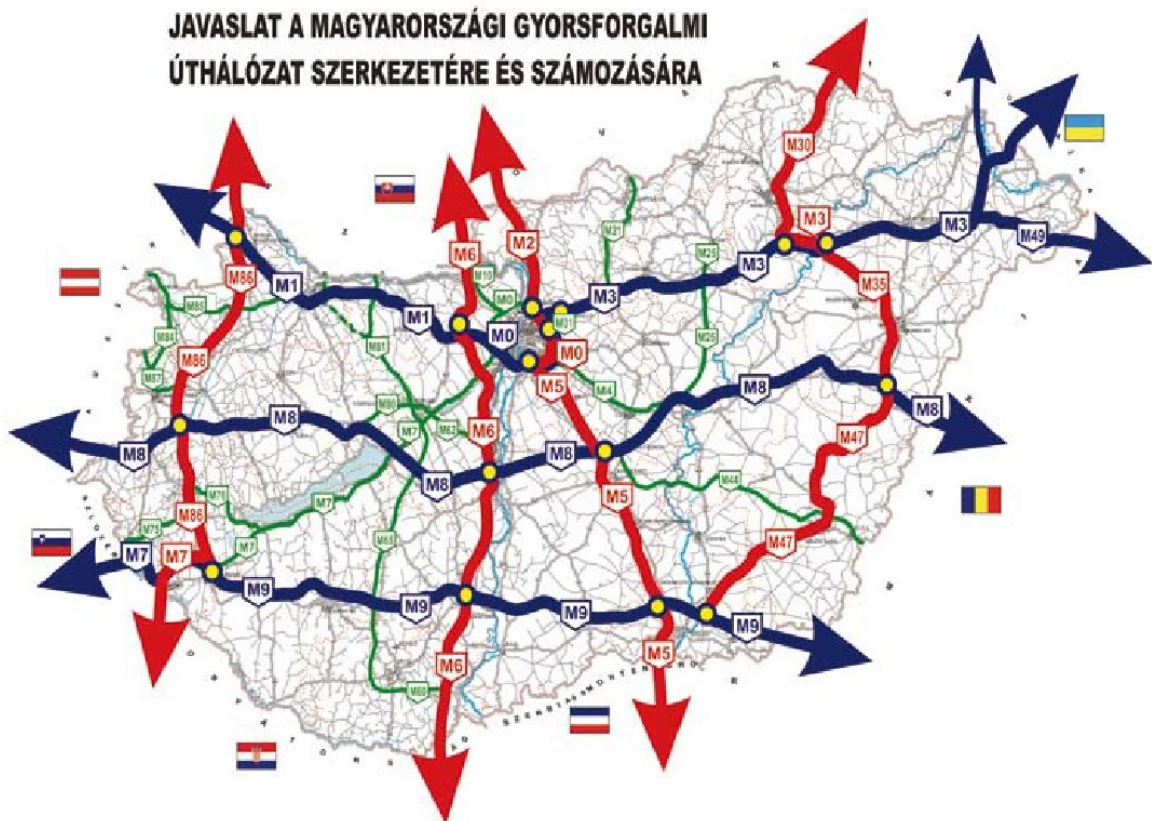


7. ábra: A legkisebb összhosszúságú autópálya egy közelítő nyomvonala [7].

A másik ábra azt mutatja be, hogy míg Nyugat-Európában az E-utak hálózata észak-déli és kelet-nyugati főtengelyekből álló hálóként épül fel, a volt szocialista országokban a Helsinki folyosók rendszere összekuszálódik, és szinte teljesen hiányoznak belőle az észak-déli elemek. Hálózatról tehát alig beszélhetünk.

egy új Duna-híddal már akkor vizsgált Ráabafüzes – Veszprém – Dunaújváros – Szolnok – Biharkeresztes, valamint az észak-déli forgalomban mind erőteljesebben kirajzolódó Pozsony/Sopron – Szombathely – Rédics (E65) folyosót. Utólag benyújtott igényünkre az EU kedvező módon azt a választ adta, hogy ezeket „a TINA elemekkel egy sorban” fogja kezelni. A TINA zárójelentésben végül Magyarország úthálózata 1448 km úttal 10 millió Euro előirányzattal kapott helyet. (TINA Final report, 2002)

Ugyanebben az időszakban került napirendre a területrendezés újraszabályozása, miután az Országgyűlés elfogadta a területfejlesztésről és területrendezésről szóló 1996. évi XXI. törvényt. A Környezetvédelmi és területfejlesztési minisztérium vezetésével megkezdődött az Országos Területrendezési Terv (OTrT) előkészítése, szerkesztése, aminek evidens eleme az ország főúthálózatának, ezen belül autópálya-hálózatának terve is. Az úthálózattal kapcsolatos kérdések a közlekedési tárca, valamint annak háttérintézménye, az Útgazdálkodási és Koordinációs Igazgatóság feladatát képezték. Ennek során pezsgő és sokáig eleven szakmai vita alakult ki a Széchenyi István nevéhez köthető, Budapest-központú sugaras-gyűrűs, illetve az ENSZ EGB által preferált rácsos hálózat kérdésében. Az OTrT végül az utóbbinak megfelelő szerkezetet rögzítette, de a tényleges fejlesztések – a korábbi szerkezet nagy társadalmi beágyazottságát tükrözve – nagy részben továbbra is a sugaras-gyűrűs hálózathoz illeszkedtek. E témában a nyomtatott szaksajtóban mégis kevés írás jelent meg, s azok sem az OTrT-hálózat ismertetését, indoklását hangsúlyozták, inkább kissé áttételesen mutatták be annak hátterét. A témát legrészletesebben Molnár László Aurél két cikke fejti ki, előbb a hazai hálózat vázára téve javaslatot, majd felvázolva az egész kelet-közép-európai térséget. (Molnár László Aurél: *Gyorsforgalmi úthálózatunk szerkezete és számozása [Közúti és Mélyépítési Szemle 2007. 8. szám]; Molnár László Aurél: Kelet-Közép-Európa úthálózata, mint a felzárkózás eszköze [Közúti és Mélyépítési Szemle 2007. 11. szám] (9. és 10. ábra)*



9. ábra: Javaslát a magyarországi gyorsforgalmi úthálózat szerkezetére és számozására [8].



10. ábra: Kelet-Középeurópa főúthálózatának javaslata (munkatérkép) [9].

A vitában legelősebben a következő négy kérdés merült fel:

- Országosan a legnagyobb forgalom az M0 autópálya-gyűrűt terheli, ami nemcsak a tranzit forgalomban, de a főváros belső forgalmában is meghatározó. Az évek során a gyűrű túlnyomó része megépült, indulva az M1 autópályától Budaörs térségében és körülölelve a fővárost Csepel, Vecsés és Dunakeszi érintésével Budakalászig. A hátralévő északnyugati szektor azonban mind környezetvédelmi okokból, mind a költségek oldaláról egyre késedelmet szenved. Kérdés, hogy egyáltalán megépüljön-e, ha igen, milyen formában és szerepkörben, s megoldás lehet-e egy távolabb épülő, párhuzamos gyűrűszakasz létesítése.

- Az ország középvonalában kijelölt – a TINA-felméréssel kapcsolatban már említett – Rábafüzes – Dunaújváros – Biharkeresztes tengely ebben a formában merőben új eleme az országos hálózatnak.

Indoka egyrészt a Dunántúl és a Nagyalföld kapcsolatának erősítése, ami mind gazdasági, mind számos társadalmi és nemzeti szempontból égető hiány. Másrészt ez a folyosó európai léptékben Lombardia és Karintia, valamint Erdély és Moldva között teremtené az E-utak rendszerébe pontosan illeszkedő kapcsolatot. Az ennek megfelelő elemek külföldön jelentős részben már léteznek, illetve épülnek (olasz A4, osztrák A2, illetve román Transilvania autópálya). Az OTrT-ben ez az autópálya M8 jelzéssel szerepel. Kulcseleme a dunajvárosi Pentele-híd, ami 2008-ban elkészült, de megfelelő kapcsolatok híján kihasználatlan.

- Az ország déli sávjában kijelölt Nagykanizsa – Szekszárd – Szeged – Makó M9 tengely szintén új elem az országos hálózatban, voltaképpen az M8 klónja egy ütemmel délebbre. Ez az Adriát köti össze Dél-Erdélyen keresztül a Fekete-tenger vidékével. Kulcseleme a Szekszárd/fajszi Szent László híd, ami 2003 óta áll ugyancsak kihasználatlanul a Duna fölött, mivel se nyugat, se kelet felé nem épült ki a rávezető úthálózat.

A kérdés elágazása, hogy vajon ez a dél-magyarországi tengely a Mecsektől északra Dombóváron át, vagy attól délre, Pécsset is felfűzve épüljön-e meg. Nyilvánvaló, hogy Pécsset fel kell fűzni, de ez az egyik oldalról már megtörtént, nyugat felől pedig az – esetleg 2x2 sávós – 67. sz. úton megoldható. Ugyanakkor miért kényszerüljön a kaposvári, s attól nyugatra induló forgalom az egész Mecsek megkerülésére? Ezért született az a még érthetlenebb – végiggondolatlan, helyi indíttatású – megoldás, hogy „tegyük félre” a Szent László hidat, s építsünk Mohácson a Mohácsi sziget és a Gara-bácsalmási térség számára – az országhatárra szinte „rászorítva” – egy autópályát. (Egy kétsávós híd Mohácson – a komp helyett – ettől függetlenül bizonyára indokolt.)

- A Tiszántúl úthálózata mindmáig magán viseli annak következményeit, hogy a Tisza és mellékfolyóinak áradásai évszázadok óta hatalmas területeket tettek szinte járhatatlanná. Mindmáig nincsen egyetlen olyan észak-déli útja sem a Tiszántúlnak, aminek térszervező erőtere lenne. Ezzel a korábban említett szakcikkek sem foglalkoztak részletesebben. Az M47 kapcsán Molnár L.A. írása [8] is csak említi, de pontos nyomvonalára – a terepismeret hiányára hivatkozva – nem tett javaslatot. Azóta dr. Rigó Mihály számos írásában sürgette a kérdés tisztázását, javasolva, hogy Emőd és Polgár (az M3-M30 csomópontja, illetve az M3 Tisza-hídja), valamint Makó térsége között jelöltessék ki egy autópálya-nyomvonal, ami illeszkedjék a Via Carpatia folyosó Kaunas – Lublin – Kassa – Miskolc nyomvonalához, majd Makótól logikusan folytatható Temesvár érintésével az Égei tenger partvidéke felé.

Sajnálatos, és minden társadalmi és műszaki szempontból érthetetlen, hogy hivatalos reflexió mindmáig semmilyen formában nem született ezekre – a törvényerőre emelt OTrT-vel is szoros kapcsolatban lévő – javaslatokra és vitákra.

Ugyanakkor ezekkel a vázolt elméleti tervezési eseményekkel párhuzamosan lendületesen folytatódott a magyarországi gyorsforgalmi hálózat fejlesztése. Ennek egyik tervezési-jogi bázisát a szomszéd államokkal kötött autópálya-csatlakozási egyezmények szolgáltatták, a másikat a Kormány és a vidéki nagyvárosok között létrejött megállapodások. A Kormány első lépésben a megyei jogú városokhoz vezető gyorsforgalmi utak kiépítését tűzte ki célul, de 2015 óta a Modern Városok Program keretében, illetve ahhoz kapcsolódva számos kisebb város és térség is korszerű és nagy kapacitású közúti kapcsolat előnyeit élvezheti. (Jegyezzük még meg, hogy e fejlesztések kapcsán a magyar útépítőipar örvendetesen fejlődött, hozzájárulva a nemzeti össztermék gyarapodásához is.)

Időközben megalakult az MKIF Magyar Koncessziós Infrastruktúra Fejlesztő Zrt., ami 2022. szeptember elsejétől 1237 km már meglévő magyarországi gyorsforgalmi út üzemeltetését, fenntartását, fejlesztését vette át a Magyar Közút Nonprofit Zrt.-től. Az új útkezelő vállalta, hogy 35 éven keresztül biztosítja ennek a már megépült és működő hálózatnak a biztonságos fenntartását és üzemeltetését, valamint azt is, hogy 2034-ig további 279 km új gyorsforgalmi utat is épít, 299 km-en pedig bővíti a már meglévő hálózatot. E szerződés értelmében a hálózat-fejlesztés tervezése is nagyrészt az MKIF Zrt. hatáskörébe került.

Lehet, hogy a fenti áttekintés vázlatos és bizonyos pontokon tévedések is terhelhetik. Fő vonalaiban azonban megfelel a valóságnak. A probléma elsősorban nem is a lezajlott események leírásában rejlik, hanem abban, hogy mindezekről a várható, vagy csak felmerült tervekről és javaslatokról a közvélemény nem kapott érdemleges és összefüggő tájékoztatást, sőt az érintett szakmai és önkormányzati szervek sem. A megvalósult gyorsforgalmi utak tapasztalatai azonban azt mutatják, hogy a forgalom a fejlesztések zömét örömmel vette használatba, másrészt azonban nem tagadhatók a tévedések, sőt kudarcok sem. Kérdés, amit eddig senki sem mérlegelt kellő súllyal, hogy a felhasznált források kielégítően hasznosulnak-e. Minden bizonnyal üdvös lenne a további hálózat-fejlesztés kérdését szakmai felelősséggel nyílt vitában elemezni.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1]: Vásárhelyi B. (1942): Automobil-pályák műszaki követelményei és a magyar gépjárműpályák kialakításának programja, József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.
- [2]: Fleischer, T. (2015): The EU transport policy and the enlargement process. <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.971132>
- [3]: *UVATERV*: Országos Közúthálózat Fejlesztési Keretterv 1977, <http://www.uvaterv.hu/uploads/referenciak/pdf/095.pdf>
- [4]: http://www.uvaterv.hu/uploads/aktualitas/kuzmos/kozlekedesihalozatok_tervezese.pdf
- [5]: <http://www.uvaterv.hu/uploads/referenciak/pdf/097.pdf>
- [6]: Fleischer, T. (2007): Transzeurópai folyósók, A meglávók hosszabítása vagy egy összeurópai hálózat kialakítása, In: Glatz Ferenc (szerk): A Balkán és Magyarország, Váltás a külpolitikai gondolkodásban? MTA Társadalomkutató Központ – Európa Intézet Budapest, Magyarország az ezredfordulón, Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián, I. Rendszerváltozás: piacgazdaság, társadalom, politika.
- [7]: Felischer, T. (1994): A gyorsforgalmi úthálózat kialakulásának néhány kérdéséről, Közlekedéstudományi szemle, 44. évfolyam, 1. szám.
- [8]: Molnár, L. A. (2007): Gyorsforgalmi úthálózatunk szerkezete és számozása, Közúti és Mélyépítési Szemle 2007. 8. szám.
- [9]: Molnár, L. A. (2007): Kelet-Közép-Európa úthálózata, mint a felzárkózás eszköze, Közúti és Mélyépítési Szemle 2007. 11. szám.



Az első úthengerek megjelenése Magyarországon

Turán István

¹Kiskőrösi Úttörténeti Múzeum

E-mail: turan.istvan@bacs.kozut.hu

DOI: [10.36246/UL.2024.1.05](https://doi.org/10.36246/UL.2024.1.05)

KIVONAT

A magyarországi útépités történetének különleges szegmense az útépitő technológiák, illetve gépek fejlődésének története. Az elmúlt évtizedekben számos publikáció érintette az úthengerek hazai megjelenésének és elterjedésének témakörét, átfogó vizsgálatra ugyanakkor az 1980-as évek óta nem került sor. Mivel napjainkra a hozzáférhetőség mind a levéltári források, mind a nyomtatott szakirodalom tekintetében jelentősen bővült, ezért szerencsésnek tartottuk újra elvégezni a szükséges kutatásokat. Így a jelentős mennyiségű új forrás bevonásával, ha mindenre kiterjedő választ ugyan nem is, de a korábbiaktól átfogóbb és teljesebb képet kaphatunk a 19. század utolsó harmadának időszakáról. A dolgozat az egyes géptípusok, és azok műszaki leírása mellett a korszak fontosabb útépitéseiről is szolgáltat információkat.

Kulcsszavak: útépités, gőzhenger, úthenger, makadámút, gőzgép

ABSTRACT

The evolution of machinery and road building techniques are both unique segments of the history of road building in Hungary. Several publications deal with the appearance and spread of road rollers in the country, however thorough research has not been carried out in this topic since the 1980s.

The expanding accessibility to archive sources and printed materials has encouraged new researches recently. Although applying this eloquent amount of information has not provided answers to all the emerging questions it has led to a more extensive apprehension of the latter part of the 19th century. Beside providing information of the main road building projects of the era, the essay also includes technical descriptions of different types of road building machines.

Keywords: road building, steam road roller, road roller, macadam, steam engine

Turán István

Okleveles történész a Kiskőrösi Úttörténeti Múzeum vezetője.

Talán nem túlzás kijelentenünk, hogy a dualizmus ötven éve alatt Magyarország gazdaságilag többet és jelentősebb mértékben fejlődött, mint a kiegyezést megelőző százötven évben együttvéve. A társadalom polgári átalakulása mellett az ipari szektor felemelkedése, a nagy folyószabályozások és a vasútépítések dominálták a 19. század második felének magyar gazdasági életét. Ha ebből a szemszögből nézzük a dolgokat, akkor úgy tűnhet, hogy az 1890-ben elfogadott első úttörvény viszonylag későn született meg, azonban ne feledjük, az ország közúthálózatának kiépítettsége,

pontosabban annak hiánya korábban nem indokolta egy országos hatókörű szabályozás meglétét. Az „álladalmi” utak esetét kivéve útépitést, útfenntartást jellemzően a vármegyei törvényhatóságok vállaltak, a helyi jelentőségű szállítások, utazások biztosítása érdekében. Annak ellenére, hogy a forgalom ekkoriban szekérforgalmat jelentett, az utak állapota, pontosabban a makadampályák kiépítettségének hiánya ezt a fajta szállítási formát is hátráltatni tudta, időjárási tényezők függvényében az év egyes szakaszaiban hol jobban, máskor kevésbé. Ahogyan a korszak kiváló mérnök-politikusa, Hieronymi Károly is megfogalmazta: „*az egyes megyék útainak fenntartására engedményezett összegek nagysága mindig csak az állampénztár állapotától függ, anélkül, hogy az építészeti hatóságok az útnak jó karban tartására okvetlenül szükséges összeget határozottan megállapítani képesek lennének.*” [1]

Mivel az állampénztár minden történelmi korban küszködik a maga hiányosságaival, ez az eljárás némileg érthető. Persze az imént említett kiváló szakember nem érte be ennyivel, így amellet, hogy publikációk sorát szentelte a témának, előbb államtitkárként, a későbbi évtizedekben pedig miniszterként is megpróbálkozott a magyar közlekedéspolitikai fejlesztésével (tette ezt sikerrel). Ennek egyik első állomása volt már hivatkozott művében a megfelelően elkészített makadamburkolat ismertetése, fenntartásának bemutatása, az általános leírás mellett ezek anyagi vonzatának kiszámítása, közlése is. A főként francia forrásokra támaszkodó *A kőutak fenntartásáról* című munka 1868-ban jelent meg, s akkoriban, de még manapság is a szakma egyik kiválóságaként tartjuk számon. Az úthengerekről, mint a jó minőségű útpálya egyik legszükségesebb feltételéről itt esett szó először részleteiben, sőt, Hieronymi több metszetet is közölt róla, mint Nyugat-Európa szerte elterjedt eszközről [2].

A könyvatos táblán négy francia hengertípus szerepelt, mindhárom lóvontatású [3]. Eredetileg fából készült, később vasalással erősítették meg, ekkor az önsúly mellett már lehetőség volt a belső üreg megtöltésére homokkal, kővel, így jobb tömörítőképeséggel rendelkezett. Tömege a mérettől és töltöttségtől függően nagyjából 6 és 12 tonna között mozgott. Vontatásához üres állapotban 6 ló is elegendő volt, töltött formában már 8-10 lóra volt szükség. Mivel a zúzott kővön való munka még így is jelentős amortizációt idézett elő, az 1880-as évektől egyre inkább teret hódítottak az öntöttvas hengerek [4]. Megjelenésük idején alighanem a csodájára jártak egy efféle szerkezetnek, húsz évvel később azonban már másfajta hangok is megjelentek a magyar sajtóban: „*Ki ne ismerné azokat az otromba vashengereket, melyeket hat lóval vontatnak végig az apró kövekkel feltöltött göröngyös utakon, hogy azokat lehetőleg kisimítsák. Ezt a primitív szerkezetet ismerték már Pharaó idejében, a mikor is a technikusok bizonyára törték a fejüket valami új és célszerűbb szerkezet föltalálásán. [...] Nálunk még mindig ezt a kezdetleges hengert használják.*” [5]. Valójában ezalatt a húsz év alatt történt meg a lóhengerek tulajdonképpeni elterjedése, s a vármegyei utakon még a két világháború közti időszakban is meghatározó munkaeszközök maradtak.

A hengerlés menetének leírása szerint a leterített kavicsréteget először üres hengerrel célszerű legalább kétszer-háromszor tömöríteni, majd ezt követően fokozatosan feltölteni. Teljes súllyal lehetőleg 40 fordulás szükséges egy adott szakaszon. Ezt követően a pályát finom zúzalékkal meghinteni, megöntözni, majd újabb hengerlésnek alávetni szükséges. Az egész művelet 4-5 nap alatt végezhető el [6]. Hieronymi megjegyzi, hogy művének kiadása idején az imént bemutatott úthengerek leginkább csak a francia vidéken voltak használatban, Párizs utcáit már ekkor gőzhengerek segítségével „makadámírozták”.

Hieronymi Károlyt 1870-ben osztálytanácsossá, 1872-ben pedig miniszteri tanácsossá nevezték ki. Két év múlva, vagyis 1874-ben, már mint államtitkár-helyettes, később pedig mint politikai államtitkár vezette a jelentőségében egyre emelkedő közlekedési minisztérium ügyeit. 1867 május végén megalakult a Magyar Mérnök-Egyesület, első igazgatójává szintén őt választották meg. Ezt a tisztelet 1867-től 1869-ig viselte, amikor is az egyesület titkára lett. Amikor az egyesület kötelékébe az építészeti kar is belépett és 1872-ben Magyar Mérnök- és Építész-Egylet néven újjáalakult, alelnökként vezette tovább az egyesületet, mégpedig 1873-tól 1885-ig. Mindezt csupán azért fontos kiemelni, hogy egyrésztől láthassuk, a magyar mérnökszakma milyen kiváló képvisellel rendelkezett ekkortájt, másrészt, témánk szempontjából egyáltalán nem elhanyagolható tényező Hieronymi vezetői pozícióba történő megválasztása. Ugyanis erre az időszakra tehető az első gőzüzemű úthenger megvásárlása és

üzembehelyezése Magyarországon, amely a korábbi sorokat olvasva aligha függetleníthető személyétől, még ha nem is egyedül hozzá köthető.

Nem kérdéses, hogy ekkortájt egy ilyen gép megvásárlása leginkább kísérleti jelleget jelenthetett. A századfordulót megelőző évtizedekben Budapest még korántsem világváros, bár az úton már elindult, a fejlesztések látványosak voltak. A nagy volumenű építkezések mellett elég csak arra gondolnunk, hogy már 1864-ben elkészült az első aszfaltjárda, 1870-től, az Aszfaltépítő Rt. megalakulásával ez a technológia is elindul hódító útjára, igaz, a méreteket tekintve a mérleg nyelve még sokáig határozottan és keményen a makadámburkolat irányába billent (az alföldi utak tekintetében az ún. kongó téglá, vagy keramit burkolat is említésre méltó). Ráadásul az 1870-es években a gőzhengerek még Nyugat-Európa nagyobb városainak „látványosságai” voltak, nemhogy a magyar főváros, de a birodalmi központ, Bécs is híján volt ezeknek a szerkezeteknek. Többek között ezért is tarthatta magát évtizedeken át tévesen az a megállapítás, hogy az első ilyen hengerek csupán az 1890-es években jelentek meg Magyarországon [7]. A saját gyártást tekintve ez valóban igaz állítás, azonban az első gőzhengert már húsz évvel korábban, 1873-ban üzembe helyezték, éppen Hieronymi Károly miniszteri tanácsossá való kinevezése idején. Az ötlet azonban nem a minisztériumban hanem a Fővárosi Közmunkák Tanácsában vetődött fel, még 1872-ben, „Páris és London városokban nyert tapasztalatokból” [8].

Az időzítés természetesen nem véletlen. A hetvenes évek elején született döntés a majdani Nagykörút megépítéséről, ennek kiemelt prioritása kapcsán érthető egy modern útépítő gép beszerzésének vágya. Abban is sikerült megegyezésre jutni a testületben, hogy a legmegfelelőbb választás egy, az angol Aveling and Porter cég által gyártott hengerlő gép lenne, ezért felhatalmazták a műszaki osztályt, hogy intézkedjenek a megrendelést illetően [9]. 1872 nyarán már olyan tárgyú értesítés jelent meg a sajtóban, hogy a gép el is készült, csupán szállításra vár, ugyanis nem másutt, mint Londonban gyártották le [10]. Szintén július hónapban olyan hirdetés is megjelent, ahol a „megszerzett” gőzhengerre egy „megvizsgált és tapasztalt gépész kerestetik” [11]. A tapasztalat esetünkben leginkább a gőzgépek fűtése, működtetése kategóriát jelenthette.

A kenti grófságban élő Thomas Aveling (1824-1881) jó műszaki érzékkel rendelkező gazdálkodó volt. 1850-ben már vasöntőként tevékenykedett Rochesterben, majd korábbi munkásságának tapasztalataiból merítve egy gőzekét készített. Egy alkalommal megfigyelte, amint a munkások egy kézi erővel vontatott, betonnal nehezített vashengerrel tömörítették és simították az épülő utat. Ekkor merült fel benne, hogy ezt a koránt sem könnyű munkát önjáró géppel, lokomobillal lehetne helyettesíteni. Aveling egy ilyen mezőgazdasági önjáró gőzgép után akasztható hengert készített, amelyet 1861-ben szabadalmaztatott. A vontató gép érdekessége volt, hogy kormányzását a gép elejére szerelt ötödik kerék segítségével egy erre a feladatra alkalmazott személy végezte. Aveling egy év múlva Richard T. Porter személyében kiváló társat talál, s ezután „Aveling and Porter” céggé váltak nyomot a műszaki történelemben. 1863-ban megszületett kétkerék-meghajtású gőzgépük, majd 1865-ben elkészítették saját gyártású első kísérleti gőzüzemű úthengerüket is. 1867-ben már Liverpool megrendelésére szállítottak egy 22 tonnás úthengert. A következő években a cég sikert sikerre halmozott, ugyanakkor fennmaradt gépeik ma már múzeumi ritkaságnak számítanak [12].

Ettől a vállalattól rendelte tehát a főváros az első gőzüzemű úthengert, s a tudósítások szerint a következő év tavaszára végül meg is érkezett Magyarországra. Próbájára március 26-án a Városligetben került sor és eredményesnek bizonyult [13]. További sorsáról sajnos nem rendelkezünk információval.

Ellenben még ugyanebben az évben sor került egy másik úthenger vásárlásra is, mégpedig a közlekedési minisztérium részéről. 1873. május 1-én nyitotta meg kapuit a bécsi világkiállítás, ahol számos ország és ipari üzemek is képviseltették magukat. A minisztérium küldöttei itt rögtön két gépet is vásároltak az Aveling and Porter cégtől 15.000 Ft értékben: egy lokomobilt két pótkocsival, valamint egy 16 tonnás gőzhengert. Hogy micsoda különlegességnek számított ez a „géplánc” akkortájt, azt mi sem mutathatná jobban, minthogy próbájukat az ekkor éppen Gödöllőn tartózkodó uralkodó, Ferenc József is megtekintette. Az egész eseményről ránk maradt egy részletes beszámoló, amelyet szerencsésnek tartunk teljes egészében közölni:

„A közlekedési minisztérium által a bécsi kiállításon vásárolt útépitési gépekkel e napokban tartattak Musner Antal osztálytanácsos és Éltető [Elek] miniszteri mérnök vezetése alatt a hivatalos próbák A gépek egyike, egy 8 lóerejű közúti gőzmozdony, saját gőzerején kivezettetett a budaörsi úton az úgynevezett "kammervaldi" [ti. kamaraerdei] nagy emelkedéshez és ott hozzá csatolt két teher hordó kocsival, kőszénnel és 1 köböl aprított mészkővel összesen 250 mázsa súllyal megterhelhetvén, a gép azokat a helyenkint 1/10-et, tehát ölenként 7 hüvelyket meghaladó emelkedésen, dacára az út rosszságának akadály nélkül felvonta. Másnap, november 13-án a budai Albrecht úton [14] [ma Hunyadi János utca] a frissen elterített kavicsra a másik gép — egy gőzerőre épített — 162 mázsa súlyú 4,5 lóerejű úthenger munkája volt vizsgálat alá véve, a midőn a király őfelsége Gödöllőről jöve, a gépek munkáját látni kívánta. A gőzhenger azonnal munkába indítható volt, és az új kavicsra akadály nélkül felment a várkapuig és vissza. A gőzmozdony, nem lévén elégséges gőz fejlesztése, a nedves és laza kavicsra mindkét kocsija terhét felvonni nem tudván, csak egyik kocsival, mintegy 120 mázsával tette meg ugyanezen utat. A gépek próbáján Tisza Lajos közlekedési miniszter, báró Podmaniczky Frigyes közmunka tanácsi alelnök, Hieronymi [Károly] államtitkár, Herrich [Károly] és Reuter miniszteri tanácsosok, az államvasutaktól Verderber [István] főfelügyelő és Zimmermann [Frigyes] gépgyári igazgató, a műegyetemtől Horváth [Ignác], Nagy és Szabó tanárok, a fővárosi mérnöki hivatal egy küldötte és a magyar mérnök egyesület számos tagja volt jelen, a gépeket az útépités céljaira jóknak és hasznosaknak nyilvánították, főleg az eddigi kezeléshez mérve tetemes megtakarításokra alkalmasaknak találták. A gépek Aveling és Porter angolországi rochesteri gépgyárosoktól a bécsi kiállításon lettek a szállítási és vámköltségekkel együtt 15000 Ft-on vásárolva, és a gőzmozdony — teherszállító kocsijaival — a mezősegi államutakon Erdélyben kavics szállítására, a gőzhenger pedig a pest-megyei államutakon, az évenkénti fenntartásra kellő kavics simán lehengerezésére fog használni. Az Albrecht úton frissen elterített kavics a gőzhenger által 13-án éjjel 8,5 órai munkaidő alatt lehengerezetett.” [15].

Az ígéretes kezdetek után sajnos semmilyen információval nem rendelkezünk a gépek további sorsát illetően. A dolgok kedvezőtlen alakulására két dologból tudunk következtetni. Egyrészt huszonegy évnek kellett eltelnie, míg újra tudósítás jelent meg a magyar sajtóban gőzhenger által végzett hazai munkával kapcsolatban, másrészt az említett közlés ekképpen hangzott: „Gőzhenger dolgozik pár nap óta a budapesti Kerepesi úton; a kereskedelemügyi minisztérium hozatta az állami utak gondozása, esetleg építése végett. Régi idő óta ez az első gőzhenger hazánkban; remélhetőleg nem jut az évtizedek előtt használtak sorsára.” [16].

A későbbi lapszámokból aztán kiderült, hogy ebben az esetben már korántsem vásárlásról, hanem bérlésről volt szó. A szintén angol gyártmányú Charles Burrell & Sons-féle henger Magdeburgból érkezett és óránként 4 Ft 50 Krajcárért dolgozott az államnak: „négy hengere van, elől egymás mellett kettő 65 cm széles és hátul egymástól fél méterre szintén két egyenként 40 cm széles henger jár, összesen tehát 19 m széles nyoma van. Az első tengely nyomása 6 tonna, a hátsóé 7,5 tonna, összesen szolgálati súlya tehát 13,5 tonna. Eddig naponta 45 m³ zúzott követ hengerezett be, tehát közel 300 m² átlag 15 cm vastagon beágyazott utat, de ez a munkája még fokozható is. Ami a munkáját illeti, igen szépen dolgozik, kevés zajjal jár, könnyen kormányozható; a követ erősen tömöríti anélkül, hogy összezúzná. Remélhető, sőt kívánatos, hogy a henger véglegesen itt maradjon, és hogy Budapest is követi a példát és szerez be ily hengert, mellyel az eddig használt, 6 lóval vont, aránylag könnyű hengerek tökéletlen és sok kezelési kellemetlenséggel is összekötött munkája kiküszöbölhető lenne.” [17]

Az 1890-es években aztán valóban gyökeres változás állt be a gőzüzemű úthengerek magyarországi terjedésével kapcsolatban. A fent említett Burrell-féle géppel nagyjából egyidőben egy másik angol mérnök-vállalkozó, John Fowler is megjelent a piacon, s tette ezt nemcsak nálunk, de az egész közép-európai térségben. A mezőgazdasági gépek, gőzlokomobilok forgalmazását már a nyolcvanas években is sikerrel folytatta, ám a századfordulóhoz közeledve egyre több úthenger dolgozott a fővárosban és az országban. Telephelye 1896-tól Kelenföldön, vasúti pályaudvarral szemben helyezkedett el [18] Fowler ugyan két évvel később meghalt, vállalkozása nem tűnt el, továbbra is stabilan működött.

Az úthengerek terjedése az évtized közepétől természetesen nem csupán a főváros fejlesztésére vezethető vissza. Míg a korábbi dekádokban a folyószabályozások és a vasútépítések álltak az infrastrukturális beruházások élén, 1890-ben hatályba lépett az első úttörvény, így a közutak ügye is kikerült az addigi leginkább „mostohagyermek” szerepkörre hasonlító állapotból. Útmesterségeket, útkaparói állásokat szerveznek országszerte, az útépítések mellett az útfenntartást is elkezdik a megfelelő módon kezelni, „utas témában” egyre több írás jelenik meg a Magyar Mérnök- és Építész Egylet szakmai folyóiratában. Ráadásul 1893-ban a kereskedelemügyi minisztériumban döntés született a 301 km hosszú, Baját az Arad vármegyei Erdőhegygel összekötő első alföldi transzverzális kövesút építéséről, amely 1895 és 1899 között el is készült. A kor embere számára is furcsán hathatott, hogy ekkorra Budapesten már különféle útburkolatokkal kísérleteztek (aszfalt, fakocka, kiskockakő), az ország legnagyobb részére kiterjedő Alföldön az úthálózat kiépítettsége finoman szólva is hiányos volt. Nem elhanyagolható tényező az sem, hogy ezekben az években zajlottak a gabonaválság miatt elharapózó aratósztrájkok, amelyek az alföldi parasztmozgalmak és agrárszocialista szervezkedések megerősödésével jártak. Ezeket a nyilvánvalóan nem csak a kormánypárti, de az ellenzéki urak számára is terhes mozgalmakat akár erőszakkal, akár egyéb eszközökkel is le kellett törni. A jelentős (napszámos, kubikos) munkaerőt lekötő útépítés így politikai szempontból nézve is hatásosnak bizonyult. Az útépítéséről bővebben annak idején Tóth László közölt alapos tanulmányt [19].

A kövesút építése kapcsán a Pesti Napló hasábjain volumenét tekintve a korábbiaktól jelentősen eltérő pályázati hirdetés jelent meg, amelyben a minisztérium több közúti gőzhenger beszerzéséről döntött. Mivel a kiírás számos forrásértékű adatot tartalmaz célszerűnek tartjuk teljes egészében közölni.

„19.614/95. sz. árlejtési hirdetés

Az alföldi transzverzális műút építésénél végzendő hengereléshez szükséges gőzhengerek szállítására, illetve gőzhengerekkel végzendő hengerelési munka biztosítása céljából nyilvános pályázatot hirdet. Nevezett közúton 1895. október 1. és 1897. november 15-ike közötti időben mintegy 142.500 köbméter bazalt, illetve trachyt [szürke, kemény vulkáni kőzet] kavics lesz behengerelendő.

Ehhez képest ajánlat tehető 8 db. gőzhenger szállítására, vagy 4 db. gőzhenger szállítására s a kavicsmennyiség 50%-ának behengerelési munkájához szükséges 4 db. henger bérletére, vagy csupán 4 db. gőzhenger szállítására, vagy végül egyedül a fenti kavicsmennyiség behengerelési munkájához szükséges 4 db. henger bérletére. A hengerek folyó év szeptember 15-ére szállítandók. A beadandó ajánlatban tartozik vállalkozó a közúti hengerek darabonkénti árát, illetve, ha a hengerelési munkához szükséges hengerek bérletére tételik az ajánlat, az egy munkaóraért követelt bérösszeg nagyságát számokban és betűkkel kiírva kitenni.

Gőzhengerek szállítására vonatkozó ajánlatnál az ajánlati összegnek megfelelő 5%-nyi, ha pedig hengerelési munkához szükséges hengerek bérletére tételik ajánlat, minden egyes henger után évi 200 munkanap és napi 11 munkaóra után, az ajánlott óránkénti egységgel számított összegnek megfelelő 5%-nyi bánatpénznek a m. kir. állampénztárnál való letételét igazoló nyugta s a szállítandó gőzhengereknek, illetve azon közúti gőzhengereknek, a minőkkel a munkavégeztetni szándékolatik, szerkezetét és részleteit is feltüntető 15:—1:10-hez való léptékben készített tervrajz, továbbá annak részletes leírása csatolandó, melyben a henger súlyának elosztására, az óránkénti tüzelőanyag és vízfogyasztásra, a henger munkaképességére vonatkozó adatok közlendők és az egyes alkatrészek anyag minősége is ismerttetendő.

Az ajánlatok április 25-ik napjának, délelőtt 10 órájáig, a borítékon »pályázat közúti gőzhengerek szállítására«, illetve »pályázat gőzhengerrel végzendő hengerelési munkára« kitüntetésével, segédhivatali igazgatónál nyújtandók be.

A beérkezett ajánlatok ugyanazon déli 12 órakor az I. B. szakosztályába (Albrecht-út 1.) fognak felbontatni, mely alkalommal az ajánlatot tevők is jelen lehetnek. A versenyfeltételek nevezett szakosztályom 5. ügyosztályában a rendes hivatalos órákban megtekinthetők.

Versenyfeltételek

1. A szállítandó 4, illetve 8 drb. közúti gőzhenger súlyra és méretre nézve egyenlő legyen.
2. A gőzhengerek az angol rendszer szerint négy hengerrel s oly méretekkel tervezendők, hogy a gőzhenger szolgálati súlya 13 tonnánál nagyobb ne legyen és az a két tengelyre akként osztandó el, hogy a hátsó tengelyre az összsúly kétharmadánál több ne jusson.
3. A gőzhenger gőzgépének mikénti szerkesztése és annak a tengelyeken mikénti elhelyezése vállalkozóra bízatik és csupán az köttetik ki, hogy a kazánnak mindazon szerkezeti alkatrészei, a melyek a hengerelési munka kivitelekor használandók, a gépészmunka helyéről kezelhetők és szabályozhatók legyenek, anélkül, hogy a gépész munkahelyet elhagyni s a gépről leszállani kénytelenítették. A gőzgépnek lehető zajtalan működésére különös súly helyeztetik, miért is a compound-szerkezetű gőzgépek hasonló körülmények közt előnyben részesülnek.
4. A gőzkazánra vonatkozólag kikötetik, hogy az a fennállott közmunka közlekedési m. kir. minisztérium által 22.790/86. sz. a. kiadott kormányrendeletben megállapított szabályoknak megfelelően s ettől csak annyiban lehet eltérés, hogy mindkét biztosító szelep közvetlen rugóterheléssel látható el. A kazán, használatbavétel előtt az előirt víznyomási próbának alávetendő és az ezen eljárást igazoló kazánhasználati engedély a gőzhenger szállításakor átadandó.
5. A szállítás egyéb feltételeire nézve az általános feltételek és az 1888. évi 23.791. sz. rendelettel kiadott O jegyű részletes határozatok a mérvadók.
6. A közúti gőzhengerek gyártása, amennyiben hazai gyárban készülnek, gyártelepen ellenőriztetik és elkészültük után azok súlya ugyanott, vagy a budapesti teherpályaudvaron mérlegelés útján, mely alkalommal az egyes tengelyek megterhelése is meghatározandó, jegyzőkönyvileg megállapítatik.
7. A gőzhengerek díj- és vámmentesen Budapesten esetleg valamelyik helybeli később közlendő teherpályaudvarban adandók át.
8. Szállító cég a szállított közúti henger szerkezetéért és jóságáért az ideiglenes átvételtől számított egy évig jótáll oly értelemben, hogy a szerkezet vagy a kivitel meg nem felelő voltából ezen időn belül mutatkozó hiányokat pótolni tartozik. Köteles ez okból a bánatpénzt a szerződés megkötésekor a szerződéses összeg 10%-ra készpénzben vagy óvadékképes értékpapírokban kiegészíteni.
9. A közúti gőzhengerek folyó évi szeptember 15-ig, illetve, ha a szerződés jóváhagyása folyó év május 15-ike után történnék, a jóváhagyás napjától számítandó 4 hónap alatt teljesen elkészítendőek.
10. A közúti gőzhengerek ideiglenes átvétele (felülvizsgálata) akként történik, hogy a gőzhengerrel néhány napra terjedő próbahengerelés végeztetik a végből, hogy annak kezelhetősége a munka közben a gőzgép által okozott zaj nagysága tüzelőanyag és a vízfogyasztása megállapíthatassék. Ezen próbahengerelés a székesfőváros közelében fekvő állami közútszakaszokon fog végeztetni. A próbahengereléshez csupán a kezelő személyzetet szolgáltatja a szállító cég, míg a szükséges szén, olajokat, vizet stb. átvevő adja. A próbahengerelés kedvező eredménye esetében a gőzhengerek ideiglenesen átvétnek, ellenkező esetben visszautasítatnak és a kereskedelemügyi miniszternek jogában áll a szerződést minden kártérítés nélkül felbontottnak kijelenteni, vagy a szállítóval a mutatkozó hiányok eltávolítása esetleg más hengerek szállítására nézve új egyezsége lépni. Ideiglenes átvétel esetén a kereseti összegnek 75%-a az eljárásról felveendő jegyzőkönyv alapján vállalkozónak kifizettetik. A kereseti összegnek további 25%-a azonban csak egy havi tényleges munkaidő után fizettetik ki, ha a hengerek ezen időn belül kifogástalanoknak bizonyultak. Ha ezen egy havi munkaidőn belül a hengereken oly rongálások állanak be, melyek a gőzhengerek szerkezeti hiányaiban gyökereznek vagy a gyártásnál felhasznált anyag hiányos voltára vagy az anyagnak meg nem felelő feldolgozására engednek következtetni, ez esetben tartozik vállalkozó végjárandóságának kiutalása előtt a gőzhengereken szükséges javításokat saját költségén pótoltatni. Ezen kötelezettség alól vállalkozót azon körülmény, hogy a gőzhengerek gyártása gyárilag ellenőriztetett, fel nem menti. A 10%-nyi biztosíték az ideiglenes átvételtől (felülvizsgálattól) számított egy évi határidő után a gőzhengerek kifogástalan karban létét igazoló utóvizsgálati bizonylat alapján lesz folyósítva.

11. A gőzhengereknek Budapestről az alföldi transzverzális műútra való szállítása vállalkozót nem terheli.

12. A hengerelési munka végzésére vonatkozó ajánlatnál tartozik a vállalkozó azon közúti gőzhengerekről, a melyekkel a munkát végezni szándékozik, a rajzokat s ismertetést bemutatni, miként ez az árlejtési-hirdetményben meg van írva. A hengerek súlyára, a súlynak a két tengelyre mikénti elosztására, továbbá a hengerek kezelésére s a gőzkazánra vonatkozólag a versenyfeltételek 2, 3 és 4-ik pontjában említettek ez esetben is érvényesek.

13. Hengerek bérlete esetében köteles bérbeadó a hengerekhez szükséges gépészeket, fűtőket, a tüzelőanyagokat, kenőolajokat, tisztító ruhákat egyszóval mindazt adni, mi a gőzhengerek kezeléséhez és üzemben tartásához megkívántatik, bérlőfél csupán a kazán táplálásához szükséges vízről gondoskodik.

14. Vállalkozó tartozik minden gőzhengerhez egy vizsgázott gépészt és fűtőt állítani, kik a hengerelési munka tartama alatt a gőzhengerrel végzendő hengerelési munka kivételére és a gőzhenger kezelésére vonatkozó folyó év 16.607/1. sz. a. jóváhagyott utasítás II. fejezete értelmében a hengerelés közvetlen felügyeletével meghízott építésvezetőnek esetleg útmesternek közvetlenül alá vannak rendelve.

15. A hengerelési munka az 1895. október 1-én—1895. évi november 15-ike közti időben lévén végzendő, vállalkozó tartozik ajánlatában határozottan kitenni azt, hogy hány gőzhengert, melyik naptól és mely időpontig bocsát rendelkezésre.

16. Vállalkozó a hengerelési munka kivételének biztosítására a letéti 5%-nyi bánatpénz kétszeresét tartozik a szerződésmegkötését megelőzőleg letenni, mely biztosítéka az elvállalt munkák kifogástalan befejezése után vissza fog adatni.

17. A nem teljesen kihasznált munkaidőért, a hengereknek egyik munkahelyről más munkahelyre való szállításáért támasztható követelések, továbbá a munkaidő számba vétele és a részletfizetések kiutalványozása körüli eljárás a fentebb említett folyó évi 16.607/1. sz. a. jóváhagyott utasítás III. fejezetében szabályozva lévén, az ott előadottak jelen vállalatra nézve is kötelező erővel bírnak.

M[agyar]. k[irályi]. kereskedelmi minisztérium” [20]

A pályázat minden bizonnyal eredményesnek bizonyult, hiszen az út végül elkészült, továbbá egy későbbi lapszámban arról olvashatunk, hogy a minisztérium 8 darab 12-13 tonnás, „angol rendszerű” gőzhenger beszerzéséről döntött, amelyek közül 4 darabot meg is kívántak vásárolni. Ettől konkrétabb adatok sajnos nem maradtak ránk²¹

Mikor készült először magyar gyártású gőzhenger?

A fent hivatkozott „árlejtési hirdetmény” számos érdekes adalékot tartalmaz az adott korszak gépészetére vonatkozólag, témánk szempontjából a leglényegesebb félmondat azonban a 6. pontban található: „a közúti gőzhengerek gyártása, amennyiben hazai gyárban készülnek”. Nyilvánvalóan, amennyiben nem állt volna fenn legalább a lehetősége ennek a dolognak, úgy minden bizonnyal bele sem került volna a kiírásba. Ugyanakkor nem jelentette kizárólag a mai értelemben vett magyar, vagy hazai termék kategóriáját, John Fowler kelenföldi telepén például a külföldről ideszállított alkatrészekből szintén készülhetett itt összeállított, de „angol rendszerű” gép. A kérdés tehát továbbra is adott: mikor gyártottak először magyar gőzűhengert? Egyáltalán adható-e kielégítő válasz erre? A „minden bizonnyal”, vagy a „talán” helyett esetleg megpróbálhatjuk árnyalni a képet.

A *Magyar Ipar* című folyóirat egyik 1900-as példánya szerint közúti gőzhenger „*hazánkban nem készül, 38.898/97. sz. miniszteri rendelet alapján lett beszerezve.*” [22]. A rendeletszám alapján mindez 1897-ben történt. Ennek némileg ellentmond, hogy más helyeken viszont határozottan állítják, az 1896-os Millenniumi kiállításán már szerepeltek magyar gyártású hengerek [23]. Böngészve az Ezredéves kiállítás katalógusában, nyugodtan megállapíthatjuk, utóbbi állítás megfelel a valóságnak. Ugyan nem derül ki, hogy pontosan mikor, de minden bizonnyal a korábban hivatkozott 1895-ös pályázat kapcsán

készítette el ajánlatát és konstrukcióját a Ganz és Társa Gépgyár, akiktől a minisztérium 4 darab hengert rendelt meg a transzverzális kövesút építési céljaira [24].

A beszámoló szerint még egy gőzhenger készült, ezt láthatták az érdeklődők kiállítva a kereskedelemügyi minisztérium csarnokában számos más útépitő gép és segédeszköz társaságában. S milyen műszaki paraméterekkel rendelkezett? A forrás erről is beszámol:

„A gőzhenger compound cilinderekkel [ti. henger] bír. Előnyei, hogy az egy cilinderű gépnél jóval kevesebb vizet és szenet fogyaszt, továbbá, hogy zajtalanul jár s némileg több munkát is győz meg.

A teher 1/3-a az első, 2/3-a pedig a hátsó két kerékre esik. A két első henger igen mozgékony, könnyen alkalmazkodik az út egyenetlenségeihez s így a keret sem törhetik el. A két dugattyú ugyanazon keresztfőjre van kapcsolva, hajtórúdra tehát csakis egyre van szükség. A magas és alacsony nyomású cilinder két gőztolattyúja össze van kötve s így csak egy excenterpárral dolgozik.

A csapágyak és fogaskerekek nagyméretűek s a gép a legjobb minőségű vörösfémről és acélból készült. A gép egyébként, mint közúti lokomotív is használható, a gyorsabb járás egy emeltyű segélyével eszközölhető.

A gép 13 tonnát nyom, főméretei a következők: legnagyobb hosszúsága 5.300 mm, legnagyobb szélessége 1.830 mm, legnagyobb magasság a lendítő kerék első éléig 2.360 mm, a kazán munkanyomása 11 atmoszféra, a tűzcsövek száma 40 darab, a tűzcsövek átmérője 447,5 mm, a tűzcsövek hossza 1.270 mm, a fűtőterület 9.38 m², rostélyfelület 0.427 m², a magasnyomású cilinder átmérője 130 mm, az alacsony cilinder átmérője 230 mm, a dugattyú löket hossza 230 mm, az első hengerek átmérője 1.120 mm, az első hengerek szélessége 650 mm, a hátsó hengerek átmérője 1.680 mm, a hátsó hengerek szélessége 400 mm.

A gép tartozékai: 1 kátrányozott ponyva, 1 pár lámpás, 1 rend srófkulcs, 1 csőkefe, 1 kézi kalapács, 1 véső, 1 feszítőrúd, tűzszerszám, 3 vízállásmutató tartalékba, 1 biztosító dugó, 1 tölcsér, 1 veder, 1 olajtartó és 1 olajos kannna.

A nevezett cég e fajta gőzhengert eddig mindössze öt darabot készített, melyből négyet az állam rendelt meg s vett is át.” [25].

Arról, hogy mennyire vált be ez a típus, leginkább a tíz évvel későbbi adatok árulkodnak. 1904-ben „a [Ganz] gyár 12 darabot a kereskedelemügyi m[agyar]. kir[ályi]. minisztériumnak az állami utak építéséhez és fenntartásához, 6 darabot a megyei utak kiépítéséhez és több darabot magánvállalatoknak és városok részére szállított e gépekből.” [26]. Az útépitések felfutásával tehát a magyar gőzhengergyártás is beindult. Ekkorra már némi tapasztalat is felhalmozódott, így például rájöttek, hogy a 17-18 tonnás hengerek ugyan jobban tömörítenek, azonban kis íven nehezebben fordulnak, a vasúti kocsikról való fel- és lerakásuk nehezebb, továbbá vidéken a kisebb teherbírású hidak miatt alkalmazásuk nem lehetséges. A 13-14 tonnás változatok váltak be, ezek óránként 3,5 km makadámút hengerlését tudták teljesíteni, míg üresjáratban óránként 5 km-t tettek meg. Fogyasztását tekintve 1 óra alatt 27 kg szenet használt el, ebben a szénfogyasztásban a kazán felfűtésére felhasznált mennyiség is beleértendő. A vízfogyasztás 1 óra alatt körülbelül 200 liter, az olajszükséglet 0,6 kg hengerolaj, és 1 kg ásványolaj volt. A hengerhez hálókocsi és útfelszakító gép is csatlakozhatott [27]. A gépész minden műveletet a kezelőhelyről el tudott végezni, az eső ellen egy könnyebb szerkezetű tető védte, míg a kémény végére szikrafogó kertült. Az erős kézi szalagfék miatt 10%-nál nagyobb emelkedőn is biztonságosan dolgozhatott. Ilyen paraméterekkel 10 óra alatt mintegy 600 m² felület hengerlését tudta teljesíteni, amennyiben a 70-szeri áthengerlés megvalósult [28]. A hivatkozott lapszámban a hengerről metszet is készült, illetve a Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum archívumában a 774. gyári számú gépről fényképfelvétel is található. Ezek alapján az angol gőzhengerek hatása tagadhatatlan [29].

*

1905-re mind az útépitések mennyisége, mind a gőzüzemű úthengerek gyártása előre haladt, és nem csupán az állami megrendeléseket tekintve. A Magyar Vaskereskedő újságírója által közölt adatok szerint „a kereskedelemügyi miniszter a beruházási törvény keretén belül végrehajtandó közúti

építkezésekhez, illetve az utak egyengetéséhez szükséges gőzhengerek beszerzése iránt is intézkedett és pedig mindazon vármegyékben, amelyekben az építkezések megindultak. Egyelőre mintegy 30 henger fog beszereztetni, amelyek szállítására Ganz és Társa, a Budapesti Szivattyú- és Gépgyár, Frigyes főherceg tescheni gyára, John Fowler és Ruston a Proctor cég pályáztak. Magyarországon eddigelé összesen mintegy 30 gőzhenger van 42.000 kilométer kiépített közúthoz. Ezekből 12 az államé, Budapest székesfővárosé 2, John Fowleré 8, a többi más vállalkozóké, illetve törvényhatóságoké. A vállalkozók 60 korona napi kölcsöndíjért (10 munkaórát számítva) szokták kölcsön adni gőzhengereiket.” [30].

Ebben az évben Pest-Pilis-Solt-Kiskun vármegye törvényhatósága is írt ki pályázatot 2 gőzhenger, 2 lakókocsi és 4 öntözőkocsi leszállítására. Az ajánlattevők listája mindenképpen figyelemre méltó, hiszen megtudhatjuk belőle, hogy a Ganz és Társa mellett a hengergyártás profil ekkor már megvolt a John Fowler és Társa Kelenföld-nél, a Magyar Waggon- és Gépgyár Rt. Győr-nél, Budapesti Szivattyú- és Gépgyár Rt. Budapest-nél, valamint a Beck és Gergely budapesti gyáránál is [31]. A tízes években már Julius Kemna hengerei is megjelentek a piacon, valamint Röck István gyára is bekapcsolódott a termelésbe. A MÁVAG által gyártott gőzúthengerek sikertörténete 1921-től indult.

A századforduló környékére már eljutottak a hírek mellett újabb technológiák is Magyarországra az Egyesült Államokból, ahol a (jellemzően tandem) gőzhengerekkel már nem csak makadám, de aszfaltburkolatot is tömörítettek [32]. 1903-ban a Fővárosi Közmunkák Tanácsa helyt adott a Magyar Asphalt Rt. kérelmének, és engedélyezte, hogy kísérleti jelleggel a Röck Szilárd utcában, majd 1905-ben az Erzsébet téren, [33] továbbá 1906-ban a Szemere utcában egy szakaszon 5 cm vastagságban aszfalt coulé-t [34] terítsen és azt hengerrel tömörítse. 35 Nagyváradon 30.000 m² kiterjedésű területen alkalmazták ezt a technikát ekkortájt, illetve több vidéki városról is cikkezett a sajtó:

„A gőzhengerrel tömörített aszfalt-kocsiutat Amerikában mintegy 3 évtized óta óriási arányokban készítik és abban különbözik a bituminált mészkőből előállított úgynevezett comprimétől, hogy sokkal rugalmasabb, az időjárás változásainak jobban ellenáll és minthogy nem oly csúszós, mint az úgynevezett comprimé-aszfalt [ti. döngölt aszfalt], a forgalom sokkal könnyebben és biztosabban lebonyolítható az ezen rendszer szerint épült útvonalakon. Ezt a rendszert nálunk a Magyar Asphalt Rt. honosította meg és két évvel ezelőtt létesített sikerült próbautakon szerzett tapasztalatok arra indították a különféle hatóságokat, hogy a nagy kiterjedésű utakat már az idén gőzhengerrel tömörített aszfaltburkolattal látták el, így például: Nagyvárad 30.000 m², Újpest 7.000 m², Arad 12.000 m², Szeged 6.000 m², Debrecen próbaképen mintegy 2.500 m², Csorna 11.000 m².” [36].

Ráadás: az első magyar „gőzhenger”

Mindössze egyetlen betű a különbség, mégis merőben más a tartalom. Amikor gázüzemű, vagy fagáz meghajtású úthengerről beszélünk, akkor rendszerint a második világháború éveiben gyártott Martos és Herz hengerek kerülnek szóba, pedig már az első világháború éveiben is készült ilyen szerkezet, igaz, ezesetben egy gőzúthengert építettek át ilyen üzemre, a Martos hengerek pedig eredetileg diesel meghajtásúak voltak.

1916. május 4-én rendkívüli gépbemutatóra került sor a fővárosban a Kék Golyó utcában. A Magyar Királyi Államvasutak Gépgyárának vezetése „mérnökök és jeles szakemberek” jelenlétében leplezte le a rendhagyó konstrukcióban készült, 18,5 tonnás ASTRA névre keresztelt új szívógáz üzemű statikus úthengerét. A tudósítás szerint már régebb óta kísérleteztek a magyar iparvállalatok egy olyan gázüzemű motor előállításával, amely alkalmas lehet lokomobil, esetleg úthenger meghajtására, azonban először az államvasutak gépgyárának sikerült először a megvalósítás. Előbb természetesen mezőgazdasági gépeknél alkalmazták a megoldást, majd szivattyúk, kőzúzók, betonkeverők következtek, végül az ASTRA megépítésére került sor [37]. Műszaki paramétereiről szintén rendelkezünk forrással, amelyek az alábbi táblázatban foglalhatók össze:

1. táblázat: Az ASTRA szívógázüzemű úthenger főbb műszaki paramétereit. Forrás: Vállalkozók Lapja, 1916. május 10. 5. o.

Az ASTRA gáz utihengerlő főbb méretei	
Összsúly teljes felszereléssel	18.500 kg
Tengelynyomás elől	7.280 kg
Tengelynyomás hátul	11.140 kg
Első hengerlők összszélessége	1.600 mm
Első hengerlő átmérője	1.200 mm
Legnagyobb hengerlő-szélesség	2.400 mm
Futókerekek átmérője	2.000 mm
Tengelyközéptávolság	3.700 mm
Futókerekek szélessége	500 mm
Kanyarodási sugár	8,7 m
Sebesség előre óránként	2-4 km
Sebesség hátra óránként	1 km
Teljesítmény	30-35 lóerő
Napi faszén szükséglet	80-90 kg"

A műszaki leírásból kitűnik, hogy a gép vázát egy erős U vaskeret képezi, amelynek a közepére volt rögzítve a 30-35 lóerő teljesítményű fekvő motor, a hátsó részére a gáz fejlesztésére szolgáló generátor a biztonsági adagolóval, közvetlenül mögötte pedig a függőleges elhelyezésű hasábalakú gáztisztító. Utóbbi a generátorból kikerülő gázokat tisztította és hűtötte, hogy onnan egy öntöttvas csövön keresztül a motor beömlő szelepéhez kerüljön. A gáz a hengerbe való beszívása előtt levegővel keveredett. A gázmennyiség elhasználása a motor terheléséhez képest változott. Minél nagyobb volt a motor terhelése, annál intenzívebb a szívás, illetve annál tökéletesebb a generátor működése. Ennek következtében a motor túlterhelése meglehetősen nagy határok között volt megengedhető. A gépkeret elejére rögzítették a hűtőkészüléket, amelyben a henger hűtésére szolgáló víz lehűtve ismét visszakerült a hengerbe, így a motor hűtéséhez csupán annyi friss vízpótlás volt szükséges, amennyi a hűtőnél a szabad levegőn elpárolgott (naponta körülbelül 280—300 liter). A motorról az erőátvitel dörzskapcsoló, lánc és fogaskerék szerkezet segítségével történt, a sebességváltó kerekek acélból készültek és teljesen zárt olajfürdőben forogtak [38]. A szívógázos hengerről fényképfelvétel is ránk maradt.

1. IRODALOMJEGYZÉK

- [1]: Hieronymi Károly: A kőutak fenntartásáról, Emmich Gusztáv kiadása, Pest, 1868, (Reprint kiadás, 2003), 43. o.
- [2]: Uo. 17-25. o.
- [3]: Az Oise megyében használt, a Houyau-féle, a Bouillant-féle, és a Bas-Rhin megyében használt henger.
- [4]: Hieronymi, i. m. 17-18. o.
- [5]: Pesti Hírlap, 1894. szeptember 15. 5. o.
- [6]: Hieronymi, i. m. 24. o.
- [7]: Jasinszky István: Az úthengerek története. In: Tóth László (szerk.): A Kiskőrösi Közúti Szakgyűjtemény Évkönyve 1981. 82. o. ill. Tóth László: Magyarország közútjainak története, Budapest, 1995, 54. o. ill. Töröcsik Frigyes (szerk.): 150 éves a magyar aszfaltútépítés, Magyar Aszfaltipari Egyesülés, Csongrád, 2017, 32. o.
- [8]: Budapesti Közlöny, 1872. február 13. 1. o.
- [9]: Uo.
- [10]: Budapesti Közlöny, 1872. július. 2. 5. o.
- [11]: Budapesti Közlöny Hivatalos Értesítője, 1872. július 23. 16. o.
- [12]: Jasinszky, i. m. 73. o.
- [13]: Budapesti Közlöny, 1873. március 30. 4. o.
- [14]: Véletlenül éppen ebben az utcában volt ekkor a műszaki osztály székháza is.
- [15]: Vasúti és Közlekedési Közlöny, 1873. november 20. 445. o.

- [16]: Építő Ipar, 1894. augusztus 22. 415. o.
- [17]: Építő Ipar, 1894. szeptember 12. 445. o. Nagyobb mennyiségű, összesen 21 darab lóhengert még 1891-ben vásárolt a közlekedési minisztérium.
- [18]: Köztelek, 1896. június 3. 813. o.
- [19]: Tóth László: A Duna-Tisza-Körös közti alföldi transzverzális út építésének története - 1893-1899. In: Tóth László (szerk.): A Kiskőrösi Közúti Szakgyűjtemény Évkönyve 1981. 42-71. o. Link: https://library.hungaricana.hu/hu/view/HidakUtak_Kiskoros_i_evkonyv_1981/?pg=43&layout=s
Hozzáférés: 2023. október 31. 9:54
- [20]: Pesti Napló, 1895. április 9. 14. o.
- [21]: Pesti Napló, 1895. április 18. 10. o.
- [22]: Magyar Ipar, 1900. június. melléklet, 3. o.
- [23]: Tóth László: A Duna-Tisza-Körös közti alföldi transzverzális út építésének története - 1893-1899. In: Tóth László (szerk.): A Kiskőrösi Közúti Szakgyűjtemény Évkönyve 1981. 62. o.
- [24]: Malobiczky János: Közutak. In: Matlekovits Sándor (szerk.): Magyarország közgazdasági és közművelődési állapota ezeréves fennállásakor és az 1896. évi ezredéves kiállítás eredménye 8. kötet, Budapest, 1898, 537-538. o.
- [25]: Uo.
- [26]: Gazdasági Mérnök, 1904. november 24. 372. o.
- [27]: Uo.
- [28]: Uo.
- [29]: Soltész József-Szabó László: A MÁVAG UH-16 típusú gőzúthenger restaurálása. In: Csáki Krisztina (szerk.): A Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum Évkönyve 1. 2009-2011, Budapest, MMKM, 2012, 208. o.
- [30]: Magyar Vaskereskedő, 1905. március 26. 22. o.
- [31]: Magyar Vaskereskedő, 1905. február 19. 19. o.
- [32]: Incze Kálmán: Amerika közútügye. In: A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye, 1905/8. sz. 330-352. o.
- [33]: Fővárosi Közlöny, 1907. november 26. 5. o.
- [34]: Öntöttaszfalt, amelyet bitumen-mész-köliszt-kavics (később zúzalék) tartósabb idejű főzésével, keverésével állítottak elő. (Töröcsik, 2017, 140. o.)
- [35]: Fővárosi Közlöny, 1906. november 13. 4. o.
- [36]: Polytechnikai Szemle, 1905. október 25. 356. o.
- [37]: Vállalkozók Lapja, 1916. május 10. 5. o.
- [38]: Uo.

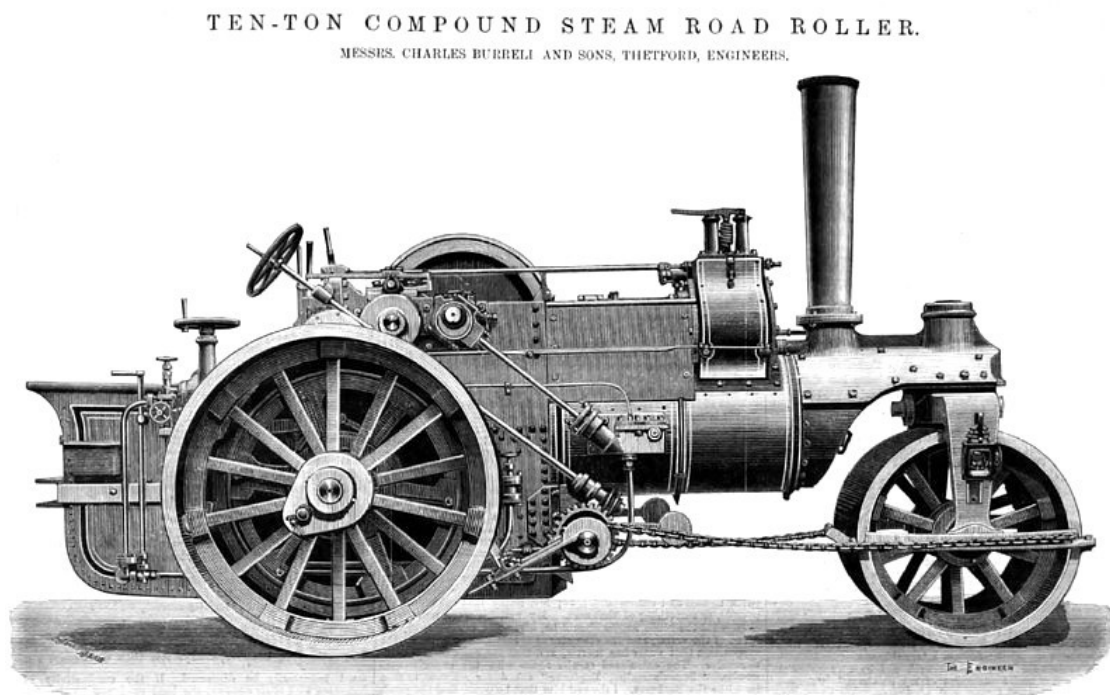
Feldolgozások, monográfiák:

- Csáki Krisztina (szerk.): A Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum Évkönyve 1. 2009-2011, Budapest, MMKM, 2012.
- Hieronymi Károly: A kőutak fenntartásáról, Emmich Gusztáv kiadása, Pest, 1868, (Reprint kiadás, 2003).
- Matlekovits Sándor (szerk.): Magyarország közgazdasági és közművelődési állapota ezeréves fennállásakor és az 1896. évi ezredéves kiállítás eredménye 8. kötet, Budapest, 1898.
- Tóth László (szerk.): A Kiskőrösi Közúti Szakgyűjtemény Évkönyve 1981.
- Tóth László: Magyarország közútjainak története, Budapest, 1995.
- Töröcsik Frigyes (szerk.): 150 éves a magyar aszfaltútépítés, Magyar Aszfaltipari Egyesülés, Csongrád, 2017.

Sajtóforrások:

A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye
Budapesti Közlöny
Építő Ipar
Gazdasági Mérnök
Fővárosi Közlöny
Köztelek
Magyar Ipar
Magyar Vaskereskedő
Pesti Hírlap
Pesti Napló
Polytechnikai Szemle
Vállalkozók Lapja
Vasúti és Közlekedési Közlöny

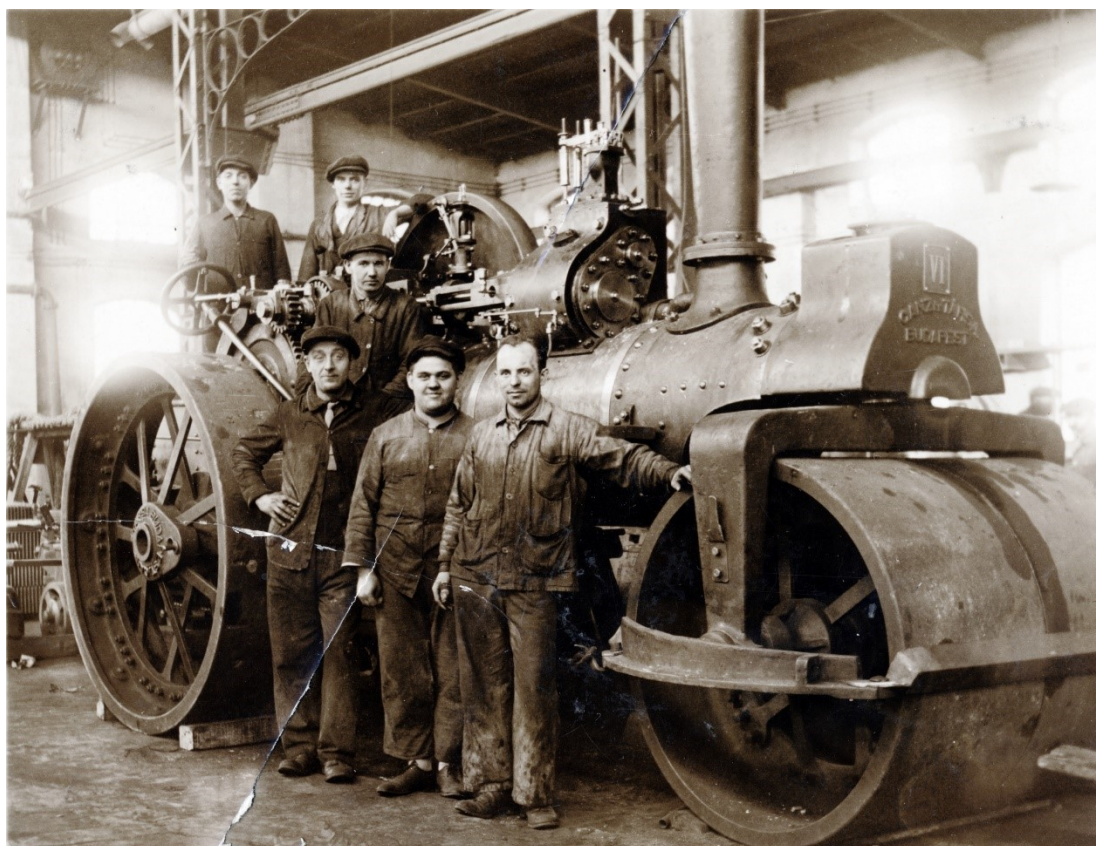
Képek jegyzéke:



1. kép: Lóvontatású vashenger munka közben az első világháború időszakában (Zichy Kúria/Fortepan).



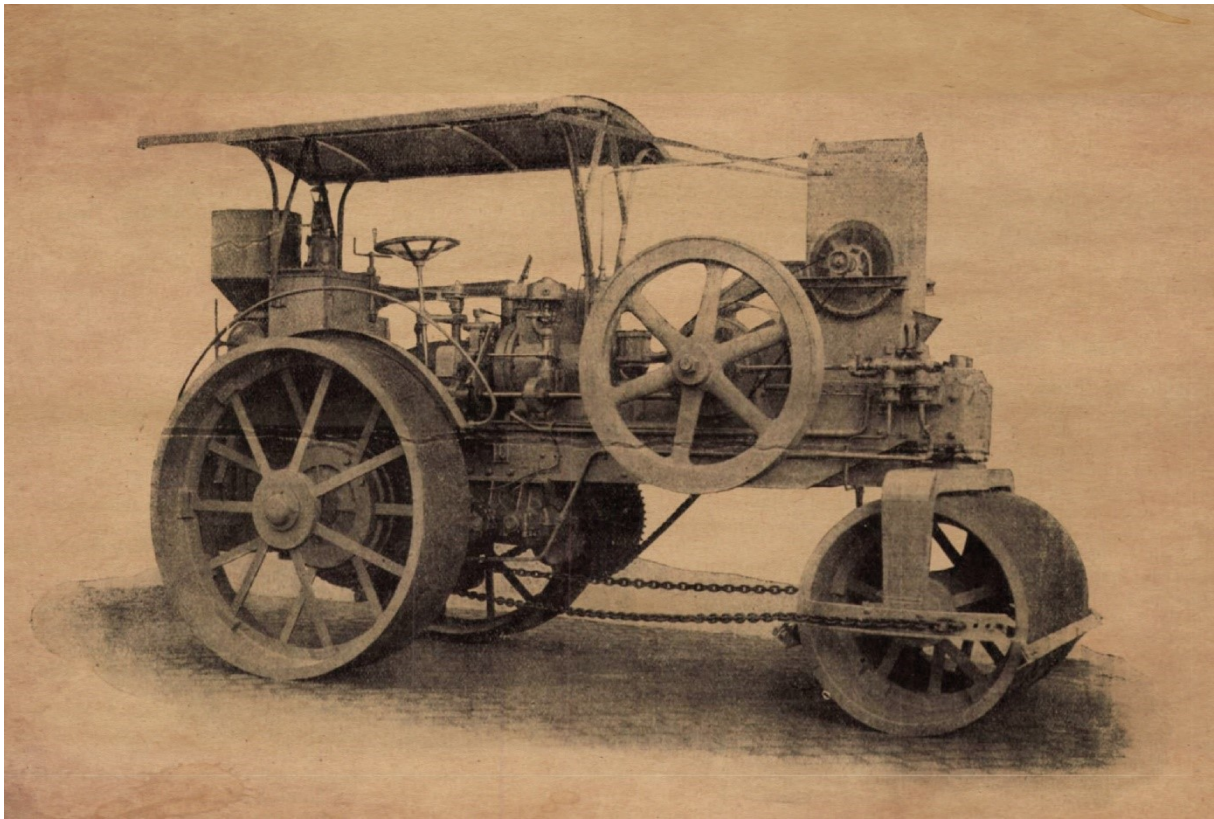
2. kép: A Charles Burrell cég 1891-ben gyártott gőzüzemű úthengere (Internet).



3. kép: Az első magyar gyártású gőzúthenger egy későbbi változata a Ganz gyárban (Fortepan).



4. A John Fowler & Co. Budapest egyik gőzhengere 1896-ban az első alföldi kövesút építése során (Úttörténeti Múzeum).



5. A Magyar Királyi Államvasutak Gépgyára ASTRA típusú fagázüzemű úthengere 1916-ban (Vállalkozók Lapja/Arcanum).



Az Egyesült Királyság útpályaszerkezet-méretezési gyakorlata

Sundis M. S. Taher, Tóth Csaba

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútépítési Tanszék

E-mail: sundis.taher@emk.bme.hu, toth.csaba@emk.bme.hu

DOI: [10.36246/UL.2024.1.06](https://doi.org/10.36246/UL.2024.1.06)

KIVONAT

A cikk az Egyesült Királyságban (UK) legelterjedtebben alkalmazott útpályaszerkezet-méretezési gyakorlat elemzését mutatja be, feltárja a tervezési folyamat során figyelembe vett számos tényezőt, beleértve a forgalmi terhelést, az anyagválasztást és a környezetvédelmi megfontolásokat is. Jelen cikk célja, hogy hozzájáruljon az Egyesült Királyságban alkalmazott tervezési gyakorlat megértéséhez, és hasznos segédletként szolgáljon a magyar közúti infrastruktúra fejlesztésében részt vevő mérnökök, kutatók és döntéshozók számára.

Kulcsszavak: útpályaszerkezet, fenntartható alapanyagok, empirikus tervezés, Highway Agency, CBR

ABSTRACT

This paper provides an in-depth analysis of pavement design practices in the United Kingdom (UK) as outlined in the Highway Agency's Design Manual for Roads and Bridges. It is intended for engineers fresh to the subject of transportation infrastructure. It explores the numerous factors considered in the design process, including traffic loads, materials selection, and environmental considerations. The findings of this paper aim to contribute to the understanding of pavement design practices in the UK and serve as a valuable resource for engineers, researchers, and policymakers involved in transportation infrastructure development.

Keywords: Upper pavement; Sustainable materials; Empirical design; Highway Agency; CBR; Foundation design.

Sundis M. S. Taher

Lecturer and researcher at the university of Duhok/College of Engineering. Ph.D. student at the Budapest University of Technology and Economics (BME). Department of Highway and Railway Engineering/Faculty of Civil Engineering. Interested research areas: Pavement design, Asphalt, Concrete, taking in to account climate change and environmental impact.

Tóth Csaba

A Magyar Mérnöki Kamara, a Közlekedéstudományi Egyesület, a Magyar Útügyi Társaság tagja, jelenleg az BME Út és Vasútépítési Tanszék docense. Korábban a Csongrád Megyei Állami Közútkezelő Kht., illetve az Állami Közúti Műszaki és Információs Kht. osztályvezetőjeként a magyar útügyi adminisztrációban dolgozott. Később a Strabag Konzern mérnökeként részt vett az épülő hazai országos közúthálózat minőségellenőrzésében, valamint a Konzern nemzetközi és hazai kutatásaiban. Közlekedési építőmérnöki szakértőként, tervezőként, illetve műszaki ellenőrként közreműködött számos hazai burkolat-megerősítési projektben. Kutatási területe: hajlékony útpályaszerkezetek igénybevétele, méretezése, teherbíró-képessége, megerősítése. Publikációinak száma: több mint 100.

1. BEVEZETŐ

Az útpályaszerkezetek méretezése a felhasznált anyagok és a rétegvastagságok azon – lehetőség szerint „legjobb” – kombinációjának megtalálása, amely a tervezett élettartam alatt gazdaságosan és biztonságosan képes elviselni a várható forgalmi terhelést. Erre tekintettel az elmúlt 50 évben az aszfaltburkolatok méretezése nemzetközi tekintetben fokozatosan és jelentős mértékben fejlődött, amellet, hogy mindvégig nagy mértékben támaszkodott az empirikus gyakorlatra is. Ennek oka az a tény, hogy a pályaszerkezet tisztán elméleti modellezése a felhasznált anyagok mechanikai tulajdonságainak komplexitása miatt mind a mai napig jelentős kihívást jelent.

Az Útügyi Lapok digitális „hasábjain” időről időre megjelennek a nemzetközi pályaszerkezet méretezési eljárásokat – különböző szempontból és mélységben - áttekintő írások, így olvashattunk korábban az ausztrál [1]), a német [2], az osztrák [3] illetve a dél-koreai [4] módszerekről is. Illeszkedve ebbe a „sorozatba”, jelen cikkben az Egyesült Királyság (UK) egyik pályaszerkezetméretezési eljárását tekintjük át.

Meg kell jegyezni, hogy az alábbiakban ismertetett tervezési eljárás egyáltalán nem kizárólagos az egyesült királyságban, ahol a tervezési módszert általában az út „tulajdonosa” határozza meg. Ez magyar szemmel nagyon szélsőséges tervezői gyakorlat kialakulásához vezet. Az ún. DBFO (design, build, finance, and operate) társaságok nagyon gyakran saját, teljesítményelvű módszereket követnek, de nincs általánosan elfogadott és kizárólagosan alkalmazott módszer a városi utcák és a helyi / kisebb jelentőségű utak számára sem.

Jelenleg az Egyesült Királyságban a pályaszerkezet méretezéshez használt két megközelítés az empirikus módszer és a mechanisztikus-empirikus megközelítés [5]. Empirikus módszer, amely terepi vizsgálatok és kísérletek alapján létrehozott tervezési táblázatok vagy empirikus egyenletek felhasználásával dolgozik. A mechanisztikus-empirikus megközelítés (az Egyesült Királyságban analitikus tervezési megközelítésként is ismert) figyelembe veszi az útburkolat alapvető tönkremeneteli módjait, amikor a kritikus helyeken fellépő rugalmas alakváltozásokat vagy feszültségeket az útburkolat élettartamához viszonyítja.

A teljes angol úthálózat hossza mintegy ~305 000km, (190 000 mérföld), amelyből a kezelő hatóság, a „Highways England” útjai a teljes angol hálózat csupán 2,4%-át teszik ki, azonban a forgalom 33%-a és a teherautóforgalom több mint 50%-a ezen a hálózaton bonyolódik. Ennek is köszönhetően az Egyesült Királyságban a Highways Agency (HA) útburkolat-tervezésre vonatkozó iránymutatásai, a DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES (DMRB) a legelterjedtebbek. Ezek a szabványok jelentős hatást gyakorolnak, különösen az anyagkövetelmények tekintetében a hálózat fennmaradó 95%-ának útjaira, amelyek esetén nincs hasonlóan átfogó iránymutatás. Ezen jelentős kiterjedésű alsórendű hálózatok esetén a kezelők jellemzően a Highways England előírásait használják a szakértelem hiánya és az esetleges kockázatok, peres eljárás elkerülése miatt. Ez gyakran vezet túltervezéshez és/vagy a helyi körülményekre, anyagokra, éghajlatra nem reagáló tervezéshez.

Ennek a sokszínű megközelítésnek is köszönhetően az Egyesült Királyság tervezési szabványaiban az empirikus és elméleti elemzés markáns szintézise jelenik meg. Szemben a korábban ismertetett német vagy osztrák gyakorlattal, az angol eljárás ugyan jellemzően más elvi és empirikus alapokon nyugszik, azonban mint látni fogjuk sokkal komplexebb rendszer és sokkal több analitikus elemet tartalmaz, mint azt talán előzetesen feltételeztük.

Jelen cikk célja, hogy a gyakorló hazai mérnököknek általános áttekintést nyújtson az Egyesült Királyság pályaszerkezet-méretezési előírásairól és az ennek szellemében zajló angol gyakorlatról.

Az áttekintésnek nemcsak az ad külön aktualitást, hogy az angol szabályozás átdolgozásra került 2020-21-ben, hanem a közelmúltban (2024. április) került ki szakmai véleményezésre a hazai szabályozás hasonló eleme, az „Aszfaltburkolatú utak, kerékpárutak, gyalogutak és járdák útpályaszerkezetei” című UME tervezet, amely hatálytalanítani tervezi a 2005-ös „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése” című előírás mellett a „Kerékpárutak, gyalogutak és járdák pályaszerkezete, illetve a „Kisforgalmú utak pályaszerkezetének méretezése” című előírásainkat is, azokat mintegy magába olvasztva.

2. A SZABÁLYOZÁS FELÉPÍTÉSE

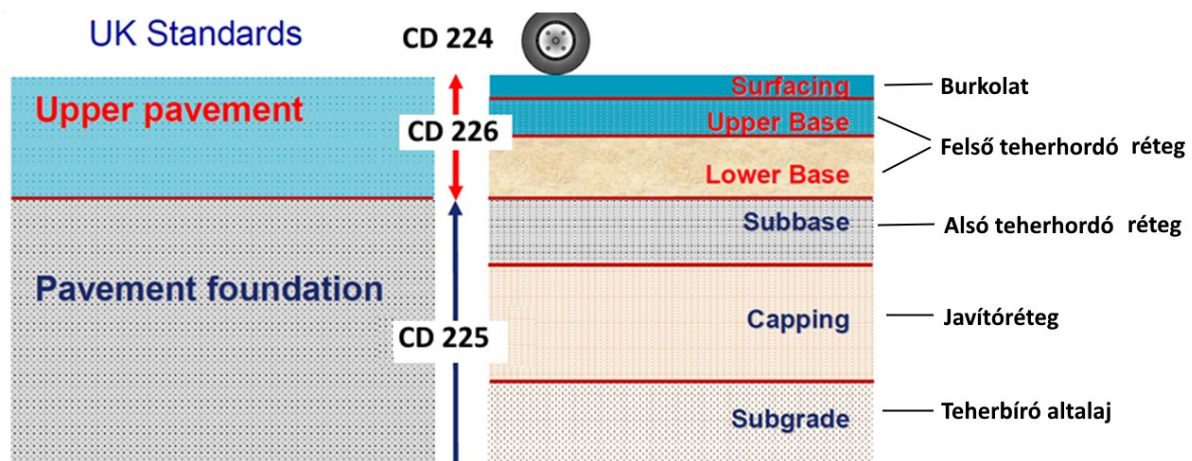
A jelenlegi HA-szabványok alaposabb technológiai ismeretek nélkül is használhatók - megjegyezve, hogy a pályaszerkezetszerkezet tervezés speciális jogosultsághoz kötött a királtságban -, mivel a legegyszerűbb eljáráshoz csupán a földmű CBR-értékei és a várható forgalom nagysága szükséges. Ez lehetővé teszi a burkolat, az alapréteg és az esetleg szükséges teherbírást javító rétegek vastagságának és anyagminőségének meghatározását.

Az angol szabályozás három fő elemre épül:

- a méretezésekorfgyeembe vett forgalmi terhelés meghatározása a „CD 224 Traffic Assessment (2020)”,
- a pályaszerkezet felső rétegeinek méretezése az „CD 226 Design For New Pavement Construction (2021)”, illetve
- a pályaszerkezetet alátámasztó rétegek anyagainak és méreteinek meghatározása a „CD 225 Design For New Pavement Foundations (2020)”

előírások szerint. A jelenleg aktuális szabályozás normaszövege a <https://www.standardsforhighways.co.uk/> weboldalon elérhető.

A pályaszerkezeti rétegek pontos magyar nyelvű megnevezését nehezíti a magyar szabályozásban az elmúlt időszakban tapasztalható terminológiai változás, amelynek zavarairól már írtunk (<https://utugyilapok.hu/2019/02/mit-nevezzunk-burkolatnak/>), ezért a következőkben, ahol szükségesnek tartjuk a rétegeket az eredeti angol elnevezésükkel és esetleg körülírással hivatkozunk. Az érthetőséget és az áttekinthetést azonban az alábbi 1. ábra segíti, ahol a magyar fordítás az „Útügyi szakkifejezések szótára” alapján készült.



1. ábra: Az angol útpályaszerkezeti rétegek elnevezése ([6] alapján).

3. A MÉRETEZÉSI FORGALOM MEGHATÁROZÁSA

A várható forgalmi terhelés mértékének meghatározása a „CD 224 Traffic assessment” című előírás alapján történik, amely 2020-ban lépett a „HD 24/06” előírás helyébe. A Highways Agency (HA) tervezési dokumentuma az alábbi egyenleteket (1), (2) használja a tervezési forgalom millió egység tengelyben (MSA=million standard axles) történő kiszámítására.

A súlyozott éves forgalom:

$$T_c = 365 \times F \times G \times W \times 10^{-6} \quad (1)$$

és ez alapján a méretezési forgalom:

$$T = \Sigma T_c \times Y \times P \quad (2)$$

Ahol:

T_c: a méretezési forgalom (millió egység tengely)

F: az éves átlagos napi teherforgalom egy irányban (AADF),

Y: a tervezési időszak,

G: a növekedési tényező,

W: a terhelési tényező,

P: a haszongépjárművek (CV= commercial vehicle) százalékos aránya a legterheltebb sávban.

A fő különbség a hazai gyakorlathoz képest, a rongáló hatás mértéke nem az itthon megszokott 5. hanem a 4. hatvánnyal kerül figyelembevételre, illetve az egység tengelyterhelés nem 100, hanem 80 kN. Ennek köszönhetően a Magyarországon megszokott járműátszámítási szorzóknak megfeleltethető ún „terhelési tényező” (W) értéke 8 tonnás tengely esetén 1,00; az alapképlete pedig:

$$W = 0,0002 \times [Axle Load]^4 \tag{3}$$









A forgalom rongáló hatását a különböző járműkategóriák függvényében kifejező terhelési tényező értékeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A haszongépjármű-osztályok és -kategóriák terhelési tényezői ((forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

	Maintenance W _M	New W _N
Buses and coaches	2.6	3.9
2-axle rigid	0.4	0.6
3-axle rigid	2.3	3.4
4-axle rigid	3.0	4.6
3 and 4-axle articulated	1.7	2.5
5-axle articulated	2.9	4.4
6-axle articulated	3.7	5.6
OGV1 + PSV	1.3	1.9
OGV2	3.2	4.9
All commercial vehicles (70% OGV2)	2.7	4.0

Hazai szemmel a táblázat különlegessége, hogy különbséget tesz új pályaszerkezettervezés, illetve felújítástervezés között és más-más tényezőket alkalmaz. Az eljárásban minden 3,5 tonna össztömeg feletti jármű figyelembevételre kerül, a 2. táblázat szerinti járműkategóriák alapján.

2. táblázat: Tehergépjármű-osztályok és -kategóriák ((forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

Commercial vehicle (cv)	cv class*	cv category
	Buses and coaches	PSV
	2-axle rigid	OGV1
	3-axle rigid	
	3-axle articulated	OGV2
	4-axle rigid	
	4-axle articulated	
	5-axle articulated	
	6 (or more) axle articulated	
*classified by axles in contact with the road PSV = Public service vehicle OGV = Other goods vehicle		

A biztonság javára történő megkötés, hogy az OGV2 járművek aránya nem lehet kevesebb, mint 70 százalék. A forgalomfejlődés mértékének becslése a 3. táblázatban foglaltak szerint történik.

3. táblázat: A jövőbeli forgalom növekedési tényezői (G) (forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

Design period (years)	5	10	15	20	25	30	35	40
OGV1 + PSV	1.02	1.05	1.08	1.11	1.14	1.17	1.21	1.24
OGV2	1.04	1.10	1.16	1.23	1.30	1.37	1.46	1.54
All commercial vehicles	n/a							1.45

A tehergépjárművek feltételezett aránya a legterheltebb forgalmi sávban szintén input paraméter, meghatározását a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: A tehergépjárművek feltételezett aránya a legterheltebb forgalmi sávban (forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7]. (Első oszlop: forgalmi sávok, egy irányban. Második oszlop: tehergépjármű átlhaladás naponta).

Number of lanes (in one direction)	Flow (F) (cv/day)	P (%)
2 or 3	Up to 5,000	$P = 100 - (0.0036 \times F)$
	Over 5,000 up to 25,000	$P = 89 - (0.0014 \times F)$
	Over 25,000	$P = 54$
4 or more	Up to 10,500	$P = 100 - (0.0036 \times F)$
	Over 10,500 up to 25,000	$P = 75 - (0.0012 \times F)$
	Over 25,000	$P = 45$

Az előírásból származó mintaszámítást tartalmaz az 5. táblázat, amely jól szemléletes az eljárás elvi felépítést és könnyű gyakorlati alkalmazhatóságát.

5. táblázat: Számítási példa (forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

Haszongépjármű kategória (CV)	Becsült éves átlagos napi forgalom (F)	Növekedési tényező (G) (40 év)	Terhelési tényező (W)	Éves teherforgalom (Tc)
OGV1+PSV	360	1.24	1.9	0.31
OGV2	840	1.54	4.9	2.31
Teljes napi forgalom (haszongépjármű/nap)	1200	Teljes éves teherforgalom		2, 62 millió egységtengely
		A tehergépjárművek aránya a legterheltebb sávban (P)		95.7%
		Tervezési időszak (Y)		40 év
		Méretezési forgalom (T)		100 millió egységtengely

4. A JAVÍTÓ ÉS AZ ALSÓ TEHERHORDÓ RÉTEGEK MÉRETEZÉSE (FOUNDATION DESIGN)

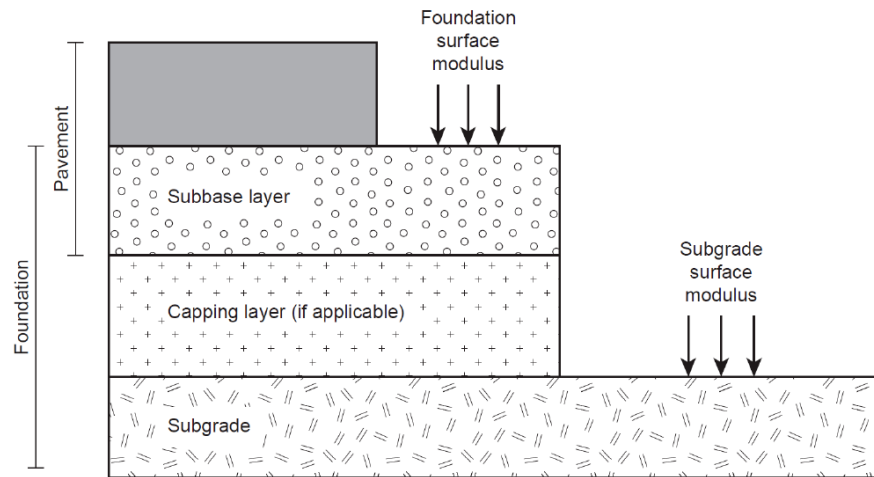
A pályaszerkezet alsó teherhordó rétegének, illetve szükség esetén a földmű felső rétegének tervezése a 2020-tól hatályos „CD 225 Design for new pavement foundations” cím előírás alapján történik, amely a korábbi előírások, az IAN 73/06 revision 1 (2009) illetve a HD 25/94) helyébe lépett.

A „foundation design” alapvetően két tervezési megközelítést alkalmaz:

- Korlátozott tervezési megközelítés (restricted design), amely az alsóbb rétegek elvárt teljesítményét a jól ismert anyagok korlátozott választékának alkalmazásával garantálja.
- A teljesítménytervezési megközelítés (performance design) jelentős mozgásteret biztosít a tervező számára a felhasználható anyagok tekintetében, azonban a teljesítménykövetelmények teljesülését vizsgálatokkal kell igazolni.

Elkülöníthető még egy harmadik megközelítési mód is, amely meglévő pályaszerkezetek szélesítése esetén alkalmazható, és a fő hangsúly a maradó pályaszerkezet és a szélesítés közötti, a felszín alatti vízvezetés folytonosságának biztosítására vonatkozóan ír elő további követelményeket.

A „foundation design” feladatát a 2. ábra szemlélteti: az altalaj teherbíróképesség és a tervezői döntés nyomán az alsó teherhordó réteg felszínén elvárt felületi modulus ismeretében, határozzuk meg az alsó teherhordó réteg anyagát és vastagságát, szükség esetén javítóréteg betervezésére támaszkodva.



2. ábra: Az alsó teherhordó réteg tervezésének kiinduló paraméterei (forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

A tervezés kiinduló paramétere az altalaj várható teherbíróképességét kifejező felületi modulus, amely CBR férések alapján az alábbi egyenlettel becsülhető:

$$E = 17,6(CBR)^{0,64} \tag{4}$$

Ahol:

E: becsült felületi modulus (MPa)

CBR: altalaj CBR értéke (%)

Hangsúlyozzuk, hogy az egyenlet 2-12% -os CBR érték között értelmezhető. A CBR mellett az angol gyakorlatban előszeretettel alkalmaznak még különböző szondákat (pl. Dynamic Cone Penetrometer) illetve könnyű ejtősúlyos berendezést, amelyekkel szintén megadható az altalaj modulusa. A 30 MPa-nál kisebb várható altalaj felületi modulus esetén a réteg javítása szükséges (talajcsere, talajstabilizáció, georács, ... stb).

Ez követően, a tervező kiválasztja a megcélzott „alap teherbírási osztályt” a 6. táblázat szerint. Jó látható, hogy a magyar tervezői gyakorlatban megszokott 40 MPa-os értéken jóval túlmutatnak az egyes elvárt értékek. A filozófia egyértelmű: minél „lentebb”, minél olcsóbb anyaggal növeljük a teherbírást, annál vékonyabb, „drága” aszfaltrétegre lesz szükség.

6. táblázat: Alap teherbírási osztályok. Második oszlop: hosszú távon elvárt felületi modulus (forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

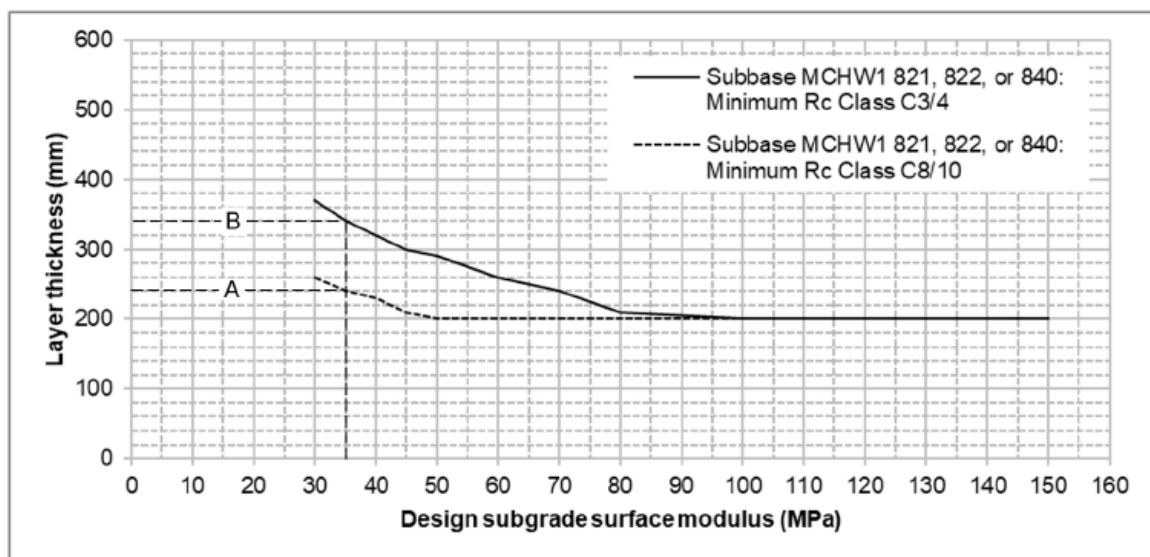
Foundation class	Assumed long-term confined foundation surface modulus (MPa)
1	≥ 50
2	≥ 100
3	≥ 200
4	≥ 400

Az 1. osztály követelménye jellemzően egy javító réteggel (capping) is megvalósítható, a 2. osztály szemcsés (subbase), a 3. osztály már „gyenge” hidraulikus, míg a 4. osztály már „erős” hidraulikus alsó teherhordóréteget igényel.

4.1. KORLÁTOZOTT TERVEZÉSI MEGKÖZELÍTÉS (RESTRICTED DESIGN)

A „restricted design” alkalmazása néhány jól definiált anyag kiválasztásán alapul, ahol az egyes rétegek névleges tervezési vastagsága tervezői grafikonokról olvasható le és a kapott értéket a legközelebbi 10 mm-re kell kerekíteni. Ebben a megközelítési módban a 4. osztály nem választható, illetve 20 millió egységtengely felett az 1. osztály sem tervezhető.

Az eljárást egy egyszerű mintapéldán keresztül szemléltetve, tételezzük fel, hogy az altalaj – hosszú távon fenntartható – tervezési modulusa 35 MPa, a választott alap teherbírási osztály a 3., ahol az elvárt felületi modulusérték 200 MPa. A 3. ábrán látható görbéket alkalmazva leolvasható, hogy „A” esetben a szükséges vastagság - Manual of Contract Documents for Highway Works (MCHW) szerinti 821, 822 vagy 840 azonosítójú - C 8/10 betonminőségű réteg esetén 240 mm, míg gyengébb anyagminőség, pl. C 3/4 az előírt vastagság 340 mm lesz.



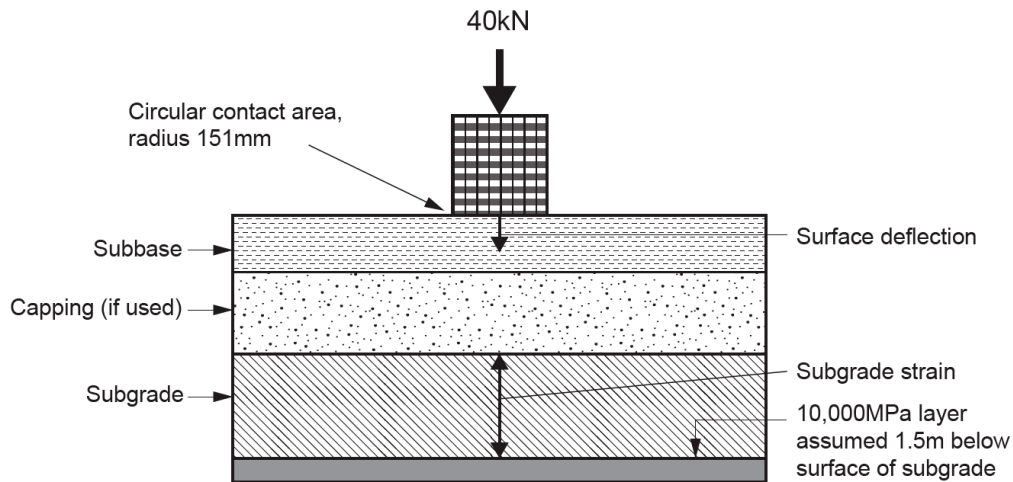
3. ábra: Méretező görbe. Y tengely: milliméterben kifejezett rétegvastagság, x tengely: földmű felszín tervezett modulusa (mPa), (forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

Ebben a példában is tetten érhető az angol rendszer komplexitása, hiszen míg a magyar gyakorlatban a méretezés során rögzített anyagparaméterek és a kivitelezés során majd alkalmazandó műszaki szállítási feltételekben és tételrendben kiírt követelmények között tátong némi rés, addig az angol szabályozás finomhangolása figyelemre méltó.

4.2. TELJESÍTMÉNYTERVEZÉSI MEGKÖZELÍTÉS (PERFORMANCE DESIGN)

A megközelítés lényege, hogy a tervezési vastagságo(ka)t analitikusan, többrétegű lineáris rugalmas analízis alkalmazásával kell levezetni, amely során a felületi behajlást és az altalaj összenyomást kell vizsgálni. „Performance design” esetén nem az anyagválasztás, hanem a rétegmodulusok a fő input adatok, amelyeket egy ún. próbaépítésen kell validálni.

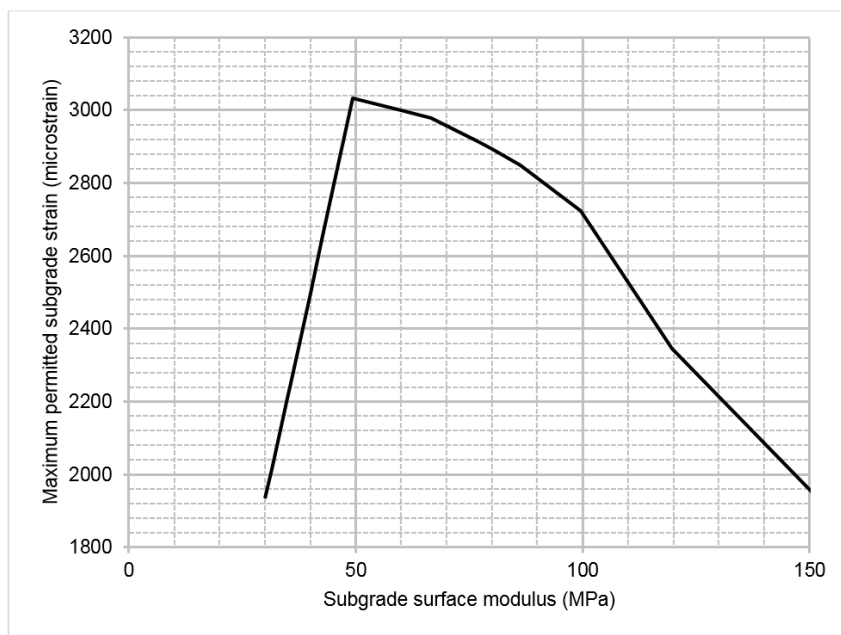
A „foundation design” elvi felépítését a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra: Performance design (teljesítmény tervezés) input paraméterei (forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

Általános követelmény továbbá, hogy az 1. és 2. osztályú alap esetén a minimális vastagsága 150 mm, 3. osztály esetén 180 mm kell legyen, míg a 4. osztályú alap esetén pedig 200 mm a minimális vastagság.

Az altalajon a megfelelő felületi modulus értékéhez tartozó függőleges alakváltozás nem haladhatja meg a 4. ábrán látható határértékeket.



5. ábra: Az altalaj alakváltozásának határértékei. X tengely: földmű felszíni modulus, y tengely: Maximálisan megengedett földműigénybevétel (forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

Követelmény még továbbá a felületen mért maximális alakváltozás az egyes osztályok esetében egységterhelés (40 kN terhelés egy 151 mm sugarú terhelt területen) alatt, amelyek értéke:

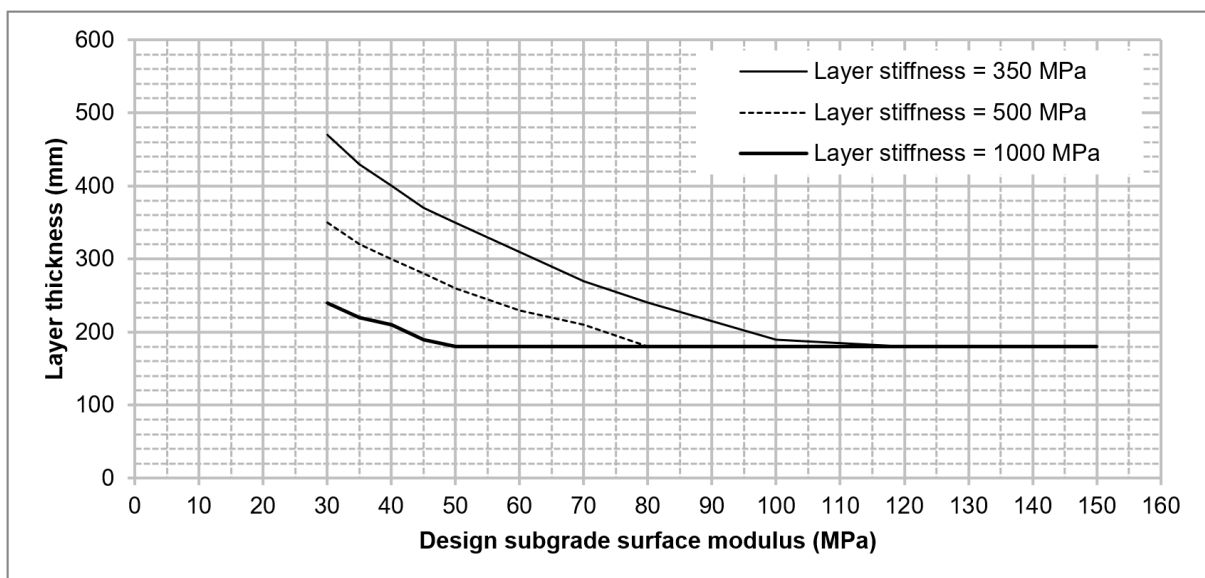
- Foundation class 1 esetén - 2.96 mm;
- Foundation class 2 esetén - 1.48 mm;
- Foundation class 3 esetén - 0.74 mm;
- Foundation class 4 esetén - 0.37 mm.

Az eljárás alkalmazásához nem kell minden esetben egyedi modellt építeni és számolni, a gyakorlati alkalmazást néhány, a gyakorlatban gyakran előforduló esetre vonatkozóan előzetesen kiszámolt méretező görbe segíti, az alábbi 7. táblázat szerinti paraméterekkel.

7. táblázat: Az előzetesen kiszámolt méretező görbék kidolgozásának input adatai. Második oszlop: alap teherbírési osztályok. Harmadik oszlop: szerkezet típus (egyréteg vagy javítórétegre fektetett földmű). Negyedik oszlop: rétegmerevség (forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

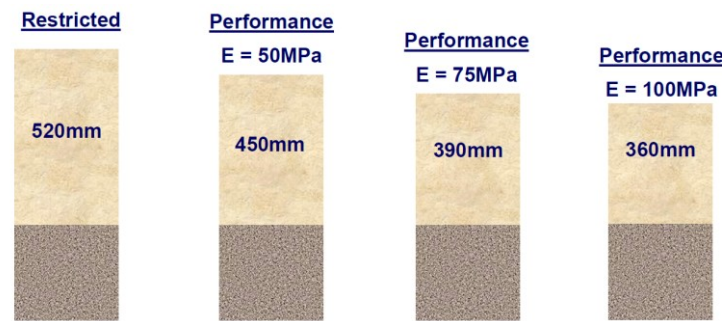
Figure	Foundation class	Construction type	Layer stiffness (MPa)
A.1	1	Single layer	50, 75
A.2	2	Single layer	120, 150, 350
A.3	3	Single layer	350, 500, 1000
A.4	4	Single layer	1000, 2000, 4000
A.5	2	Subbase on capping	Capping – 75 Subbase – 120, 150, 350
A.6	3	Subbase on capping	Capping – 75 Subbase – 350, 500, 1000
A.7	4	Subbase on capping	Capping – 75 Subbase – 1000, 2000, 4000

Az eljárást szintén egy egyszerű mintapéldán keresztül szemléltetve, tételezzük fel, hogy az altalaj – hosszú távon fenntartható - tervezési modulusa 35 MPa, a beépíteni tervezett anyag rugalmassági modulusa (E_c)= 3500 MPa. A rétegmerevség becsléshez vegyük az anyag 20%-os E_c értékét, így a rétegmerevség = 700 MPa. A választott alap teherbírési osztálya legyen a 3., ahol az elvárt felületi modulusérték 200 MPa. Az alábbi, 7. ábra látható görbéket alkalmazva leolvasható, hogy az 500 és az 1000 MPa rétegek közé interpolálva a 700 MPa-os görbét, a szükséges vastagság 260 mm.



6. ábra: Teljesítmény tervezési lehetőségek - 3. osztályú alap és egy réteg esetén. Y tengely: rétegvastagság, x tengely: tervezett földmű felszín modulus (forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

A két megközelítés között különbség jól szemlélthető az alábbi ábra segítségével (Dawson, 2019) [6].



7. ábra: A két megközelítés közötti vastagsági követelmény különbségek szemléltetése (Dawson, 2019) [6].

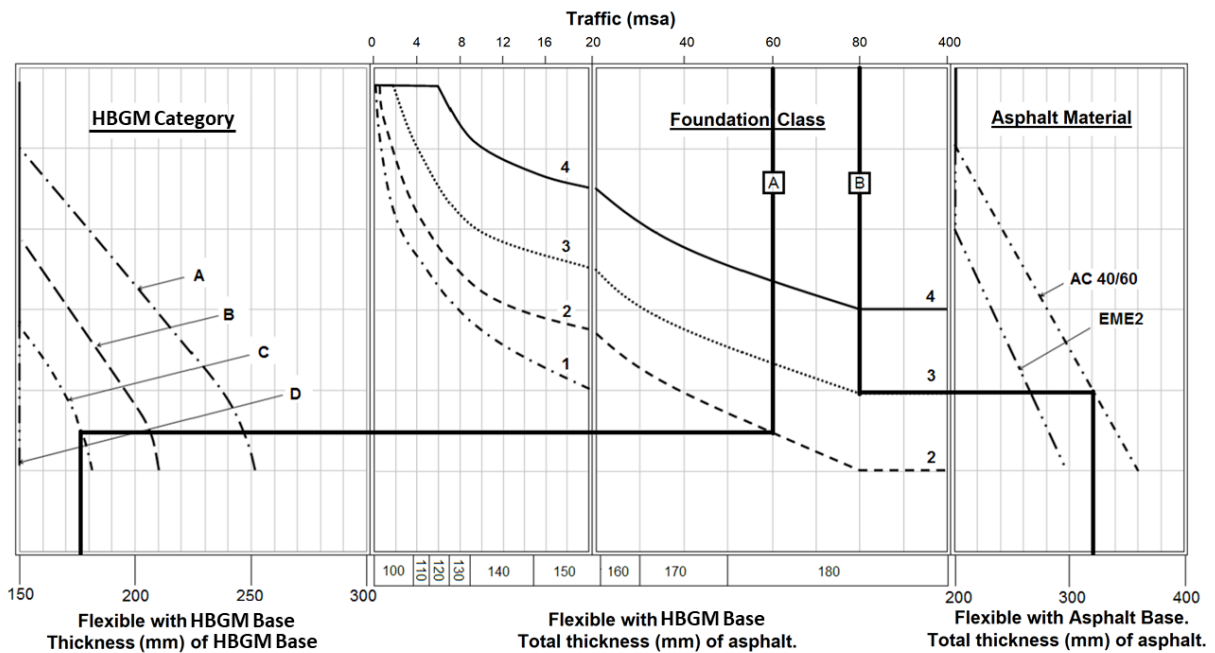
3 %-os CBR értékkel, azaz 35 MPa-lal jellemzett teherbíró altalaj esetén, ha az 1. alap osztály célozzuk meg, amely esetén a felületi modulus követelmény 50 MPa, a korlátozott megközelítést alkalmazva a szükséges alsó teherbíró rétegvastagság 520 mm. A teljesítmény tervezés alkalmazása esetén növelve a beépíteni tervezett anyagminőséget (50-75-100 MPa), a szükséges vastagság csökkenése látható.

Fontosnak tartjuk hangsúlyozni az angol szabályozás szemléletének azon szeletét, miszerint az alsóbb rétegekben rejlő potenciális teherbíróképesség kiaknázására törekszik és ennek érdekében egy – Magyarországon gyakorlatilag ismeretlen – szakterületet alakít ki: foundation design. Sajnos hazánkban a geotechnikát és az aszfalttechnológiát átvitt és valós értelemben is összekötő terület hiányzik, a stabilizációk kutatása, vizsgálata, tervezése évtizedes fehér folt. Jól példázza ezen fenti állítást a majd fél évszázada legkedveltebb magyar alapréteg – a „Ck_i”- mostoha sorsa, amellyel kapcsolatos műszaki és tudományos ismereteink jó része még mindig az 1980-as évekből és a KTI-ből származik.

5. A FELSŐ RÉTEGEK MÉRETEZÉSE (PAVEMENT DESIGN)

Az útpályaszerkezet felsőbb rétegeinek tervezése a „CD 226 Design for new pavement construction” cím előírás alapján történik, amely 2021-ban lépett a „HD 26/06” előírás helyébe. Ez a viszonylag terjedelmes normaszöveg mintegy 94 oldal és az aszfaltburkolat mellett a betonburkolatokkal is foglalkozik. Az aszfaltburkolatok alaprétegeinek vonatkozásában az eljárás alapján két szerkezet választható: az itthon is ismert ún. full-depth, azaz teljes aszfaltszerkezet, illetve a hidraulikus alaprétegre épített aszfaltburkolat, az ún. félmerev szerkezet. A korábbiakhoz képest ugyan csökkent a választható aszfaltfajták száma, de ez csak elméletben igaz, valójában a már nem igazán használt típusok kerültek ki az eljárásból. Ennek köszönhetően a választható aszfaltfajták köre az aszfaltbetonokra (AC 40/60) és az ÉME2-re (Enrobés á module elevé) korlátozódik. Aszfalt alaprétegek esetén az ÉME2 mellett kétféle aszfaltbeton tervezhető: az „AC 32 dense base 40/60” illetve az „AC 32 HDM base 40/60”. A HDM jelölés a „Heavy Duty Mixture” kifejezést, azaz egy nagyobb forgalmi terhelés elviselésére tervezett keveréket takar. Kötőrétegek vonatkozásában szintén tervezhető ÉME2, aszfaltbetonok esetén pedig a 32-es maximális szemnagyságú keverékek mellett megjelennek a 20-as d_{max} -ú keverékek is. Bizonyos esetekben a fentiekén túlmenően tervezhető SMA (=stone mastic asphalt, magyarul zúzalékvázás masztixaszfalt) és HRA (Hot Rolled Asphalt) keverék is. A félmerev szerkezetek alaprétegei hasonlóak a magyar gyakorlathoz, a hidraulikus rétegek kötőanyagaként a cement mellett megengedett más kötőanyag, mint például a pernye és négy különböző anyagminőség választható (A-D).

Ismét tekintsünk egy mintapéldát az alábbi, 8. ábra látható nomogram alkalmazásához.



8. ábra: Méretező nomogram az aszfaltburkolatú pályaszerkezetek tervezési vastagságának meghatározásához. (forrás: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>) [7].

Az „A” (félmercv) esetben legyen a méretezési forgalom 60 millió egységtengely, a választott alap teherbírási osztály pedig a 2. A nomogramon ábrázoltak szerint „C” típusú hidraulikus alaprteget választva a szükséges teljes aszfaltvastagság 180 mm, a szintén 180 mm vastag alaprteget esetén.

A „B” (full-depth) esetben a méretezési forgalom: >80 millió egységtengely (ún. long life szerkezet), a választott alap merevségi osztály szintén 2. A nomogramon ábrázoltak szerint aszfaltbetont választva, a szükséges vastagság ebben az esetben 320 mm.

A nomogram egyszerű alkalmazhatósága jól szemlélteti – reméljük el is oszlatja azon hazai aggodalmakat – miszerint az egyes pályaszerkezeti rétegek és aszfaltfajták között meglévő minőségi teljesítmény különbség csak rendkívül bonyolult és nehézkesen alkalmazható eljárások segítségével vehető figyelembe.

Megemlítjük, hogy az eljárás lehetővé teszi az alternatív méretezési eljárás, az ún. analitikus méretezés alkalmazását is, annak kereteit rögzíti, de részletes eljárást nem közöl, csak hivatkozik Transport Research Laboratory vonatkozó kiadványaira. Módszert ad azonban a teljes életciklus költség meghatározására, illetve az úthasználó időveszteségek költségesítésére is, amely eljárásokkal különböző pályaszerkezeti variációk összehasonlíthatóságát teremti meg. Ezen utóbbi elemek hazai tanulmányozása különösen fontos lenne, hiszen az egyes szerkezetek műszaki és/vagy gazdasági összehasonlíthatóságának módszertanával a magyar műszaki szabályozás régóta adós. Kidolgozásra és publikálásra kerültek ugyan hazai analitikus méretezési eljárások, pl. [8], az elvek gyakorlati hasznosságát, hazai alkalmazhatóságát bemutató cikkek, pl. [9], sajnos a nyolcvanas évek technológiai színvonalán kidolgozott magyar típuspályaszerkezet rendszer és gyakorlat korszerűsítése még várat magára.

Érdemes a szabályozás belső koherenciájára is figyelni, hiszen amíg a magyar szabályozás, amely érzékelhetően az UME darabszámok csökkentését is célul tűzte ki, gyakran horizontálisan von össze szabályzó elemeket, addig az angol vertikálisan. A horizontális összevonásra jó példa „Aszfaltburkolatú utak, kerékpárutak, gyalogutak és járdák útpályaszerkezetei” UME tervezett, amely jól szemlélteti, hogy látszólag igen, de valójában nagyon nem összetartozó területeket milyen nehéz is egy egységes normaszöveggé gyúrni, lásd az autópályák aszfaltszerkezeteivel nehézkes együtt tárgyalni a járdák aszfaltburkolatát. Ezzel szemben az angol szabályozás a méretezés komplexitására tekintettel, az eljárás könnyed alkalmazhatósága érdekében a tervező számára szükséges összes geotechnikai,

kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú, illetve aszfalttechnológiai szabályozó elemet az eljárás alkalmazásának megfelelő pontján tárgyalja. Célszerű lenne az ilyen értelemben is fragmentált, szakterületekre szétválasztott hazai szabályozást, legalább a pályaszerkezet méretezési UMÉ-ban egységesíteni, hogy ne kelljen 6-8 – különböző korú és színvonalú - műszaki előírásból összeállítani a méretezéshez és tervezéshez szükséges információkat.

6. KÖRNYEZETI SZEMPONTOK A PÁLYASZERKEZET TERVEZÉSÉNél

6.1. ÉGHAJLATVÁLTOZÁSHOZ VALÓ ALKALMAZKODÁS

Az egyre nagyobb mértékben kibontakozó globális klíma instabilitás egyre nagyobb kihívás elé állítja az emberiséget és ezen folyamatok káros hatásai nem hagyhatók figyelmen kívül útgazdálkodási szempontból sem. A közúti közlekedési infrastruktúra minden országban ki van téve a különböző időjárási szélsőségeknek, például a hőmérséklet, a csapadék, a szél, a zivatarok, a fagy, az olvadás, a látótávolság-változás, a tenger/vízszint és a ködnapok ingadozásának [10] és ezek a hatások káros hatással vannak az utak élettartamára. Ismereteink ezen a területen még meglehetősen korlátozottak, sajnos a közlekedési ágazat éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodását célzó tanulmányok száma még mindig nem kielégítő, annak ellenére, hogy az elmúlt évtizedekben rengeteg kutatás folyt a témában [11]. A szakirodalom szerint a leggyakoribb éghajlati „stresszorok” a hőmérséklet, a csapadék, a talajvíz, a felhőzet és a szélsébség [12]. A hőmérséklet és a nedvesség van általában a legnagyobb hatással az útburkolatok teljesítményére, és ezek az éghajlati stresszorok komoly hosszú távú hatásokkal járhatnak [13], [14]), ezért szükség lehet a jelenlegi tervezési, építési és karbantartási eljárások módosítására, hogy alkalmazkodni tudjanak ezekhez a változásokhoz [13].

A jelen eljárás ugyan konkrét klímaadaptációs intézkedéseket még nem tartalmaz, de megalapozott kutatások születtek már az Egyesült Királyság közútjaitól kapcsolódó éghajlati kockázatainak számszerűsítésére [15], amelyek várhatóan be fognak épülni a jövőbeli szabályozásba.

6.2. FENNTARTHATÓ ANYAGOK

Mivel az emberiség továbbra is nemcsak kimeríti, hanem túlhasználja a bolygó kapacitását a szükségleteinek kielégítése céljából, a legtöbb iparágban - így a közúti ágazatban is - egyre sürgetőbbé válik a véges, elsődleges erőforrások felhasználásának korlátozása.

Az Egyesült Királyságban például a földből eltávolított anyagok több mint 25%-át az utak építéséhez használják fel [16] és ennek a környezetre gyakorolt hatása akkor is jelentős, ha e források többségét nem fenyegeti a kimerülés közvetlen veszélye. Erre tekintettel egyre fontosabb és szabályozottabb kérdés az Egyesült Királyságban is a helyben hozzáférhető másodlagos anyagok stabilizálása, hígújjrahasznosítása, környezetbarát új alaprétegek megvalósítása, bevallva azonban, hogy az ún. nem hagyományos anyagok felhasználásával összefüggő kockázatok és kihívások jelentős mérnöki feladatok, amelyek megoldása csak megalapozott kutatásokon alapulhat [17], [18]). A fenntartható pályaszerkezeti anyagokra történő áttéréssel ezzel egyidejűleg jelentős technológiai és gazdasági akadályokat is le kell küzdeni, hiszen az újrahasznosított anyagok alkalmazásának egyértelmű környezetvédelmi előnyei mellett vizsgálni kell azok teljesítményjellemzőit és hosszú távú tartósságukat is.

6.3. ENERGIAFOGYASZTÁS ÉS KARBONLÁBNYOM

A remélt zöldátmenet egyik fontos prioritása az egyes ágazatok karbonlábnyomának csökkentése - lehetőség szerint - nullára, így egyre több kutatásban vizsgálják a közúti infrastruktúra építésének és üzemeltetésének karbonlábnyomát, azonosítva az energiafogyasztás és a kibocsátás jelentős forrásait. Ez segít elemezni a fejlesztési lehetőségeket, például az újrahasznosított anyagok használatát, az építési technikák optimalizálását és a fenntartható útgazdálkodási gyakorlatok előmozdítását, valamint az alternatív anyagok feltárását. A felhasznált anyagok és alkalmazott technológiák ÜHG kibocsátásának

kiszámításához számítógépes programok - követve az ISO 14040/44 irányelveit - is rendelkezésre állnak, mint például az EcoInvent, az asPECT, az AggRegain és a GaBi.

Noha az útépítő ipar az összes európai üvegházhatásúgáz-kibocsátás több mint 5%-áért felelős [15], a 2050-es klíma célok teljesítése érdekében az angol autópályák és főútvonalak üzemeltetését, karbantartását és fejlesztését végző National Highways ambiciózus célként tűzte ki a hálózat dekarbonizációját. A részletes program az oldalukon elérhető: <https://nationalhighways.co.uk/netzerohighways/>.

7. KONKLÚZIÓ

Az Egyesült Királyságban a pályaszerkezet tervezés egy átfogó folyamat, amely számos kritériumot foglal magában a hosszú élettartamú, biztonságos és költséghatékony közúti infrastruktúra megépítése érdekében. A tervezők arra törekcsenek, hogy olyan burkolatokat alakítsanak ki, amelyek a forgalmi terhelések, az anyagválasztás, az éghajlati viszonyok, a környezeti hatások, a közlekedésbiztonsági megfontolások és a folyamatos karbantartási követelmények figyelembevételével képesek elviselni a használat során felmerülő igénybevételt, miközben egyre nagyobb mértékben törekednek csökkenteni az ágazat ökológiai lábnyomát is.

A tervezők bevált módszerek és irányelvek alapján dolgoznak, mint például az Egyesült Királyság Közlekedési Minisztériuma (DfT) irányelvei és az Út- és hídtervezési kézikönyv (DMRB), hogy egyensúlyt teremtsenek a teljesítménykövetelmények és a gyakorlati szempontok, például a rendelkezésre álló anyagok és a költségvetési korlátok között. A folyamatos kutatás és innováció továbbá elősegíti az útburkolat-tervezés fejlődését, ami újszerű anyagok, építési eljárások és tervezési megközelítések létrehozását eredményezi, amelyek növelik a tartósságot, a fenntarthatóságot és a biztonságot. Ezen a területen nagy mértékben támaszkodnak a szakegyetemek szakmai műhelyeire vagy az olyan nagymúltú kutatóintézetekre, mint a TRL (Transport Research Laboratory).

Az angol közlekedés- és gazdaságpolitika belátja, hogy a színvonalas pályaszerkezet-tervezés kritikus fontosságú az Egyesült Királyság közlekedési hálózat-integritásának megőrzése, a személyek és áruk biztonságos és hatékony mozgásának lehetővé tétele, valamint a gazdasági növekedés előmozdítása szempontjából. A tervezési szabványok folyamatos javításával és a technológiai áttörések elfogadásával az Egyesült Királyság garantálhatja, hogy útburkolatai megfeleljenek a társadalom változó igényeinek, miközben minimalizálják a környezeti hatásokat és maximalizálják az adófizetők számára nyújtott értéket.

8. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: Pethő, L. & Szentpéteri, I.: 2016: Hajlékony és félmerev pályaszerkezetek méretezése Ausztráliában Útügyi Lapok, 4. évfolyam, 7. szám. ISSN: 2416-2175

[2]: Tóth, Cs. 2016: Az analitikus német útpályaszerkezet méretezési eljárás ismertetése, 4. évfolyam, 8. szám. ISSN: 2416-2175

[3]: R. Blab, L. Eberhardsteiner 2017: A teljesítménykövetelmények figyelembevétele aszfaltburkolatú utak számításán alapuló méretezésénél, Útügyi Lapok 5. évf. 1. sz. ISSN: 2416-2175

[4]: Nádas, R. & C. Seoyoung 2018: A dél-koreai pályaszerkezetméretezés rövid áttekintése; hajlékony pályaszerkezetek, 6. évfolyam, 11. szám, ISSN: 2416-2175

[5]: Wang, J., Liu, S. & Yu, H. S. 2016: A Comparison between a Shakedown Design Approach and the Analytical Design Approach in the UK for Flexible Road Pavements. Procedia Engineering, 143, 971–978. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.085>

[6]: A. Dawson 2019: UK pavement design – the normal and the not-so-normal. NADim-seminar

[7]: <https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/>

[8]: Primusz, P. & Tóth, Cs. 2018. Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek egyszerűsített analitikus méretezése. Közlekedéstudományi Szemle, 68 (5). pp. 17-33.

[9]: Primusz, P. & Tóth, Cs. 2020. Az egyedi pályaszerkezet-méretezésben rejlő gyakorlati előnyök. Az Aszfalt, (27), pp. 13–19

- [10]: Schweikert, A., Chinowsky, P., Espinet, X. & Tarbert, M. 2014: Climate Change and Infrastructure Impacts: Comparing the Impact on Roads in ten Countries through 2100. *Procedia Engineering*, 78, 306–316. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.072>
- [11]: Eisenack, K., Stecker, R., Reckien, D. & Hoffmann, E. 2012: Adaptation to climate change in the transport sector: a review of actions and actors. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17(5), 451–469. <https://doi.org/10.1007/s11027-011-9336-4>
- [12]: Qiao, Y., Dawson, A. R., Parry, T., Flintsch, G. & Wang, W. 2020: Flexible pavements and climate change: A comprehensive review and implicatio. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/su12031057>
- [13]: Dawson, A. 2014: Anticipating and responding to pavement performance as climate changes. *Green Energy and Technology*, 204, 127–157. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44719-2_4
- [14]: Gribovszki, Z., Kalicz, P., Herceg, A. & Primusz, P. 2020. A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre. *Útügyi Lapok*, (8), 1–16. <https://doi.org/10.36246/UL.2020.1.01>
- [15]: Wang, T., Qu, Z., Yang, Z., Nichol, T., Dimitriu, D., Clarke, G. & Bowden, D. 2019: How can the UK road system be adapted to the impacts posed by climate change? By creating a climate adaptation framework. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 77, 403–424. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.02.007>
- [16]: BGS. 2011: Construction Aggregates. Mineral Planning Factsheet; British Geological Survey.
- [17]: Thom, N. & Dawson, A. 2019: Sustainable road design: Promoting recycling and non-conventional materials. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 21). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su11216106>
- [18]: Merrill, D., Nunn, M., & Carswell, I. (2004). A guide to the use and specification of cold recycled materials for the maintenance of road pavements.