



A fagyás és az olvadás hatása az útpályaszerkezetekre

**Kalicz Péter¹, Herceg András¹, Primusz Péter¹
Gribovszki Zoltán¹**

¹ Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Földmérési, Térképészeti, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet

E-mail: kaliczp@gmail.com; herceg.andras@uni-sopron.hu; primusz.peter@uni-sopron.hu; zgribo@gmail.com

DOI: [10.36246/UL.2021.1.01](https://doi.org/10.36246/UL.2021.1.01)

KIVONAT

A környezeti jellemzők (elsősorban a hőmérséklet, a csapadék, a légnedvesség, a talajvíz mélysége, valamint a fagyás-olvadás ciklusok) jelentős hatást gyakorolnak az útburkolatok állapotára és élettartamára, ezért a pályaszerkezetek méretezésénél is fontos tényezőként veendő figyelembe.

Jelen cikk a fagyás és az olvadás útpályaszerkezetekre gyakorolt hatásait elemzi Magyarországon, három vizsgálati időszakra nézve: 1951-1980; 1981-2010; 2016-2045. A fagyás, de különösen az azt követő olvadás következtében előálló talajnedvesség növekedés, valamint földmű teherbírás csökkenés veszélyes lehet a pályaszerkezetre.

A fagyási indexek, 1981-2010 időszakra vonatkoztatott országos átlaga tekintetében 1951-1980 időszakhoz képest erőteljesebb, majd a REMO klímamodell előrejelzései szerint enyhébb csökkenés prognosztizálható a 2016-2045-ös periódusban.

A tél végén a hőmérsékletek növekedése (közel 2 °C-os a havi átlaghőmérséklet növekedés februárban, az 1951-80-as és a 2016-2045-ös között) és a 0 °C alatti hőmérsékletű napok számának csökkenése (~ 4,4 napos csökkenés februárban 1951-80-as és a 2016-2045-ös időszak között) erőteljes. 1951-80-as időszakhoz képest, az 1981-2010-es periódusban a tavaszi talajnedvességek mintegy 22%-os relatív értékű csökkenése következett be. A jövőben további csökkenés prognosztizálható (a REMO modell: ~15%-os átlagos csökkenés valószínűsíthető tavasszal).

Az előbbiekből alapján valószínűsíthető, hogy az olvadási kárral leginkább veszélyeztetett időszak korábbra tolódik és a február hónapra egy lényegesen alacsonyabb földmű modulus, májusra azonban a szárazodás és magasabb hőmérsékletek miatt valószínűleg növekvő földmű modulusz (földmű teherbírásának növekedése) lesz jellemző.

Kulcsszavak: pályaszerkezet méretezés, klímaváltozás, földmű, fagyási index, olvadás

ABSTRACT

Environmental parameters (primarily temperature, precipitation, air humidity, freeze-thaw cycles and groundwater depth) have a significant impact on the condition and lifespan of pavements, therefore they can be taken into account as critical factors during pavement design methods.

This article analyzes the effects of freezing and thawing on the pavements in Hungary for three investigational periods: 1951-1980; 1981-2010; 2016-2045. An increase in soil moisture as a result of freezing, but especially subsequent melting, as well as a reduction in the bearing capacity of the subgrade can be dangerous for the pavements.

At the end of winter there is a strong increasing tendency in temperatures (nearly 2 °C monthly average temperature increases in February, between 1951-80 and 2016-2045) and simultaneously a significant decrease in the number of days with temperatures below 0 °C (~ 4.4 days decrease in February between 1951-80 and 2016-2045) may be occurred. With regard to the national average of freezing indices, a stronger decrease has been found in the 1981-2010 period compared to the period 1951-1980, and then, according to the projections of the

REMO climate model, a smaller decrease can be projected in the period 2016-2045. In the period 1981-2010, there was a decrease in spring soil moisture with a relative value of about 22%, compared to the period 1951-80. In the future there will be further decrease (according to the REMO model) with an average decrease of ~ 15% (in spring).

Based on the above, it is likely that the period most at risk from melt damage will be shifted earlier, thus a significantly lower subgrade modulus will be expected for February, while the month May is likely to have an increasing subgrade modulus (i.e., the bearing capacity of the subgrade is expected to increase) due to drought and higher temperatures.

Keywords: pavement design, climate change, subgrade, freezing index, thaw

Dr. Kalicz Péter

A Soproni Egyetem (SOE) Erdőmérnöki Karán a Földmérési, Térképészeti, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet munkatársa. Fő kutatási területe a hidrológiai modellezés, intercepció automatizálása.

Dr. Herceg András

A Soproni Egyetem (SOE) Erdőmérnöki Karán a Földmérési, Térképészeti, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet munkatársa. Fő kutatási területe a vízmérleg-modellezés.

Dr. Primusz Péter

A Soproni Egyetem (SOE) Erdőmérnöki Karán a Földmérési, Térképészeti, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet munkatársa. Fő kutatási területe az útfenntartás és az útpályaszerkezetek méretezése, megerősítése.

Prof. Dr. Gribovszki Zoltán

A Soproni Egyetem (SOE) Erdőmérnöki Karán a Földmérési, Térképészeti, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet munkatársa. Fő kutatási területe az öko-hidrológia, evapotranszspiráció számítása a talajnedvesség, a talajvíz és a lefolyás nagy gyakoriságú mérése alapján.

1. BEVEZETÉS

A környezeti jellemzők, mint a hőmérséklet, csapadék, légnedvesség, fagyás-olvadás ciklusok és a talajvíz mélysége jelentős hatással vannak az útburkolatok állapotára és élettartamára, ezért a pályaszerkezetek méretezésénél is fontos tényezőként vehetők figyelembe. Az időjárásnak való kitettség hatása a vékonyabb pályaszerkezeteknél erőteljesebb lehet, ezért különösen fontos a környezeti jellemzők alaposabb vizsgálata az alsóbbrendű vagy mezőgazdasági utaknál, az erdők feltáráshálózatánál, és az agro-erdészeti rendszerek kiszolgáló útjainál.

A klimatikus jellemzők változásában valószínűleg a szélsőséges időjárási események gyakoriságának növekedése várható. A legfontosabb befolyásoló események lehetnek a nagy intenzitású felhőszakadásszerű esőzések és ennek vízelvezetési problémái, a jelentős szélviharok, a nyári időszakokban fellépő hosszabb aszályos időszakok megjelenése, valamint a hóhullámok és a korai és a kései fagyok [1].

Tekintettel kell lenni az előbbieken felsoroltak mellett a klimatikus jellemzők szezonális változékonyságára is, és a pályaszerkezetek méretezését javallott ezekhez a szezonális változásokhoz kapcsolni [11]. Az aszfalt rétegek hőmérsékletének változásai lényegesek, mert az aszfaltkeverékek modulusai nagyon érzékenyek a hőmérsékletváltozásra. A hajlékony pályaszerkezetek méretezésénél emellett az alsó rétegek (főként a földmű) talajnedvességének változásai a meghatározóak. A földmű modulusok általában az optimális talajnedvességre és sűrűsége (tömörségre) vonatkoznak, de javarészt viszont az optimálistól eltérő jellemzőkre korrekciós faktorok szükségesek. Továbbá a fagyás-olvadás jelensége és ennek ciklusai is igen jelentősen befolyásolják az alsó rétegek és a földmű

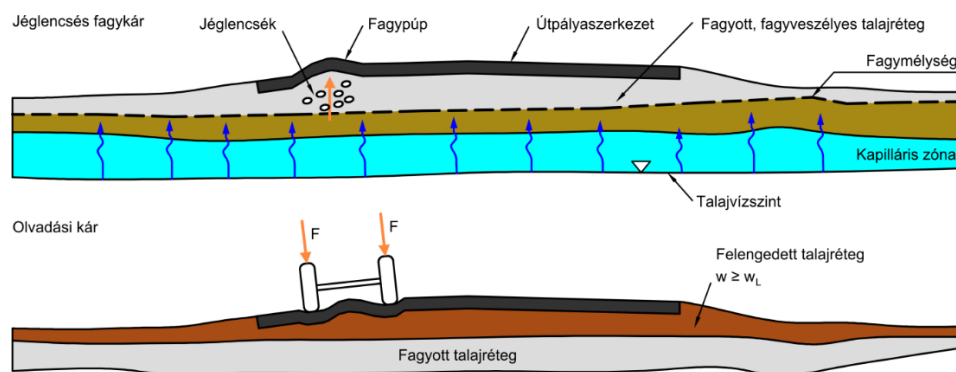
teherbírását. Hiszen a fagyos periódusok alatt a földmű teherbírása nő, míg az olvadási periódusok alatt jelentősen csökken, tehát a fagyás mélységének és az egyes olvadási ciklusok egymásra következésének ismerete is egy fontos kérdés.

Az aszfaltburkolatú pályaszerkezetek tartósságának számításánál, az egyszerűen meghatározható és általában könnyen elérhető meteorológiai paraméterek közül, a hőmérséklet, ennek ingadozása és a csapadék a figyelembe vehető tényezők [2]. Az Útügyi Lapok c. folyóirat 13. lapszámában közölt: „*A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre*” című kézirat dolgozta fel ennek a két paraméternek az általános változási tendenciáit Magyarországon, figyelembe véve a klímaváltozást [12]. A 14. lapszámában közölt *A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre: A pályaszerkezet hőmérsékletek számítása* c. cikk a pályaszerkezet hőmérsékletek számításának lehetőségeivel foglalkozott [13]).

Jelen cikk pedig a fagyás és az olvadás útpályaszerkezetre gyakorolt hatásait elemzi.

2. FAGYÁS, OLVADÁS ÁLTALÁNOS HATÁSAI

A fagyás, de különösen az azt követő olvadás következtében előálló talajnedvesség növekedés, valamint földmű teherbírás csökkenés veszélyes lehet a pályaszerkezetre. A hatásokat az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: A pályaszerkezetben bekövetkező fagyási és olvadási kár ([2] nyomán).

A következőben először a fagyás révén előálló fagykárt, majd a fagyok elmúltával bekövetkező olvadás és annak folyamánként bekövetkező olvadási kárt mutatjuk be.

3. FAGYKÁR

A fagykár a megfagyott víz térfogat növekedésének következménye (az eredeti térfogat durván 1/9-ével nő szilárd halmazállapotban a jég térfogata, a cseppfolyós halmazállapotú és azonos tömegű vízhez képest). Hatását a pályaszerkezeti rétegekben és földműben is kifejti.

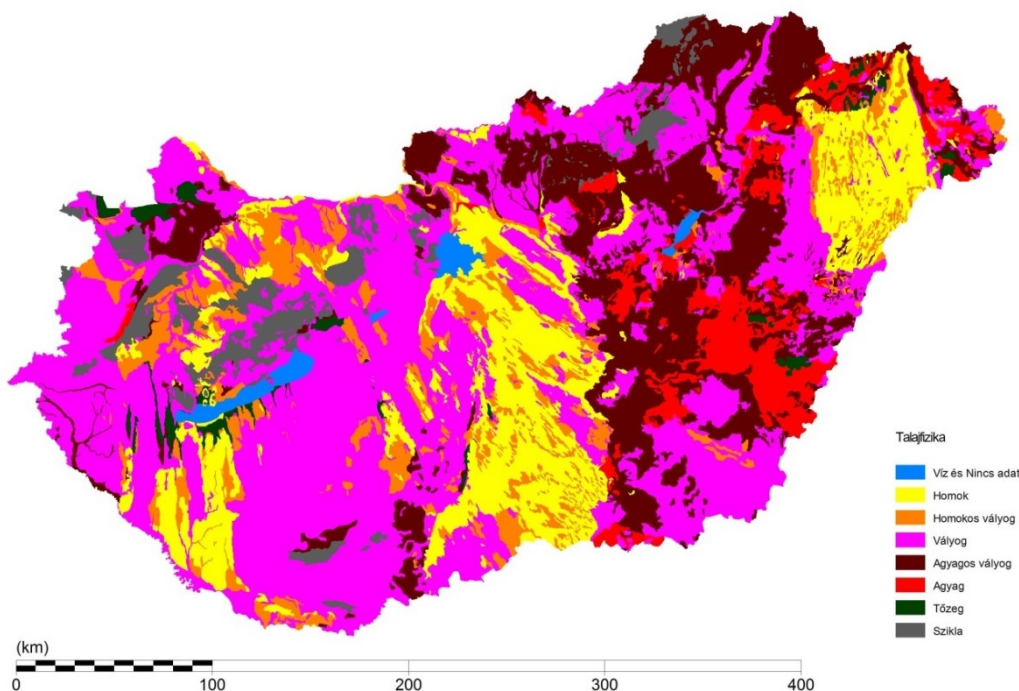
Bár az aszfaltburkolat repedésmentes állapotában érzéketlen a fagyra, viszont, ha hajszálrepedések jelennek meg a burkolatban, akkor azokon keresztül bejutó víz megfagyva meggyorsíthatja a rongálódási folyamatot. Ezt a rongálódási folyamatot elsősorban nem a fagyás indukálja, hanem pl. a „fáradás”, amelynek hatására a hajszálrepedések elsődlegesen képződnek.

Az alaprétegben akkor keletkezhet fagykár, ha maga az alaprétegnek felhasznált szemcsés anyag fagyveszélyes (1. táblázat). A cementstabilizált alapréteg fagyérzékenysége pedig abban mutatkozhat meg, hogy az alacsony cementadagolás esetében az széteshet.

1. táblázat: Talajok fagyérzékenysége ([2] nyomán).

Érzékenység	Talajfajta	Finom részek [tömeg %]		Plasztikus index
		<0,02 mm	<0,1 mm	Ip[%]
Fagyálló	Homokos kavics	<10	<25	-
	Kavicsos homok			
	Homok			
Fagyérzékeny	Iszapos kavics	10-15	25-40	-
	Iszapos homok			
	Agyag	-	-	15,1<
Fagyveszélyes	Homokliszt	<10	-	1,0-5,0
	Iszapos homokliszt	10<	40-90	5,1-10,0
	Iszap	-	-	10,1-15,0

Az előző táblázathoz kapcsolódóan mutatjuk be a 2. ábrát, amely az Agrotopográfiai térkép alapján a talajok fizikai féleségét prezentálja a fagyveszélyes talajok térbeli elhelyezkedésének szemléltetésére. Az 1. táblázat és a 2. ábra kategóriái teljes mértékben nem feleltethetők meg egymásnak. A kapcsolatot a 2 mm alatti szemcsék, homok (0,05–2,0 mm), iszap (0,002–0,05 mm) és agyag (<0,002 mm) kategóriái közötti megoszlását figyelembevevő textúrára vonatkozó háromszögdiagram teremtheti meg [14]. Azok a talajok, amelyek dominánsan egy jellemző frakcióból állnak osztályozhatók homok, iszap és agyag fizikai féleségüként (ezek a háromszögdiagram sarkaiban találhatóak). A különböző szemcseméretekből közel azonos mennyiségű szemcsét tartalmazó talajok pedig az ún. vályog kategóriába sorolhatóak (háromszögdiagram középontja).



2. ábra: A talajok fizikai féleségének megoszlása Magyarországon (forrás: Agrotopográfiai térkép).

A „fagykár” a megfelelően megválasztott és fagyállóságra bevizsgált anyagok alkalmazásával, a pályaszerkezet rétegeiben elkerülhető. A méretezés alapfeltétele, hogy a fagyállósági követelményeket kielégítsük, így ennek a méretezésre nincs hatása.

A földmű esetében viszont, az azt alkotó talajoknál megkülönböztethetünk „tömbfagyást” és „jéglencsés fagyást”.

A „tömbfagyás” a szemcsés talajok jellemzője, ahol a talaj pórusaiban megfagyó víz térfogat növekedése olyan típusú, hogy nem eredményezi a talaj számottevő térfogat növekedését.

A „jéglencsés fagyás” viszont a finomszemcsés talajokra jellemző, ahol kialakuló ún. fagyási góccok térfogat növekedést okoznak. A fagyási góccok megjelenése szívóhatással jár, hiszen az alacsonyabb

hőmérséklet következtében a talajban lévő pára a melegebb helyről a hidegebb helyre (mint alacsonyabb párányomású, tehát abszolút értelemben szárazabb helyre) áramlik. Az ide áramló nedvesség a fagyponthoz alatti hőmérséklet miatt kifagy, tehát az ideáramló nedvesség ellenére sem növekszik a párányomás, hanem alacsony szinten marad. Az előbbieket miatt a párafluxust fenntartó gradiens jelentős marad, ami így további nedvesség ide áramlását eredményezi. Igaz ez annak ellenére, hogy az alsó melegebb talajréteg fokozatosan szárad. A fagyási göcök tehát tovább növekednek, és ezáltal nő a jéglenesek térfogata. Végeredményképpen az ilyen fagyási göcök a felszínt több cm-el megemelhetik. Érdekes azt is megemlíteni, hogy a jéglenes fagyás esetében (a nyomóerők miatt) a víz fagyáspontja lecsökken kb. $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ennek eredményképpen a jéglenes fagyás határa nem a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os izoterma szintjén van, hanem a hideg felszínhez közelebb [9].

A jéglenes terepfelszín (vagy burkolatfelszín) emelkedés (ú.n. fagyemelkedés) tipikus fajtája a mi klímánkon ritka jelenség. A jéglenesek egyenletes eloszlása következtében viszont a finomszemcsés talajok esetében bizonyos fagyemelkedés jelentkezik. Sőt előállhat a jelenség akkor is, amikor a klasszikusnak vett talajvízből származó nedvesség utánpótlódására nincs lehetőség [2].

A jéglenes fagykár forgalomfüggetlen, így a forgalomra való méretezésnél nem, csak a méretezés kiindulásakor a fagyállósági követelmények teljesítésével veendő figyelembe [2].

3.1. A FAGYBEHATOLÁSI MÉLYSÉG SZÁMÍTÁSA

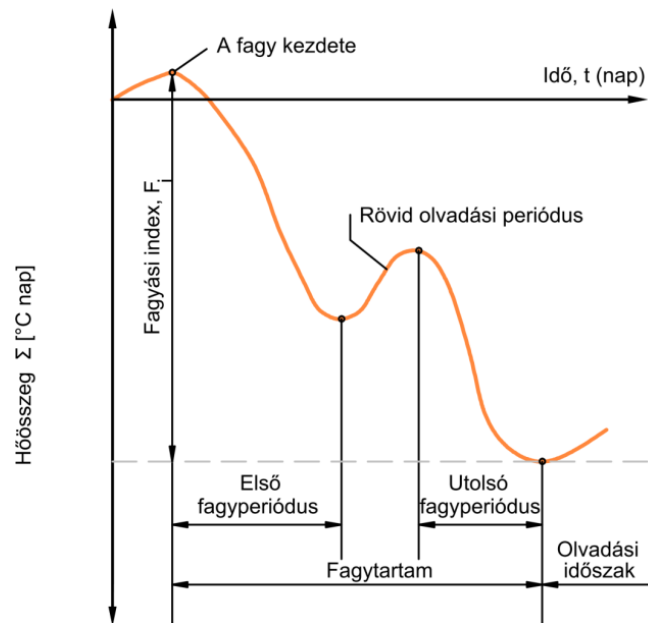
A fagynak a talajba való lehatolása a gyakorlati élet számos területét közelről érinti. Az útburkolatok állékonyságának érdekében a reálisan várható fagyveszély ellen valamilyen módon a tervezés során fel kell lépni. Ez a tervezés során méretezésként legtöbbször a mértékadó útépítési fagyhatár értékének (amely nagyjából a fagybehatolási mélységgel azonosnak vehető) meghatározását jelenti [9].

A fagybehatolási mélység alapján tervezhető a fagy elleni védekezés. A legnagyobb fagybehatolási mélység azonban nem önmagától a legalacsonyabb hőmérséklettől függ, hanem a fagytartam alatti napi középhőmérsékletektől és az ezekből számított hidegmennyiségtől.

A fagybehatolási mélység az a terepszinttől vertikálisan lefelé mért távolság, melyben az átfagyott talaj a még nem fagyott talajjal érintkezik [3]. Ez a mélységet tulajdonképpen a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os izoterma adja meg. Ezt az izotermát a fagy mélységet közrefogó mélységekhez tartozó talajhőmérsékleti adatokból lehet, pl. interpoláció útján meghatározni, bár a talajhőmérsékleti adatok csak korlátozott számban állnak rendelkezésre. Megoldásként szolgálhat az a nemzetközileg is validált, eredetileg [5] által levezetett összefüggés, amely szerint a fagybehatolási mélység a fagyási index négyzetgyökével arányos.

A fagyási index viszont léghőmérséklet adatok alapján számítható. Definíció szerint a hőösszeg görbén a fagytartam alatti maximum és minimum közötti különbség Celsiusnap-ban kifejezve. A hőösszeg görbe az értelmezés szerint valamely adott naptól kezdve a napi középhőmérsékletek összegének (Celsius nap) menetét megjelenítő diagram.

Más megfogalmazás szerint a fagyási index (a hidegmennyiség számértéke) a fagyperiódus alatti napok számának a Celsius fokban kifejezett átlaghőmérséklettel való szorzata foknapban kifejezve. A fagyási indexet tehát úgy számítjuk, hogy a negatív középhőmérsékletű napok középhőmérsékleteit összeadjuk, vesszük az abszolút értéküket és ebből az összegből a pozitív középhőmérsékletű napok középhőmérsékletinek összegét levonjuk. A tervezés szempontjából a mértékadó a fagyási index az elmúlt 30 év 3 leghidegebb telén észlelt fagyási indexek átlaga (Boromisssa 1997). A fagyási indexet szemlélteti a 3. ábra.



3. ábra: A téli hőösszeg-görbe és a fagyási index sematikus ábrázolása ([3] nyomán).

Később Shannon laboratóriumi körülmények között is igazolta a Breggen-féle összefüggést, a következő egyenlet segítségével:

$$Z_f = k \cdot F^{0,5} \tag{1}$$

Ahol:

- Z_f : a fagybehatolási mélység cm-ben;
- F : a fagyási index Celsius nap-ban;
- k : pedig egy állandó.

A k tényező Shannon által becsült értéke: $k=3,8$ -ra, amely Európai szinten is elfogadott [3]. A számítások alapján Magyarország esetén hasonló a k tényező, átlagosan 3,7.

A fagybehatolási mélységeknél azonban ajánlatos azt is figyelembe venni, hogy a pályaszerkezet saját fizikai jellemzői (hővezető, hőtároló képesség, stb.) függvényében is módosítja a fagybehatolás mélységét.

Az előbbieket szerint tehát a talajokra általában megadott összefüggés nem valószínű, hogy az útburkolatok alatt is ugyanúgy érvényes. A fagybehatolási mélység egy svájci szabályozás szerint [16], amely a pályaszerkezet mélységét is figyelembe veszi a következőképpen számítható.

$$Z_{pf} = 45 \cdot F^{0,5} + \frac{D}{2} \tag{2}$$

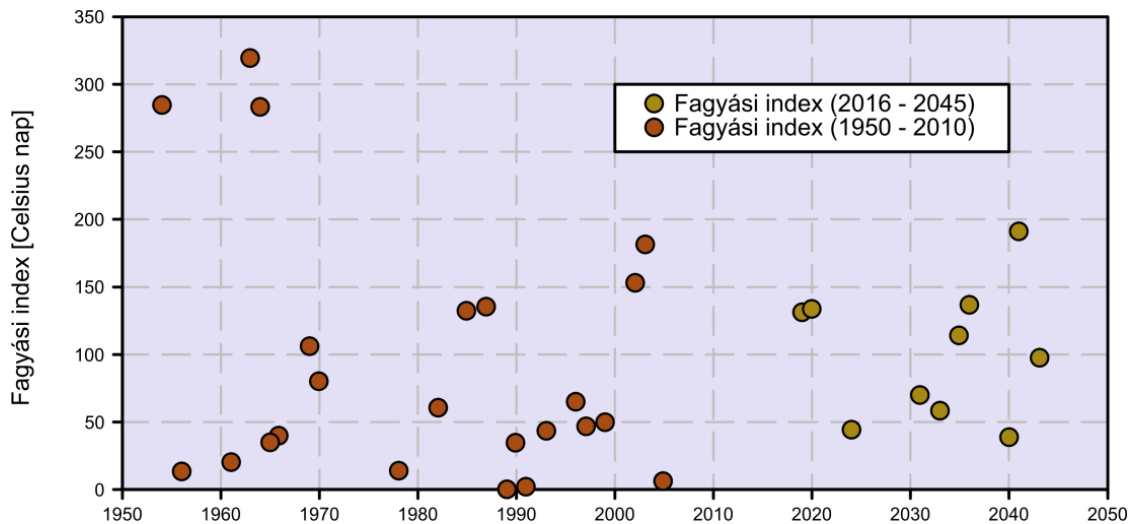
Ahol:

- Z_{pf} : a fagy behatolási mélység a pályaszerkezet alatt [mm];
- F : a fagyási index Celsiusnap-ban;
- D : a pályaszerkezet vastagsága [mm].

Az utak pályaszerkezet alatti fagybehatolási mélységére vonatkozó összefüggés alapján az látszik, hogy a fagybehatolási mélység nagyobb a pályaszerkezet alatt általában, mint a zavartalan talajfelszín esetében. Ez egyrészt a fagyási index nagyobb szorzójából, másrészt az újabb (pályaszerkezet alatti fagyási mélységet számító) egyenletben megjelenő, a pályaszerkezet fele vastagságát figyelembevevő, összeadó-állandóból következik (ami a természetes talajra vonatkozó egyenletben nem jelent meg).

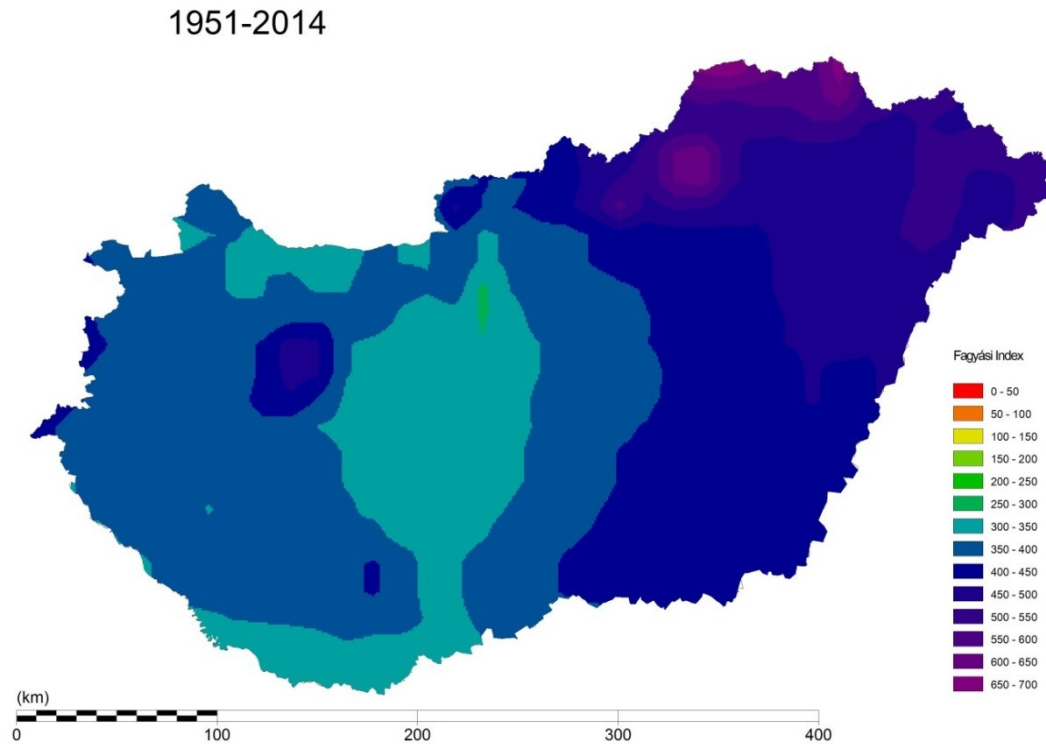
3.2. FAGYÁSI INDEXEK ÉS FAGYBEHATOLÁSI MÉLYSÉG ALAKULÁSA MAGYARORSZÁGON

Budapest környékére vonatkozó a fagyási indexeket (mint jó országos átlagot képviselő hely) a 4. ábra mutatja. Az ábra alapján tetten érhető, hogy 1963/64 tele mértékadó volt ebből a szempontból, 320-as fagyási indexel (kb. 66 cm-es fagybehatolási mélységgel). Az 1980-óta eltelt időszakban a 2003/2004-es tél volt a legjelentősebb, bár ennek fagyási index már csak 181 volt (kb. 50 cm-es fagybehatolási mélységgel). A jövőre vonatkozóan, a REMO modell korrigált adatai szerint, nem várható jelentős mértékű csökkenés a fagyási indexekben (4. ábra). Az elkövetkezendő 30-évre vonatkozóan a maximális fagyási index 190 Celsius nap, ami kb. 51 cm-es fagybehatolási mélységet jelent a talajokban.



4. ábra: Fagyási indexek változása Budapest környékén (1951-2014).

A következő 5. ábra megjelenített térkép az 1951-2014-es időszakra készült fagyási indexeket mutatja országos léptékben.



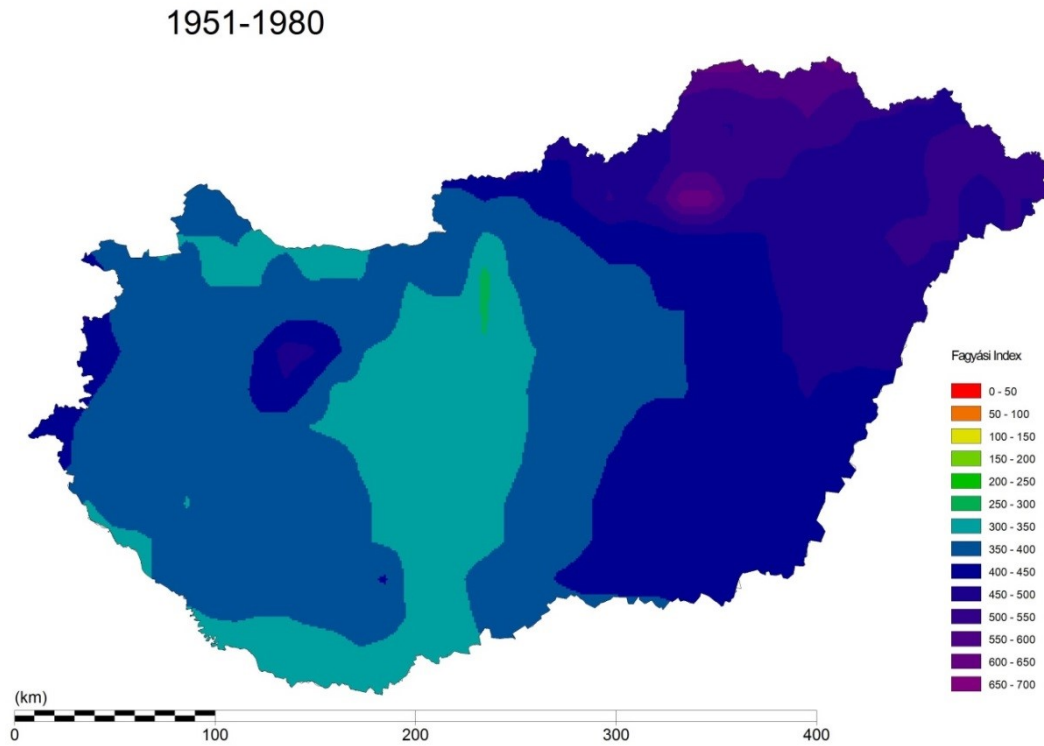
5. ábra: A fagyási indexek az 1951-2014-es időszakra vonatkozóan.

Az 1951-2014-es időszakban a fagyási index területi átlaga Magyarországra 406 Celsius nap. A maximum, az Északi-Középhegység magasabb területein jellemző 685 Celsius nap, míg a minimum a DNY Dunántúlon található (286 Celsius nap). A fagyási indexek régiók szerinti eloszlását a Hiba! A hivatkozási forrás nem található. 2. táblázat mutatja.

2. táblázat: A fagyási indexek megoszlása az egyes régiókban az 1951-2014-es időszakban.

Osztály	Min.	Max.	Átlag	Szórás
BK	286	461	355	29,52
D	307	406	355	19,12
DA	313	453	399	35,63
EA	367	514	459	36,21
EM	360	685	489	68,29
KD	306	473	362	36,35
NYD	339	425	371	15,50

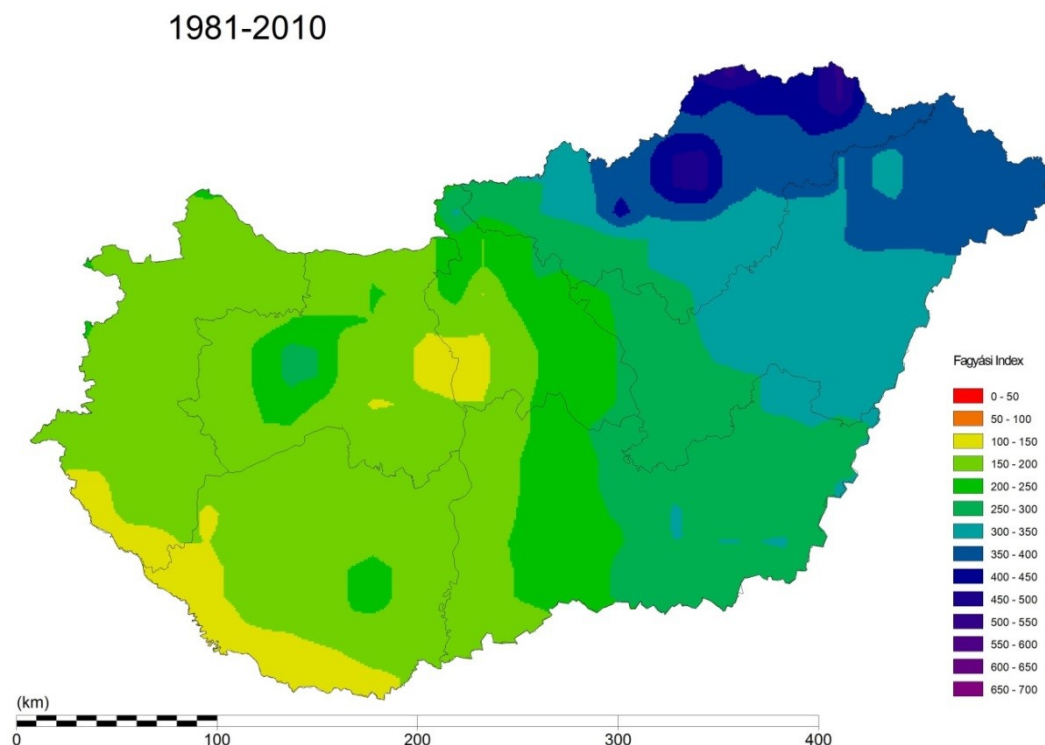
A fagyási indexek múltira, jelenre és jövőre vonatkozó értékei között jelentősebb eltérés lehetséges, ezért a klimatikus vizsgált 30 éves időszakokra (1951-1980, 1981-2010 és 2016-2045) is elkészítettük a fagyási index értékeket. A fagyási index adatok térbeli eloszlását a 6., 7. illetve 8. ábrák, valamint a 4. 5. és 6. táblázatok mutatják.



6. ábra: A fagyási indexek az 1951-1980-as időszakra vonatkozóan.

3. táblázat: A fagyási indexek megoszlása az egyes régiókban az 1951-1980-as időszakban.

Régió	Min.	Max.	Átlag	Szórás
BK	287	416	354	28,18
D	310	405	356	18,43
DA	314	453	396	34,89
EA	369	515	458	37,89
EM	362	635	482	58,25
KD	306	473	364	33,44
NYD	340	460	373	19,03



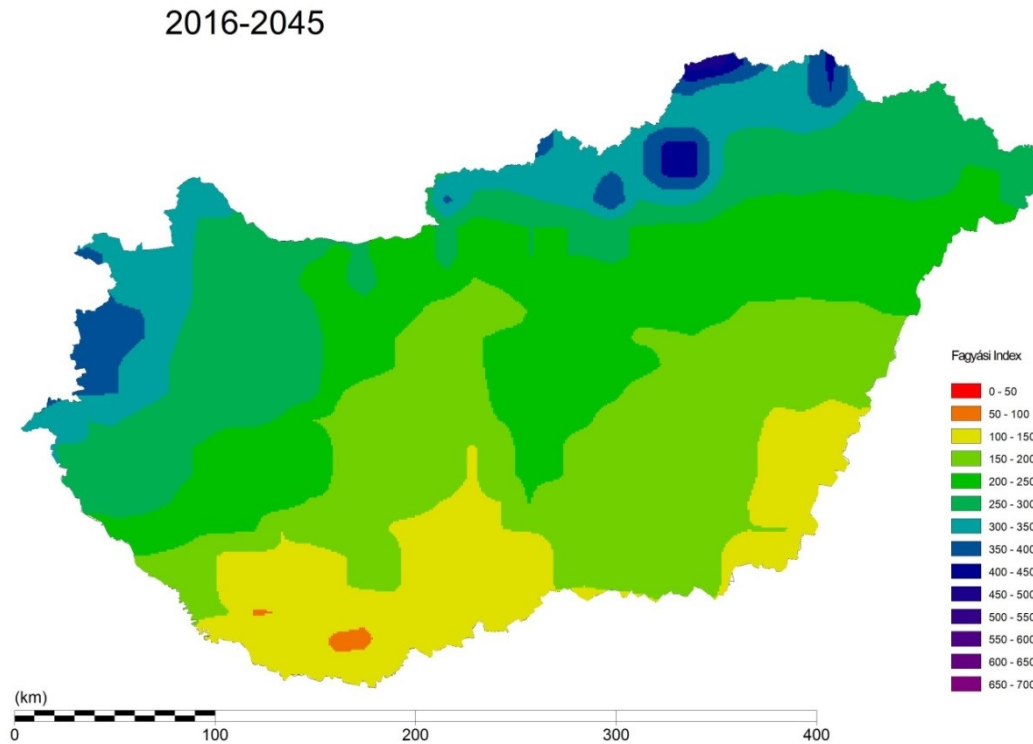
7. ábra: A fagyási indexek az 1981-2010-es időszakra vonatkozóan.

4. táblázat: A fagyási indexek megoszlása az egyes régiókban az 1981-2010-es időszakban.

Régió	Min	Max	Átlag	Szórás
BK	141	309	211	36,95
D	119	216	165	18,34
DA	151	323	247	45,47
EA	234	383	325	32,57
EM	219	513	357	58,73
KD	141	263	182	25,61
NYD	122	220	167	12,28

A 6. ábra alapján megállapítható, hogy az 1951-80-as időszakban a fagyási indexek országos átlaga 404 Celsius nap (a szórása 60 körüli) 634-es maximummal az Északi Középhegységben és 287 körüli minimummal Budapesttől délre. Az 1981-2010-es időszakban a fagyási indexek országos területi átlaga már csak 245 Celsius nap (a térbeli szórás értéke 82) 512-es maximummal és 119-es minimum értékkel. Az előbbieket szerint a két egymást követő 30-éves periódusban a fagyási indexek országos átlaga közel 160-as értékkel csökkent, a térbeli szóródás azonban jelentősen nőtt.

A jövőre vonatkozóan a 8. ábra, és 6. táblázat alapján a 2016-45-ös periódusban, a REMO modell előrejelzései szerint, a fagyási indexek országosan kismértékben tovább csökkennek 245 Celsius napról 221-es értékre. A maximum (480 Celsius nap) és a minimum (87 Celsius nap) érték is tovább csökken. Az országos eloszlás a klímamodell szerint kissé módosul, de ezt fenntartásokkal ajánlatos kezelni, mivel a klimatikus előrejelzések becslések és nem valós méréseknek. Az előrejelzések szerint térbeli szóródás feltehetően kismértékben csökken majd.



8. ábra: A fagyási indexek a 2016-2045-ös időszakra vonatkozóan.

5. táblázat: A fagyási indexek megoszlása az egyes régiókban a 2016-2045-ös időszakban.

Régió	Min.	Max.	Átlag	Szórás
BK	154	364	218	30,96
D	87	251	161	36,44
DA	103	221	158	24,08
EA	140	288	217	34,20
EM	216	480	303	52,20
KD	163	304	234	39,03
NYD	198	381	299	36,53

3.3. FAGYÁSBEHATOLÁSI MÉLYSÉG

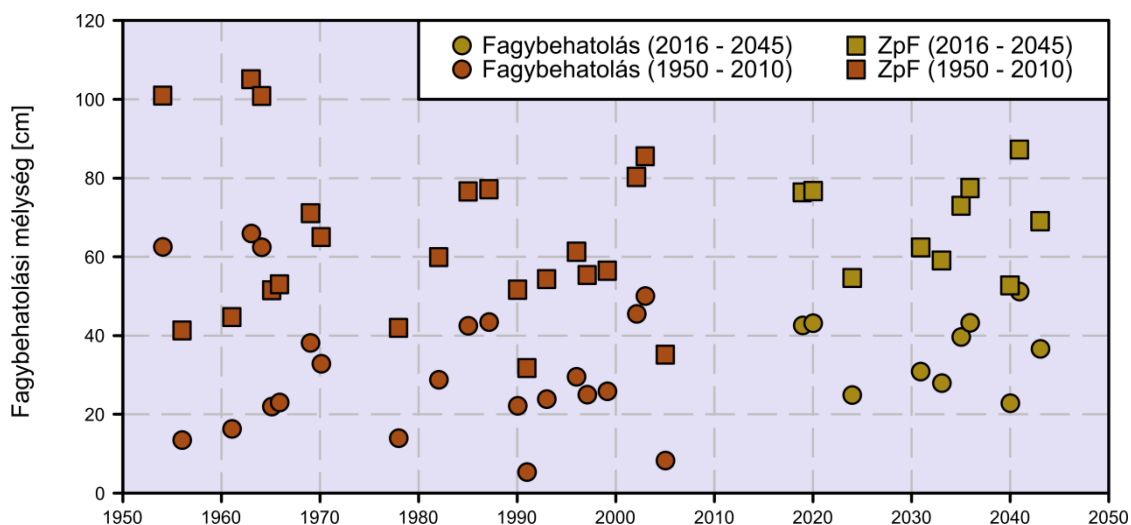
Bár a fagybehatolási mélység függ az adott talaj hővezetési és hőkapacitási értékeitől is, mégis lehetőség van, hogy körülbelüli becslést tegyünk a természetes talajokban, valamint az útpályaszerkezetek alatt jellemző értékekre az egyes időszakokban.

A továbbiakban példaként nézzük idősorszerűen Budapest környékére vonatkozóan a fagybehatolási mélység alakulását a természetes talajokban és az útpályaszerkezet alatt, a korábbi általános képlet szerint (9. ábra).

A számítások során a pályaszerkezet vastagságára 50 cm-es értéket vettünk figyelembe.

A Budapesti fagyási index értékekkel 1963/64 telére vonatkozóan a 320-as fagyási index 105 cm-es fagybehatolási mélységgel jellemezhető a pályaszerkezet alatt (ez 39 cm-el több, mint a természetes talajra számított összefüggés). Az 1980-óta eltelt időszakban a 2003/2004-es tél volt a legkomolyabb, ennek fagyási indexe 181 volt, ez 86 cm-es fagybehatolási mélységgel jellemezhető a pályaszerkezet alatt (ami 36 cm-el több, mint a természetes talajra számított összefüggés). A fagybehatolási mélység

az elkövetkező 30-évben (2016-2045) a Remo klímamodell adatai szerint nem változik szignifikánsan (190-es fagyási index mellett a maximális fagybehatolási mélység a pályaszerkezet alatt 87 cm).



9. ábra: A fagybehatolási mélység változása Budapestre vonatkozóan.

A fagybehatolási mélységekre vonatkozó múltbeli trend szerint, Budapest környékére vonatkozóan, a természetes talajokban jellemző fagybehatolási mélység jellemzően évtizedenként közel 2,3 cm-el, míg a pályaszerkezet alatt közel 2,9 cm-el csökkent.

A fagybehatolási mélység esetében nem készítettünk ábrákat, hiszen az adatok csak tájékoztató jellegűek, mivel nem veszik figyelembe az egyes talajok, ill. pályaszerkezet típusok fizikai jellemzőit (pl. fizikai féleség, nedvesség stb.). A talajok hővezetési és hőtároló képességére vonatkozóan szolgáljanak iránymutatásként [6] adatai (7.táblázat **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**), aminek segítségével lehetőség nyílik a helyi jellemzők figyelembevételére.

6. táblázat: Jellemző anyagtulajdonságok a fagyás/olvadás jelenségének különböző talajoknál történő figyelembevételéhez [6]. *az aszfaltmodulus a hőmérséklet függvénye.

Anyagtulajdonság	Kavics/ Homok	Vályog (Iszap)	Agyag	Aszfalt- beton
Modulus [MPa]	138	103	69	150- 21000*
Sűrűség [kg/m ³]	1922	1442	1682	2211
Nedvességtartalom [%], természetes száraz állapot (hervadásponthoz)	3	10	20	0
Hővezető képesség, fagyott [W/m·hr·Celsius]	1,2	0,5	0,3	1,5
Hővezető képesség, nem fagyott [W/m·hr·Celsius]	1,7	0,8	0,7	1,5
Fajhő fagyott [kJ/m ³ ·Celsius]	1489	1328	1006	1878
Fajhő nem fagyott [kJ/m ³ ·Celsius]	1610	1630	1676	1878
Látens hő [MJ/m ³]	19,3	48,3	33,5	0,0

4. OLVADÁSI KÁR

Az olvadási kár a talajfagy felengedése idején a talaj túlzott elnedvesedése és ennek következtében bekövetkező teherbírás csökkenése miatt következik be (1. ábra). Az olvadási kár különösen abban az esetben veszélyes, amikor a felengedett talajréteg alatt még fagyott, így tehát közel vízzáró talajréteg található. Ha ilyen időszakban csapadékvíz jut a pályaszerkezet alá, az a fagyott talajréteg miatt elszivárogni nem tud. Az előbbiekből miatt folyós, teherbírás nélküli vagy csökkent teherbíró képességű alapréteg keletkezhet. A legutoljára felengedő talajréteg az irodalom [2] alapján durván a fagyási mélység 2/3-ában van. Ha a pályaszerkezeten nincs forgalom, az olvadási kár nem jelentkezik, a forgalom függvényében viszont igen jelentős mértékű lehet.

Az alapréteg tél végi - tavasz eleji teherbírás csökkenése akkor is bekövetkezhet, ha a külső vízutánpótlás lehetősége (pl. a csapadékból) nem áll fenn. A korábban taglaltak szerint ugyanis a fagyott, vagyis hidegebb zónában a talaj pórusaiban lévő vízpára kicsapódik. Az előbbi páramozgás általában alulról fölfelé, a fagyott zóna felé irányul és az alsóbb rétegek természetes víztartalmából származik. Alul tehát, ha nincs jelen a talajvízszint a kapilláris vízforgalom számára elérhető mélységben, kiszáradás, a felső zónában pedig elnedvesedés indul meg.

Az olvadási károk ellen alapvetően kétféleképpen lehet védekezni:

- az erre veszélyes talaj (6. táblázat) kizárásával, kiváltásával az alaprétegben;
- a vízutánpótlás kizárásával.

Mivel a vízutánpótlás teljes kizárása a pályaszerkezet teljes élettartama alatt általában nem lehetséges, ezért mind a fagyás mind az olvadás ellen fagyálló talaj, azaz fagyvédő réteg beépítésével lehet hatékonyan védekezni.

4.1. OLVADÁSI ÉS FAGYÁSI KÁR VESZÉLYE

Az olvadási és fagykár ellen tehát akkor kell védekezni, ha a talaj fagyveszélyes, illetve fagyérzékeny.

Az olvadási kár veszélye a Boromissza-féle mértezési előírás szerint akkor áll fenn, ha a következő feltételek teljesülnek egyidejűleg:

- a földmű felső 50cm-es rétegének talaja fagyveszélyes, vagy fagyérzékeny
- az utolsó 15 év becsült maximális talajvízszintje a pályaszintet legalább 2,0m-re megközelítette,
- a felszíni víz behatolásának megakadályozása céljából vízzáró padkaburkolat, vagy a forgalmi sáv külső szélétől számítva minimum 50-50 cm-el túlnyúló vízzáró alapréteg nem készült [2].

A károk megelőzése céljából a következő megoldások lehetségesek:

Fagyálló anyagból olyan vastag védőréteget kell beépíteni, hogy a következő egyenlet teljesüljön.

$$h_v = F - \sum(h_i \cdot f_i) \tag{3}$$

Ahol:

h_v : a fagyálló védőréteg vastagsága [cm];

h_i : az egyes rétegek vastagsága [cm];

f_i : az egyes pályaszerkezeti rétegek 28. táblázat szerinti komplex anyagai jellemzője, amely figyelembe veszi a pályaszerkezeti réteg hőszigetelő képességét, hajlítószilárdsági tulajdonságait és vízzáróságát;

F: az éghajlati körülményeket jellemző állandó (7. táblázat).

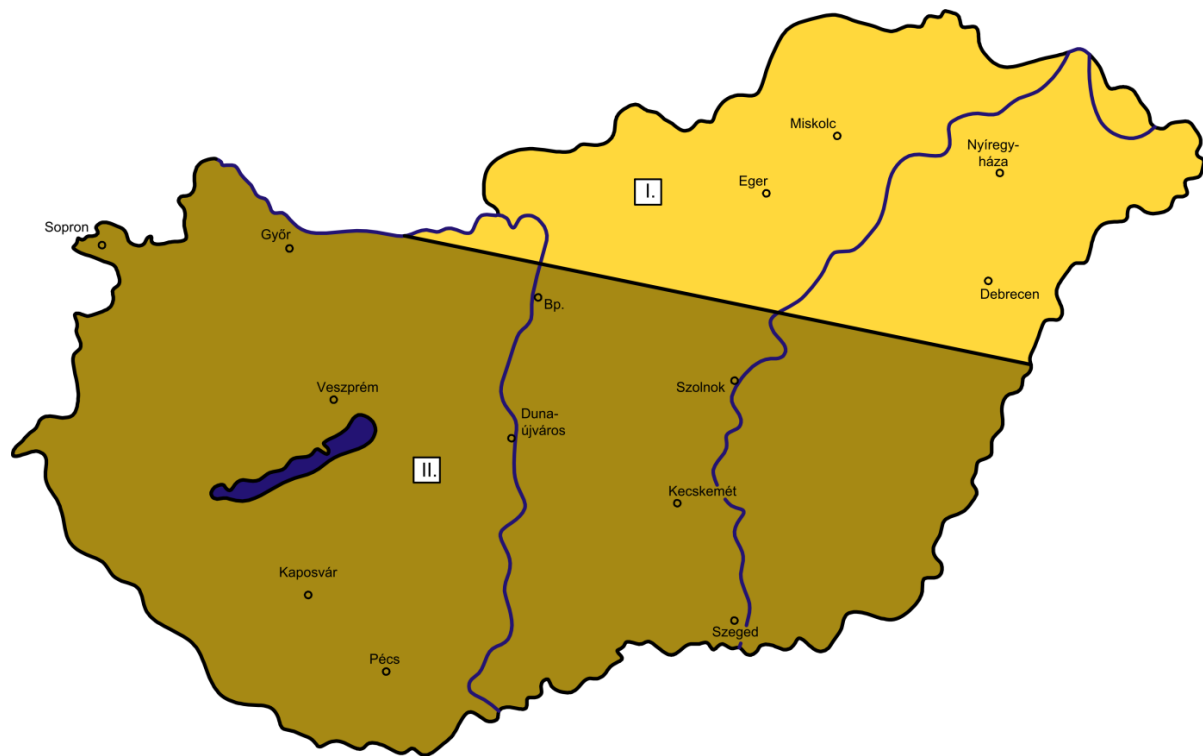
7. táblázat: Az olvadási kár megelőzése céljából szükséges pályaszerkezet vastagságok (F), [cm].

Fagy-határ-zóna	Tengerszint feletti magasság és 10. ábra	A, B és C terhelési osztály		D, E és K terhelési osztály	
		Fagyérzékeny talaj	Fagyveszélyes talaj	Fagyérzékeny talaj	Fagyveszélyes talaj
I.	A 10. ábra szerinti I. zóna	40	50	60	70
II.	Az 10. ábra szerinti II. zóna és az I.-es zóna 250m-500 m közötti területei	50	60	70	80
III.	500 m feletti területek	60	70	80	90

8. táblázat: Az f tényező értékei.

A pályaszerkezeti réteg megnevezése	f
-------------------------------------	---

Zúzottkő alapok	1,0
Mechanikai stabilizáció	1,0
Cementtel stabilizált talaj	1,1
Aszfaltmakadám	1,2
Cementtel stabilizált homokos kavics	1,3
Soványbeton alap	1,4
Betonburkolat	1,5
Aszfaltbeton, öntött aszfalt	1,5
Meleg bitumenes alap	1,5



10. ábra: Útépítési fagyhatárzónák [2]. Az első fagyhatárzónába tartozik az ország Almásneszmély-Berettyóújfalu közötti vonaltól DDNy-ra eső területek (kivéve a 250 m tengerszint feletti régiók); a II. zónába az Almásneszmély-Berettyóújfalu közötti vonaltól ÉÉK-re eső területek, valamint az I-es zóna 250m tengerszint fölötti magasságú részei; a III. fagyhatárzónába az 500 m tengerszint fölötti magasságú területek tartoznak, de ezek nincsenek feltüntetve a térképen.

A 10. ábra és a fagyási indexek területi eloszlást mutató korábbi, 5.6.7. valamint 8. ábra összehasonlításából látható, hogy a Boromissza által közölt útépítési fagyhatárzónákat elkülönítő vonal az 1951-80-as időszak 500-as fagyási index értékének megfelelő. Az 500-as fagyási indexet jelképező érték kb. 83 cm-es fagybehatolási mélységgel jellemezhető a természetes talajoknál és kb. 126 cm-es fagyási mélységgel az utak pályaszerkezete alatt. Az 1981-2010 közötti időszakban ez az 500-as fagyási indexel jelzett fagyhatárzóna már csak a Bükk fennsík, valamint a Zemplén és Aggteleki karszt magasabb részein jelentkezik, a jövőben pedig már sehol nem lesz jellemző hazánkban. Az előbbieket szerint érdemes átgondolni a 7. táblázat jellemző pályaszerkezet vastagságait és a megfelelő mértékben csökkenteni azokat. A jövőben a korábbi (1951-1980) 500-as fagyási határ földrajzi környezete inkább a 250-es fagyási indexel (kb. 56 cm-es fagybehatolási mélység a természetes talajoknál és kb. 96 cm-es fagyási mélységgel az utak pályaszerkezete alatt) lesz jellemezhető.

4.2. OLVADÁSI KÁRT INDUKÁLÓ TALAJNEDVESSÉG VÁLTOZÁS

A fagybehatolási mélység ismerete mellett fontos a fagyott talajrétegek részleges vagy teljes felengedése, felolvadása esetén, a földműben jelentkező teherbírás csökkenés. A jelenség a magas talajnedvesség növekedése vagy másként fogalmazva a földmű víztartalmának (a pórusokban lévő víz

pórusnyomásának) egy határon túli növekedése formájában jelentkezik és a méretezés szempontjából számszerűen pl. a földmű modulus csökkenésében jelentkezik.

A talajnedvességek meghatározása egy Thornthwaite-féle [15] havi vízmérleg modellel történt. A modellszámítás a felső, kb. 1m-es talajréteg nedvességtartalmát mutatja egy relatív skálán, amely tulajdonképpen a szántóföldi vízkapacitás és a hervadásponti víztartalom közötti tartományban számít. Az előbbi ún. talajnedvesség érték tehát a kapilláris pórusok telítettségére utaló szám. Ha értéke zérushoz közeli, akkor a talaj (a növényi vízfelvétel szempontjából) teljesen száraznak tekinthető, ha 100 körüli az értéke, akkor pedig már a bármilyen plusz többletvíz a gravitációs pórusokat kezdi telíteni.

Az ország egészét tekintve a tavaszi időszakban átlagosan 49%-os a kapilláris pórusok telítettsége, ami 100% és 27 % minimális és maximális érték között oszlik el, átlagosan 11,8-es területi szóródással. A régiók szerinti megoszlást az **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** 9. táblázat mutatja.

9. táblázat: A talajnedvesség relatív értékeinek megoszlása a magyarországi régiókban (1981-2010).

Régió	Min (%)	Max (%)	Átlag (%)	Szórás
Dunántúl (D)	30	57	41	6,64
Budapest és környéke (BK)	27	86	46	12,19
Dél-Alföld (EA)	28	59	46	7,04
Észak-Magyarország (EM)	42	100	60	13,74
Nyugat-Dunántúl (NYD)	31	72	45	9,44
Közép-Dunántúl (KD)	30	78	47	12,35
Észak-Alföld (EA)	42	73	55	9,12

A szántóföldi vízkapacitás közeli értékekkel rendelkező területek a magasabb talajnedvességűek, tehát a földmű teherbíró képessége szempontjából veszélyeztetettebbek a tavaszi időszakban. Az előbbieket szerint az Északi Középhegység, ill. az Alföld ÉK-i része, valamint a Nyugat-Dunántúl határközeli területei, itt is elsősorban az Őrség és a D-NY zalai területek. Ezek a kritikus helyek a téli csapadékösszeget mutató térképen is. Ott a legkedvezőtlenebb a helyzet, ahol a magas tavaszi talajnedvesség kedvezőtlen talajfizikai féleségekkel iszapos-agyagos talajok is kombinálódnak.

A talajnedvességek alakulása a Thornthwaite-féle havi vízmérleg modell alapján a múltban a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** alapján jellemezhető.

Az ország egészét tekintve a tavaszi időszakban egy átlagosan 71%-os a kapilláris pórusok telítettsége (az 1981-2010-es időszakban 49%), ami 100% és 54 % minimális és maximális érték között oszlik el (az 1981-2010-es időszakban 100% és 27%), átlagosan 11,4-es területi szóródással (az 1981-2010: 11,8%). A régiók szerinti megoszlást a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** mutatja.

10. táblázat: A talajnedvesség relatív értékeinek megoszlása a magyarországi régiókban (1951-1980).

Régió	Min. [%]	Max. [%]	Átlag [%]	Szórás
D	61	98	78	9,70
BK	54	98	64	10,45
DA	55	77	62	3,70
EM	57	100	79	13,42
NYD	61	100	75	12,23
KD	59	100	70	8,00
EA	57	88	68	8,01

A szántóföldi vízkapacitás közeli értékekkel rendelkező területek a magasabb talajnedvességűek, tehát a földmű teherbíró képessége szempontjából veszélyeztetettebbek. Az előbbieket szerint a

hegyvidéki részeken kívül az alföld ÉK-i része, valamint a Dél-Nyugat-Dunántúl területei, az Őrség, a Mura és a Dráva menti területek.

A múlthoz (1951-80) képest tehát a tavaszi kapilláris telítettséget jellemző talajnedvesség készlet jelentősen, mintegy 22%-al csökkent. A csökkenés a Dél-Dunántúlon, a Dunántúl keleti területeinek középső részén, valamint a Kisalföld középső és dél-nyugati részén a legjelentősebb.

A talajnedvességek alakulását a jövőben a 11. táblázat alapján jellemezhető.

Az ország egészét tekintve a tavaszi időszakban egy átlagosan 34%-os a kapilláris pórusok telítettsége (az 1981-2010-es időszakban 49%), ami 82% és 7 % maximális és minimális érték között oszlik el (az 1981-2010-es időszakban 100% és 27%), átlagosan 12,2-es területi szóródással (az 1981-2010-es időszakban 11,8). A régiók szerinti megoszlást a 11. táblázat mutatja.

11. táblázat: A tavaszi talajnedvességek térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (2016-2045).

Régió	Min. [%]	Max. [%]	Átlag [%]	Szórás
BK	10	66	28	11,85
D	10	46	27	9,03
DA	9	49	34	9,92
EA	16	65	38	9,79
EM	7	82	40	15,57
KD	11	62	30	12,63
NYD	17	60	35	10,73

A szántóföldi vízkapacitás közeli értékekkel rendelkező területek a magasabb talajnedvességűek, tehát a földmű teherbíró képessége szempontjából veszélyeztetettebbek. A 11. táblázat adatai szerint a jövőben szinte kizárólag az Északi-Középhegység magasabb területei lesznek tavasszal átlagosan magasabb talajnedvességűek.

A jelenhez (1980-2010) képest tehát a tavaszi kapilláris telítettséget jellemző talajnedvesség-készlet jelentős, mintegy 15%-os csökkenése feltételezhető majd.

A földmű modulusra vonatkozóan több irodalom dolgoz ki összefüggéseket, általában a talajok fizikai jellemzői alapján: a három fő irányban a nyomófeszültségek, a plasztikus index, talajalkotók (homok, iszap, agyag arányai), folyási határ, valamint az aktuális talajnedvesség. A CBR mérésekkel átlagában jól korreláltható a földmű modulusza, de sajnos ez is talajtípusfüggő. A szemcsés és a kohéziós talajokra általában külön egyenletek kidolgozottak [10]. Például szolgáljon [7] által kidolgozott összefüggés:

Szemcsés talajok:

$$\log(M_r) = 0,5230,0225 \cdot w + 0,544 \cdot \log(\sigma) + 0,173 \cdot SM + 0,197 \cdot GR \quad (4)$$

Ahol:

M_r : a földmű modulusa [ksi, 1MPa=0,15ksi];

w: víztartalom [%];

σ : összes feszültség [psi, 1 psi = 6,89 kPa];

SM: iszap faktor (ha a talaj iszap fizikai féleségű SM=1, különben 0);

GR: kavics faktor (ha a talaj kavicsos (kavics, kavicsos iszap, kavicsos agyag) akkor GM=1, különben 0).

Kohéziós talajok:

$$M_r = 37,431 - 0,4566 \cdot PI - 0,6179 \cdot w - 0,1424 \cdot P_{200} + 0,1791 \cdot \sigma_3 - 0,3248 \cdot \sigma_d + 36,722 \cdot CH + 17,097 \cdot MH \quad (5)$$

Ahol a korábban nem szereplő paramétereken felül:

PI : plasztikus index [%];

P₂₀₀: a 200-as (0.075 mm) szitán keresztülhulló anyagmennyiség [%];

σ₃: z irányú főfeszültség[psi];

σ_d: hatékony feszültség[psi];

CH: 1 a nagy plaszticitású agyagokra, különben 0 (iszap, iszapos agyag, alacsony plaszticitású agyag);

MH: 1 a nagy plaszticitású iszapokra, különben 0 (nagy plaszticitású agyag, iszap, iszapos agyag).

Ha a talajnedvesség adat nem áll rendelkezésünkre, akkor a földmű modulus magasabb talajnedvesség következtében előálló korrekciójára (olvadás miatt csökkenő voltára) egy az adott talajfizikai jellemzőknek megfelelő korrekciós faktor (R) megadását javasolja a nemzetközi szakirodalom. A R faktor az anyag fagyás-olvasással szembeni érzékenységet mutatja és [16] szerint a következőképpen kalkulálható:

$$R = 1 - (1 - R_0) \cdot \exp(A \cdot U_t) \quad (6)$$

Ahol:

R₀: a korrekciós faktor (R) minimális értéke a mértékadó (legkedvezőtlenebb) tavaszi olvadási időszakban;

U_t: az eltelt hetek száma a mértékadó olvadási időszak óta;

A: a változás rohamosságának a mértékét mutató negatív konstans, amely a földmű szezonális kiszáradási folyamat gyorsaságát mutatja.

[4] a földmű modulusokra is vonatkozó havi értékek eloszlását mutató táblázatot közöl. A táblázatban a földműmodulusokra a téli hónapokban (december-február) egy 80 MPa-os, a tavaszi hónapokban márciusban-áprilisban egy 30 MPa-os, májusban pedig egy 40 MPa-os értéket ad meg (a többi hónap földműmodulusa 50 MPa értékkel föltüntetett). A táblázat kidolgozása valószínűleg az 1951-80-as időszak meteorológiai adatait alapul véve történt, azóta viszont, ahogy említettük, a tavaszi talajnedvességek csökkenése következett be mintegy 22%-os relatív értékkel. Ez a jelenség és a jövőben prognosztizálható további csökkenés (a REMO modell előrejelzése alapján további 15%-os átlagos csökkenés valószínűsíthető tavasszal) következtében a földmű teherbírásának növekedése várható a tavaszi hónapokban, azon belül is különösen a tavasz végén.

A tél végén a hőmérsékletek növekedése (közel 2 °C-os a havi átlaghőmérséklet növekedés februárban, a növekedés az 1951-80-as időszak és a 2015-2045-ös előre jelzett periódus között jelentkezett) és a 0 °C alatti hőmérsékletű napok számának csökkenése (körülbelül 4,4 napos csökkenés februárban 11,8-ról 7,4 napra az 1951-80-as időszak és a 2015-2045-ös előrejelzett periódus között) erőteljes. Az előbbieket alapján valószínűsíthető, hogy az olvadási kárral leginkább veszélyeztetett időszak korábbra tolódik és a február hónapra egy lényegesen alacsonyabb földmű modulus valószínűsíthető. A májusra viszont a szárazodás és magasabb hőmérsékletek miatt valószínűleg növekvő földmű modulus lesz jellemző. Az előbbieket szerint a [4] által közölt táblázat a következők szerint módosulhat (9. táblázat).

12. táblázat: A földmű modulusok lehetséges megoszlása a jelenben és a jövőben [4] megközelítését alapul véve.

Hónapok	Földmű modulus [4] [MPa]	Földmű modulusok a jövőben (lehetséges változás) [MPa]
Jan.	80	80
Febr.	80	30
Már.	30	30
Ápr.	30	40
Máj.	40	50
Jún.	50	50
Júl.	50	50
Aug.	50	50
Szept.	50	50
Okt.	50	50
Nov.	50	50
Dec.	80	80

A földmű modulusára vonatkozóan a Svéd szabályozás a tavaszi olvadáson, kritikus időszakokra a nyári érték 35%-át adja, míg a Dán szabályozás a 60%-át. Az olvadást követő tavaszi periódusra, már kevésbé átáztatott földműre vonatkozóan, a nyári modulus százalékában a Svéd előírások szerint 50%, míg a Dán szabályozás révén 80%-os érték vehető figyelembe [8]. A hazai előírás a Dán arányokhoz áll közelebb.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A környezeti jellemzők, mint a hőmérséklet, csapadék, légnedvesség, fagyás-olvadás ciklusok és a talajvíz mélysége jelentős hatással vannak az útburkolatok állapotára, élettartamára, ezért a pályaszerkezetek méretezésénél is fontos tényezőként vehetők figyelembe.

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

A fagyási indexek országos átlaga tekintetében az 1951-80-as időszakban 404 Celsius nap, az 1981-2010-es időszakban a fagyási indexek országos területi átlaga már csak 245 Celsius nap, tehát a két egymást követő 30-éves periódusban a fagyási indexek országos átlaga közel 160-as értékkel csökkent, bár a térbeli szóródás azonban jelentősen nőtt. A REMO modell előrejelzései szerint, a jövőre vonatkozóan a fagyási indexek országosan kismértékben tovább csökkennek (245 Celsius napról) 221-es értékre. Az országos eloszlás a klímamodell szerint kissé módosul.

A tél végén a hőmérsékletek növekedése (közel 2 °C-os a havi átlaghőmérséklet növekedés februárban, az 1951-80-as és a 2015-2045-ös között) és a 0 °C alatti hőmérsékletű napok számának csökkenése (~ 4,4 napos csökkenés februárban 1951-80-as és a 2015-2045-ös időszak között) erőteljes.

1951-80-as időszakhoz képest a tavaszi talajnedvességek csökkenése következett be, mintegy 22%-os relatív értékkel. A jövőben további csökkenés várható (a REMO modell: ~15%-os átlagos csökkenés valószínűsíthető tavasszal)

Az előbbieket alapján valószínűsíthető, hogy az olvadási kárral leginkább veszélyeztetett időszak korábbra tolódik és a február hónapra egy lényegesen alacsonyabb földmű modulus, májusra azonban a szárazodás és magasabb hőmérsékletek miatt valószínűleg növekvő földmű modulus lesz jellemző.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS:

A publikáció az Agrárminisztérium támogatásával készült.

7. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: 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.

- [2]: Boromissza, T. 1997: Méretezési Praktikum, Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezési gyakorlata, Közúti közlekedési füzetek 16, Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium, Budapest, p. 82.
- [3]: Boromissza, T., Detre, Gy., Lazányi, I. & Szalai, S. 2007: Az útépitési fagyhatárzónák pontosítása. Közúti és mélyépitési szemle, 6. szám: 16-21.
- [4]: Fi, I., Boncs, P., Pethő, L. & Tóth, Cs. 2012: Útburkolatok méretezése. Terc Kft. ISBN 978 963 9968 349, p. 457.
- [5]: Berggren, W. P. (1943): Prediction of temperature-distribution in frozen soils. Transactions - American Geophysical Union 24(3): 71-77. <https://doi.org/10.1029/TR024i003p00071>
- [6]: Bosscher, P. J., Jong, D. T. and Benson, C. H. (1998): International Conference on Cold Regions Engineering, 9th, Duluth, MN, Sep. 27-30, 1998. Proceedings. Cold regions impact on civil works. Edited by D.E. Newcomb. Publisher: Reston, VA, American Society of Civil Engineers (ASCE). United States.: 731-747.
- [7]: Carmichael, R.F. III & Stuart, E. 1985: Predicting Resilient Modulus: A Study to Determine the Mechanical Properties of Subgrade Soils. "Transportation Research Record TRR 1043, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.
- [8]: Dawson, A. (2009). Water in Road Structures (Movement, Drainage and Effects), Spring Science + Business Media B.V. 2009. ISBN: 978-1-4020-8561-1, p. 436.
- [9]: Gáspár, L. (1959): Az útépitési fagyhatár megállapítása léghőmérsékleti adatokból. Mélyépitéstudományi szemle. IX. évf. 10. szám: 472-480.
- [10]: George, K. P. (2004): Prediction of resilient modulus from soil index properties. Final Report. University of Mississippi. p. 72.
- [11]: Gupta, A. 2014: A review of Environmental Factors on Flexible Pavement Modelling, Modern Traffic and Transportation Engineering Research, vol:3 iss:1 pg:14-20
- [12]: 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>
- [13]: Herceg, A., Primusz, P., Kalicz, P. & Gribovszki, Z. 2020: A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre: A pályaszerkezet hőmérsékletének számítása, Útügyi Lapok, <https://doi.org/10.36246/UL.2020.2.02>
- [14]: Radcliffe, D. E., Simunek, J. 2010: Soil Physics with HYDRUS: Modeling and Applications, CRC Press, ISBN 9781420073805, p. 388
- [15]: Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R. (1955): The waterbalance. Philadelphia, PA: Drexel Institute of technology, climatological laboratory publication 8.
- [16]: Ullidtz, P. (1998): Modelling Flexible Pavement Response and Performance. Tech Univ. of Denmark Polyteknisk, ISBN: 978-8750208051, p. 205.



Kölcsönösen átjárható városi, - és elővárosi vasúti rendszerek globális forgalmi hatásainak komplex vizsgálata

Molnár Levente¹, Vinkó Ákos¹, Vasvári Gergely¹

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútépítési Tanszék

E-mail: m1levi12@gmail.com; vinko.akos@emk.bme.hu; gergely.vasvari@outlook.com

DOI: [10.36246/UL.2021.1.02](https://doi.org/10.36246/UL.2021.1.02)

KIVONAT

Budapest elővárosi és a városi vasúti közlekedési rendszere több eltérő szolgáltatási színvonalú és műszaki paraméterű, egymástól elszigetelt vasúti rendszert tartalmaz, amelyek integrálása elengedhetetlen a mai modern kor átszállásmentes utazási igényeinek való megfeleléshez, valamint a főváros fokozatosan növekvő agglomerációs forgalmának kiszolgálásához.

A cikkben bemutatásra kerül az M3-as metró és a Lajosmizsei vasútvonal átjárhatóságának komplex vizsgálata során alkalmazott forgalmi modellezési eljárás. Ennek segítségével lehetővé vált az integrált vasúti rendszer budapesti és agglomerációs közlekedésre vonatkozó forgalmi hatásának számszerűsítése. A beszámolóban a vasúti átjárhatóság kompatibilitási kérdései részletesen nem kerülnek ismertetésre, e cikk elsősorban az elképzelt integrált közlekedési rendszer forgalmi igény szempontjából történő minősítését tűzte ki célul.

A cikk Molnár Levente BSc hallgató TDK dolgozatának kivonata, amiben a Műszaki Egyetem több munkatársa, valamint külső konzulensek is segítettek.

Kulcsszavak: városi közlekedés, vasúti átjárhatóság, forgalmi szimuláció

ABSTRACT

The transport system of Budapest includes various entirely self-contained rail transit modes with different service levels and technical parameters, their integration is necessary to create an effective transport service for the growing conurbation of Budapest.

This article presents an analytical travel forecasting approach used in the complex study on the interoperability of the M3 metro and the Lajosmizse railway line. This made it possible to quantify the traffic impact of the proposed integrated railway system on the transport of Budapest and its conurbation. This report does not describe the compatibility issues of track and vehicle interfaces in detail, the main purpose of this article is to classify the proposed integrated transport system in terms of traffic demand and forecasting.

Keywords: local public transport, interoperable rail systems, traffic simulation

Molnár Levente

A Budapesti Műszaki Egyetem (BME) Építőmérnöki Karának végzős BSc hallgatója. Fő érdeklődési területe a vasúti rendszerek közötti átjárhatóság vizsgálata.

Dr. Vinkó Ákos

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Építőmérnöki Karán az Út és Vasútépítési Tanszék munkatársa. Fő kutatási területe a vasúti pályadiagnosztika.

Dr. Vasvári Gergely

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Építőmérnöki Karán az Út és Vasútépítési Tanszék munkatársa. Fő kutatási területe a forgalmi modellezés.

1. BEVEZETÉS

Jelen kutatómunka Budapest vonzaskörzetén belül található kötőtpályás vasúti rendszerek közötti átjárhatóság műszaki és forgalmi feltételeivel, korlátaival foglalkozik.

A vasúti átjárhatóságnak – interoperabilitásnak – két szintjét különböztetjük meg. Az első szint az országok közötti átjárhatóságot teremti meg. Ennek kiemelkedő célja, hogy első sorban az Európai Unió tagállamai között olyan feltételeket teremtsen, hogy a vonatoknak ne kelljen a határállomásokon vesztegelniük mozdony és személyzetcsere miatt. Ezt a közeledést egységes szabályozás, többáramnemű mozdonyok, valamint egységes vonatbefolyásoló rendszerek hivatottak megoldani.

Az átjárhatóság második szintjét az országon belül eltérő vasútüzemek (nagyvasút, HÉV, metró, közúti villamos vasút) közötti kapcsolatként definiálhatjuk. Itt az átjárhatóság elsődleges célja a kevésbé hatékony vasúti rendszerek hatékonyabbá tétele, a vasútüzemek közötti átszállások számának csökkentése, valamint a potenciális utazási célok elérésének megkönnyítése. Világszerte számos ilyen vasúti rendszer kezd kiépülni, mert felismerték az átjárhatóságban rejlő potenciált, első sorban azokban a nagyobb városokban, ahol eltérő vasútüzemek találhatóak. Erre kiemelkedő hazai példa a szegedi vasútvillamos („Tram-train”), ahol a Szeged és Hódmezővásárhely között futó vasútvonal került összekötésre a Szegedi, valamint az újonnan épült Hódmezővásárhelyi villamosvonallal.

A kutatómunka során több lehetséges helyszín is kijelölésre került Budapest és az agglomerációja területén, ahol felmerült a lehetőség átjárható vasúti rendszerek létesítésére¹. Ezek között szerepelnek már ismert, korábban tervező cégek által vizsgált lehetőségek, illetve több újonnan kijelöltek is. Ezen helyszínekre online Google Form alapú, összetett utazási igényfelmérő kérdőívek készültek az általános utazási szokások körvonalazása, valamint, az átjárhatóság létjogosultságának eldönthetősége érdekében. A javasolt helyszínek közül végül kiválasztásra került az M3-as metró és a Lajosmizsei vasútvonal összekötése, amely esetében komplex módon került vizsgálat alá az átjárhatóság megvalósításának lehetősége.

A témában, az infrastruktúra-építőmérnöki szemlélet következtében, kiemelt szerepet kapott a két vasúti rendszer közötti átjárhatóság műszaki szempontból történő vizsgálata. Ez magában foglalta a pálya- illetve járműinfrastruktúra kompatibilitás vizsgálatát, melynek keretében az átjárhatóság technikai feltételei kerültek elemzésre. Ezt átfogó kutatómunka előzte meg, számos külföldi átjárható vasúti rendszer vizsgálatával [1]. A kutatómunka során folyamatosan konzultáltunk a magyarországi tervezőcégekkel, akik szintén útmutatást adtak a témában. A kapott eredmények azt mutatták, hogy az átjárhatóság kulcsa olyan hibrid jármű, mely egyaránt alkalmas mind a nagyvasúti, mind a metróüzemben való közlekedésre. Jelen cikk nem tér ki a kompatibilitásvizsgálat részleteire, ezt Molnár Levente TDK dolgozatának 5.3. fejezete [1] tartalmazza.

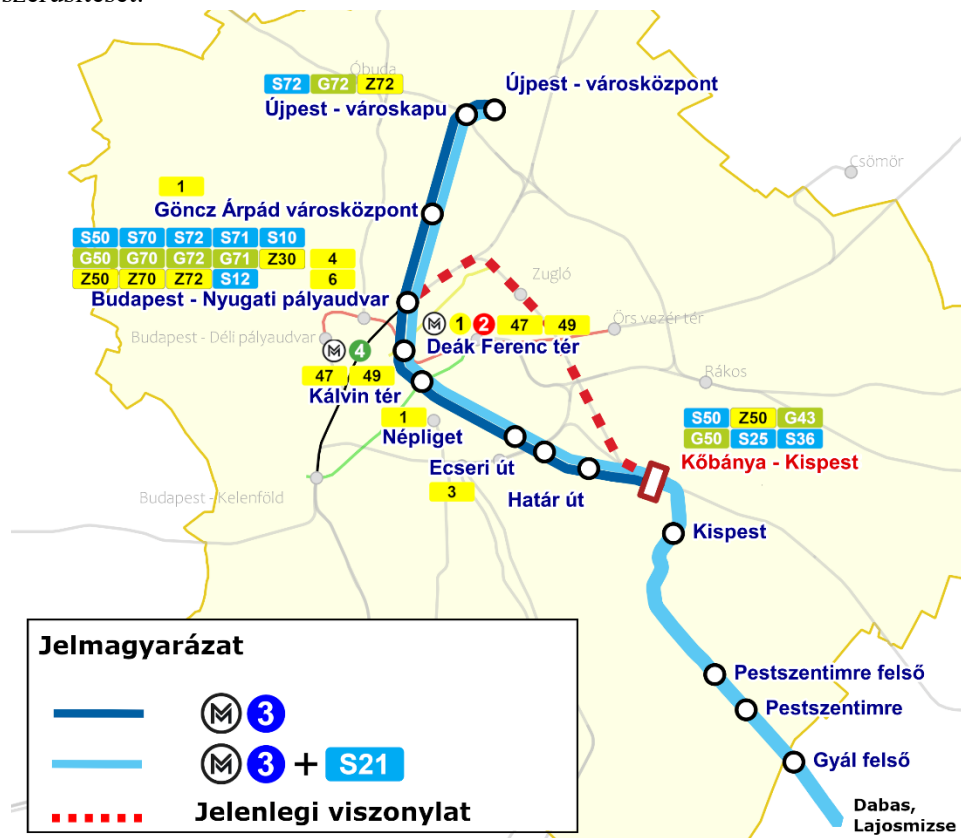
2. A VIZSGÁLT VISZONYLATOK RÖVID BEMUTATÁSA

Az M3-as metró Budapest leghosszabb és egyben legforgalmasabb metróvonal. A vonalon naponta megforduló utasok száma meghaladja a 600 000 főt. Infrastruktúrájának felújítása jelenleg is folyamatban van, de elmondható, hogy a teljes szakasz kétharmadán már megtörténtek az átépítések. A járműállomány 2018-ig bezárólag került felújításra, így viszonylag újnak tekinthető.

Ezzel szemben a Lajosmizsei vasútvonal (1. ábra) Budapest egyetlen nem villamosított elővárosi vasútvonal, ami egyben a legrosszabb állapotú is. A vasúti infrastruktúra, valamint a közlekedő járművek is elmaradnak a mai modern kor igényeitől. A vonatok indulása 1 órás ütemben történik, a

¹ A kutatómunka elsősorban a nagyvasút, metró és a HÉV közötti átjárhatóságra koncentrált.

reggeli csúcsidőben fél órás sűrítéssel, azonban ez a kedvezőtlen menetidővel társulva alacsony szolgáltatási színvonalat nyújt. A vasútvonal felújításának szüksége napjainkban egyre időszerűbb, a Budapesti Agglomerációs Vasúti stratégia [2] is célként tűzte ki a Lajosmizsei vonal minél hamarabb történő korszerűsítését.



1. ábra: A lajosmizsei vasútvonal és az M3-as metró összekötése.

A vizsgálat során cél volt rámutatni arra, hogy egy alternatív lehetőség is adódhat a vasútvonal egyszerű felújításán túl és érdemes megragadni az alkalmat egy átjárható vasúti rendszer létesítésére.

A kiválasztás szempontjai közé tartozott a budapesti vasúthálózat jelenleg is korlátozott kapacitása. A Lajosmizséről közlekedő szerelvények Kőbánya-Kispest (KöKi) vasútállomásról a Budapest – Cegléd vasútvonal vágányait használják, hogy elérjék a Nyugati pályaudvart. Ez a vonalszakasz már jelenleg is kapacitáshatáron üzemel, így ha a Lajosmizsei vonalon a korszerűsítés mellett a viszonylatok száma is növekszik – márpedig ez egyértelműen cél – akkor a jelenlegi kétvágányú KöKi – Nyugati pályaudvar vonalszakasz kapacitása már nem lenne elegendő a forgalmi igények ellátására. A viszonylatok számának növelése esetén az egyszerűbb megoldás az lenne, hogy a vonatok csak Kőbánya-Kispest vasútállomásig közlekednének, ahogyan az a történelem során korábban is volt, és a reggeli betétjáratok szintén csak idáig közlekednek. Azonban ezzel a megoldással átszállásra kényszerítenénk a vasútvonal utazóközönségének jelentős részét. Másik lehetőség a Ceglédi vonal városi szakaszának a bővítése, ami jelentős költségekkel jár. Önmagában viszont a Lajosmizsei vasútvonal forgalma nem igényelné a Kőbánya-Kispest és a Nyugati pályaudvar között futó vasútvonal négyvágányúra építését.

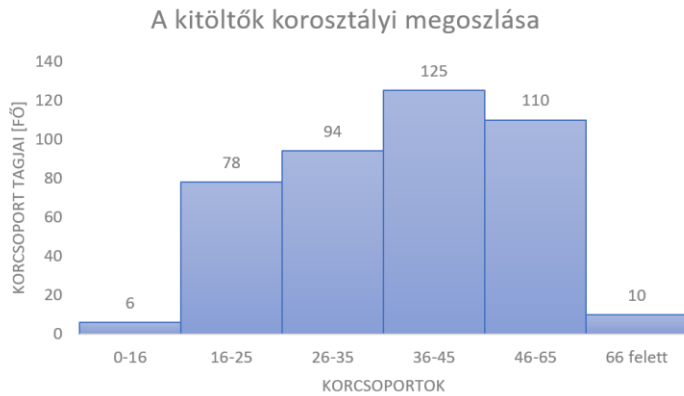
Jelen cikk szerzői által javasolt összekötési megoldás egyben oldaná meg a problémát, miszerint a vasútvonalról érkező szerelvények döntően az M3-as metró vonalán közlekednének tovább speciális, e célra kialakított hibrid járművek segítségével, így nem terhelnék a Ceglédi vonal városi szakaszát. A vizsgálataink során kimutattuk, hogy az összekötés hatására az M3-as metró utazók száma csak kis mértékben (5-10%-al) növekedne, így a javasolt fejlesztésnek ebben a tekintetben nincs akadálya.

További szempont volt a kiválasztás során az is, hogy a metró- és a vasútvonal vágányai Kőbánya-Kispest vasútállomáson egymás mellett futnak, ahol a két üzem közötti kapcsolat megvalósítható. Az

M3-as metró nyomvonala a belvárosi kapcsolatok tekintetében is kedvezőbb, a vonal átszállási lehetőséget nyújt az összes budapesti metróra, valamint számos villamos és busz viszonylatra.

3. A VIZSGÁLAT MÓDSZERTANA

A forgalmi igények meghatározásához először menetrendi struktúrák felvázolására volt szükség. Saját online és helyszíni felmérések, illetve üzemeltetői (BKK, MÁV Zrt.) adatok, valamint analitikus forgalmi modell segítségével meghatároztuk a térségben keletkező utazási igényeket.

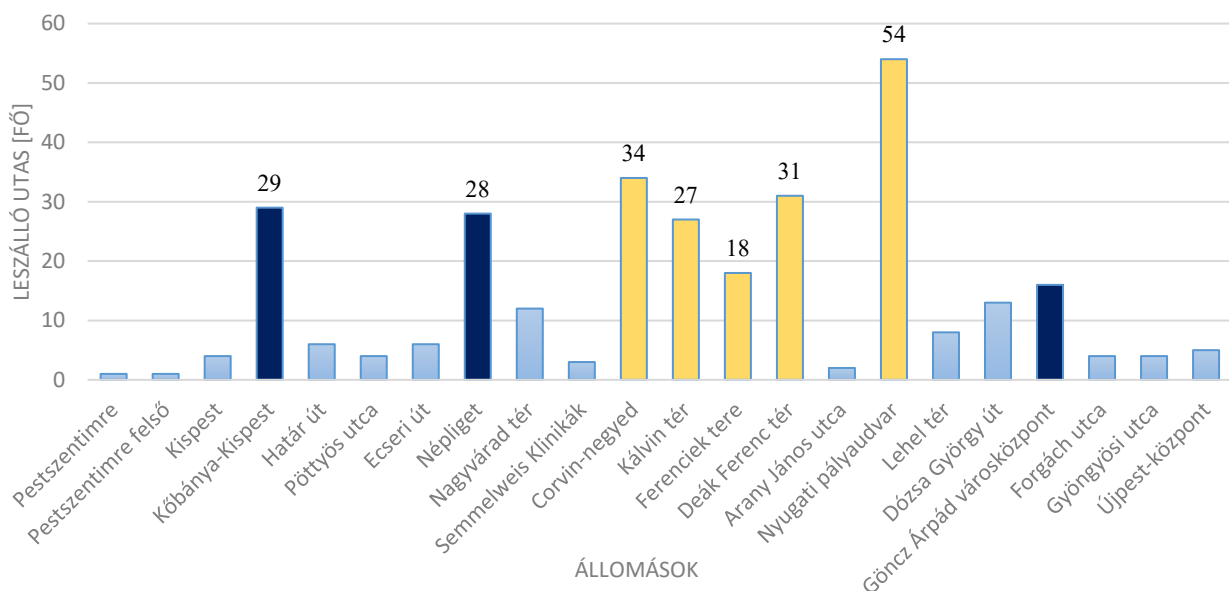


2. ábra: A kérdőív válaszadóinak korcsoport szerinti megoszlása (Google Form alapú online utazási igényfelmérés – 2020).

A kérdőív által kapott eredmények alapján, amit összesen 431 fő töltött ki, látható volt a létjogosultsága egy olyan vegyesüzem létrehozásának, ahol egyes szerelvények továbbra is a Nyugati pályaudvarra közlekednek, döntő többségük pedig az M3-as metró irányába. A kitöltők korcsoport szerinti megoszlását a 2. ábra szemlélteti.

Külön kérdés tért ki az összes szerelvény metró irányába való tovább közlekedésének esetére. Ebből kirajzolódott, hogy az utazóközönség jelentős része továbbra is a Nyugati pályaudvarnál szállna le, így nekik a

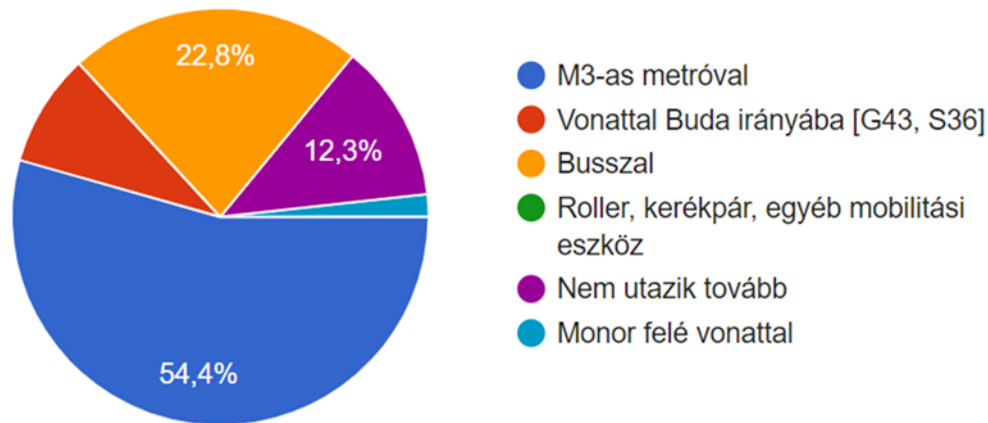
jelenlegi útvonal lenne a kedvezőbb. (3.ábra) A Nyugati pályaudvar szerepe a későbbiekben természetesen folyamatosan csökkenne, ugyanis az utazás végpontja (munkavállalás helye, iskola) sokkal rugalmasabban kezelhető, ha az M3-as metró vonaláról minden főirány elérhető. A 3. ábra alapján látható, hogy az utazók jelentős része a belvárost szeretné elérni (Corvin-negyed – Nyugati Pályaudvar), de a jelentősebb átszállópontok forgalma is kiemelkedik (pl: Népliget, Göncz Árpád városközpont).



3. ábra: Leszállások helyének megoszlása Budapesten belül, ha a metró közvetlen kapcsolatot létesítene az agglomerációval (Google Form alapú online utazási igényfelmérés – 2020).

Annak érdekében, hogy a pontos utazási irányok kirajzolódjanak, a kérdőív gráf struktúrában került kialakításra, amelynek egyik részlete a 4. ábrán látható. A felépítésnek köszönhetően minden utasnak

lekövethető volt a napi útvonala a kiindulási állomás és az úti célja között, a kérdéseket is ennek megfelelően kapták a kitöltők.



4. ábra: Továbbutazások részaránya Kőbánya-Kispest vasútállomásról (Google Form alapú online utazási igényfelmérés – 2020. május – 311 válasz alapján).

A következő lépésben a szükséges pályainfrastruktúra fejlesztések figyelembevételével több lehetséges menetrendi javaslat került kidolgozásra. Ezek a menetrendek már a kutatás során meghatározott, fejlesztésen átesett vonalra készültek, tartalmazva a metróval való összeköttetést is. A felépítésük számos tekintetben eltért egymástól, annak érdekében, hogy a lehető legkedvezőbb megoldás rajzolódjon ki. A menetrendek legfontosabb jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza, részletesebb ismertetés a TDK dolgozat 5.2.3. fejezetében található.

1. táblázat: A menetrendi javaslatok legfontosabb jellemzői.

Menetrendi változatok	Menetrendi struktúra jellege	Követési idő* (perc)	Nagyvasúti és metróüzem részaránya	Infrastruktúra igény
I.	nagyvasúti üzem a teljes vonalon, független hibrid üzem Gyálig	30 + 30	50% hibrid üzem	24 km
II.	zónázó nagyvasúti rendszer, gyáli hibrid betétjáratokkal	30 + 15	67% hibrid üzem	22 km
III.	járatsűrítés hibrid szerelvényekkel	30 + 10	67% hibrid üzem	26 km
IV.	vegyesen hibrid és nagyvasúti viszonylat, zónázó kialakítással, dabasi meghosszabbítással	30 + 20 + 20	83% hibrid üzem	40 km
V.	járatsűrítés nagyvasúti szerelvényekkel, Dabas és Inárcs-Kakucs végállomással	30 + 20 + 20	60% hibrid üzem	37 km

*„Lajosmizséig közlekedő viszonylat” + „Gyálig közlekedő viszonylat” + „Ócsáig közlekedő viszonylat követési ideje”

A tervezett ütemes menetrendek azon alapultak, hogy az agglomeráció minden települése legalább fél óránként elérhető legyen vasúttal a fővárosból, összhangban a Budapesti Agglomerációs Vasúti Stratégia [2] célkitűzéseivel. A kidolgozott struktúrák közötti különbséget a szerelvények átlagos követési ideje, valamint a hibrid és nagyvasúti szerelvények aránya jelentette. Egyes esetekben a zónázó struktúra is megjelent a menetrendekben, mely a kapacitás elosztás tekintetében a legkedvezőbbnek bizonyult.

Az utazási igényfelmérésen alapuló menetrendváltozatok és az átjárhatóság helyi körülményeit figyelembe vevő műszaki változatokra egyszerűsített költség-haszon elemzést is készítettünk, a változatok összehasonlítása érdekében. Az elemzés a TDK dolgozat 5.4. fejezetében került részletezésre [1].

Az összesített eredmények alapján minősítettük a vizsgált gyorsvasúti rendszerek átjárhatósággal elérhető szolgáltatási színvonal változását, valamint a vizsgált projekt megvalósíthatóságát.

4. FORGALMI VIZSGÁLAT PTV VISUM SZOFTVERREL²

A vizsgálati helyszín kiterjedésének nagysága, a különböző közlekedési módok egymásra hatásának számszerűsíthetősége, valamint a tervezett fejlesztés jelentősége miatt a vizsgálatához analitikus forgalmi modellre volt szükség. Ennek segítségével meg lehetett becsülni a fejlesztések hatására várható utasszámnövekedést, valamint össze lehetett hasonlítani a tervezett, új menetrendi javaslatokat egymással.

A munka során a BKK Zrt. Egységes Forgalmi Modelljének (a továbbiakban EFM) a SV04.04-es verziója került használatra. [3] A modell többek között tartalmazza Budapest agglomerációjának közúti és vasúti hálózatát a jelenlegi közforgalmú közlekedés viszonylataival együtt, követési idő alapú struktúrában. A budapesti modell a jelenlegi állapot mellett számos jövőbeli forgatókönyvet tartalmaz. Az elkészített elemzések során minden változat esetén a 2030-as távlati modell került alkalmazásra.

Az EFM a PTV AG. Visum nevű szoftver környezetében került megvalósításra. Felépítése a klasszikus 4 lépcsős modellezési eljárás alapján. Az SV04.04 modell verzióban az első három lépcsőt (forgalom keltés, -szétosztás, eszközválasztás) külön álló igénymodellezési munkarészek alkotják, melyek eredményeit a hálózati modellbe táplálják, s az említett modellező szoftver pedig ezen adatok segítségével végzi el a negyedik lépcsőt, a forgalmi ráterhelést.

4.1. A TERVEZETT VISZONYLAT MODELLEZÉSE

Az EFM-ből kiindulva, lokális módosításokon keresztül elkészítettük a tervezett új vonalat is tartalmazó forgalmi modellt, mely kapcsolatot ad a két vasútüzem között Kőbánya-Kispest vasútállomáson. A modell többi része az EFM-hez képest változatlan formában maradt és a további futtatások során annak teljes – Budapest és agglomerációját is tartalmazó – egésze kiértékelésre került.

Az EFM felépítésében különbséget tesz a közösségi közlekedés módozatai között (Vasút, HÉV, Villamos, Metró stb.). Ennek a különbségnek az egyik szembetűnő megnyilvánulása a felszállási büntetés („mode penalty”), avagy adott közlekedési mód népszerűsége az utasok közt. Ezen hatás utazási idő növekményben kerül kifejezésre, ami magában foglalja az adott módra történő átlagos várakozási időt is. Így egy metró viszonylat esetén értéke lényegesen kisebb, mint egy elővárosi, hozzávetőlegesen ritkábban járó, hagyományos MÁV viszonylatnak. A kutatás során további finomítási lehetőséget adó felmérések elvégzésére nem volt lehetőségünk, ezért az EFM beállításait meghagytuk: az új vegyes viszonylatok esetén és az új hibrid szerelvénynél a metró, a nagyvasúti szerelvények esetén a vasútra vonatkozó felszállási büntetés értéke volt érvényben.

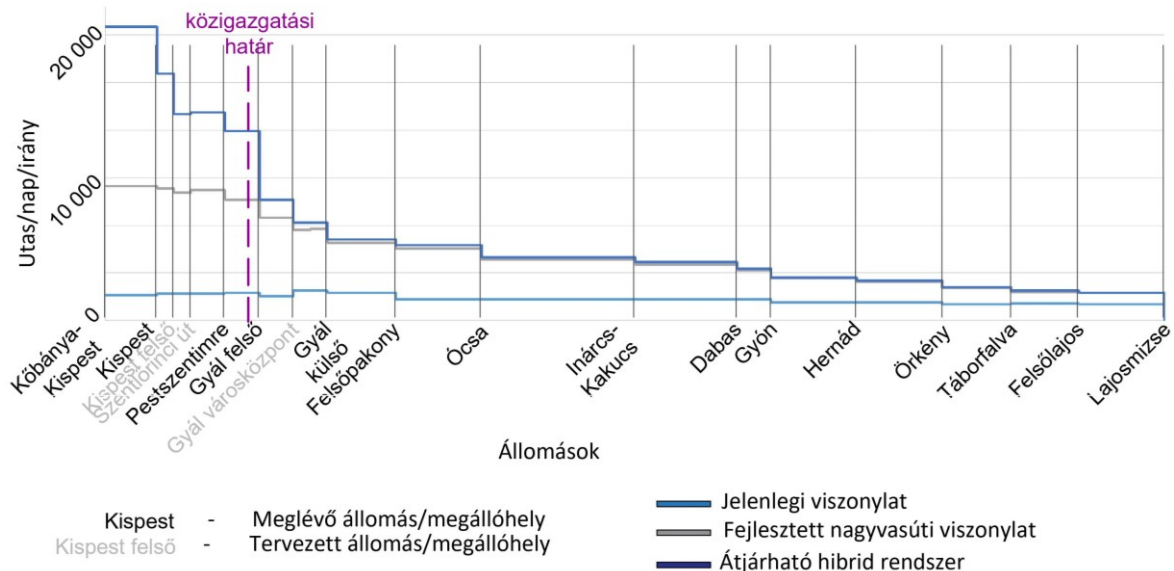
Az útvonal megszerkesztése után a szoftver menetrendi szerkesztőjébe betáplálásra kerültek a kiszámolt új menetidők, majd ezek alapján a követési idők értékei. Az EFM modell kizárólag a követési idők alapján dolgozik, így sok esetben az alapvetően nem ütemezhető menetrend ütemessé alakítása külön figyelmet igényelt.

4.2. AZ ÚJ INTEGRÁLT VISZONYLAT HATÁSVIZSGÁLATA

Annak érdekében, hogy a menetrendi javaslatok összehasonlíthatóak legyenek, mindegyik egyesével betáplálásra került a forgalmi modellbe. A ráterhelések lefutása után megállapítható volt, hogy mely esetben érhető el a legnagyobb utasszám növekedés, a költségek és a hasznok összeszámlálása során is ez lett figyelembe véve. Az átjárható rendszerrel elérhető legkedvezőbb eredményt az 5. ábra tartalmazza. Az ábrán szemléltetésre került a hasonló szolgáltatási szinttel rendelkező fejlesztett nagyvasúti viszonylat is, valamint új megálló javaslatok is megjelennek.

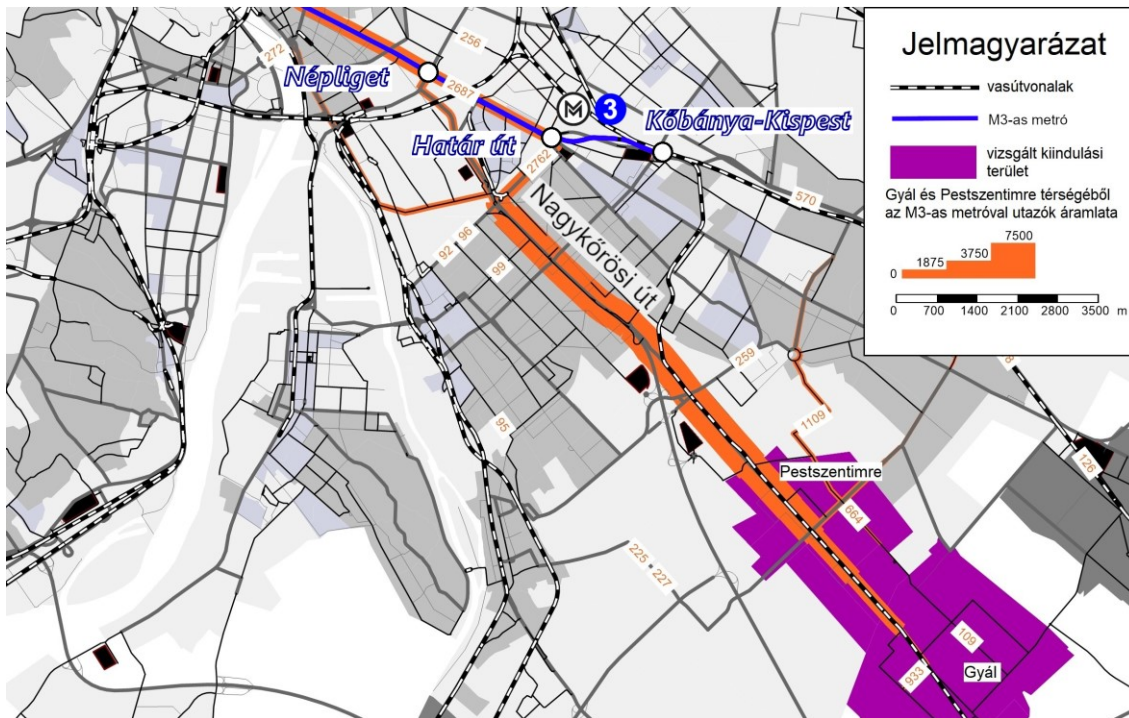
² A kutatás során a PTV Visum teljeskörű változata állt rendelkezésre, így a jelentős méretű hálózat modellezése sem jelentett problémát.

A szemléltetett átjárható rendszer esetén a menetrend gerincét hibrid rendszerű járművek alkotják 30 perces követéssel, valamint ehhez jött hozzá a nagyvasúti szerelvényekből kiállított betétjáratok, amelyek végállomása Ócsa és Dabas volt. A betétjáratoknak köszönhetően a Budapesti szakaszon a követési idő 5 percre adódott. A többi változat bemutatását a TDK dolgozat 5.3.3. fejezete tartalmazza [1].

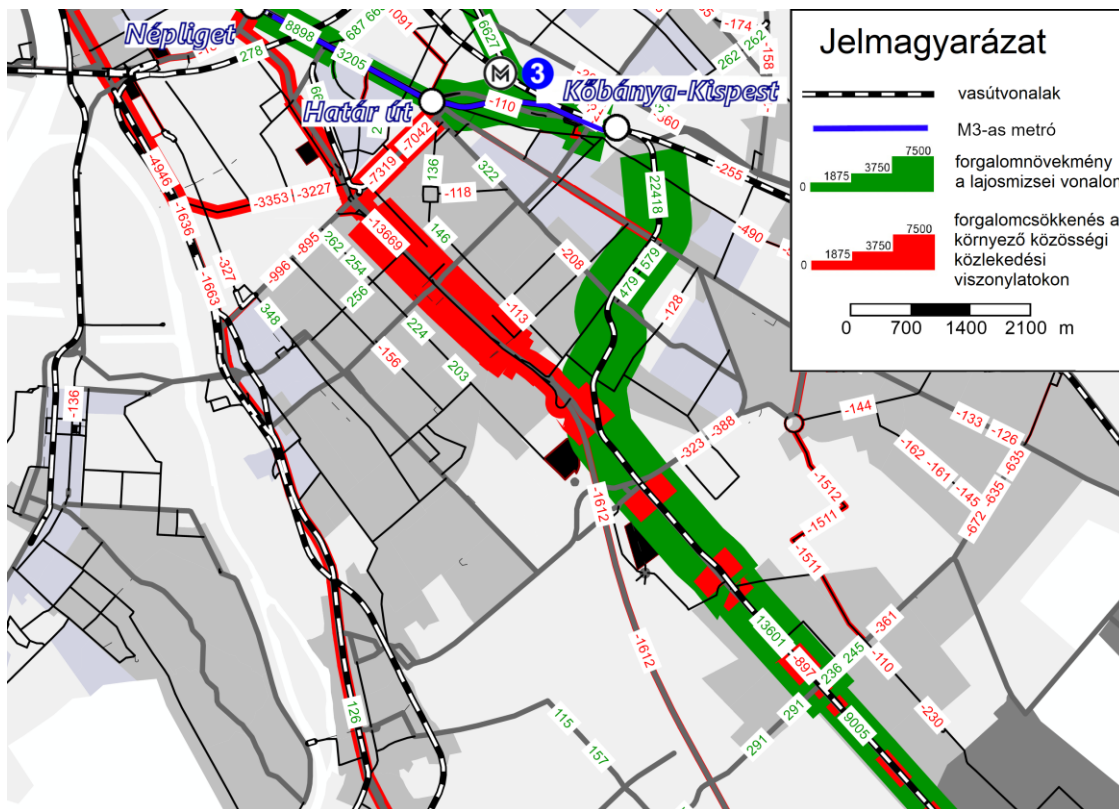


5. ábra: Az integrált közlekedésfejlesztés által elérhető, legmagasabb utasszám növekedés becsült értéke Budapest közigazgatási határán belüli és kívüli területeken.

Az értékek alapján elmondható, hogy az eredeti állapothoz képest Budapest közigazgatási határán belül (Kőbánya-Kispest - Gyál) több mint tízszeres utasszámnövekedés érhető el, ami a helyi közlekedés teljes átrendeződésének köszönhető. A térségből a belváros irányába közlekedők jelentős része utazik az M3-as metróval, amit a közlekedők jelenleg BKK busz viszonylatok (84E, 84M, 89E, 94E, 94M, 184, 284E, 294E, 294M) segítségével érnek el. A 6. ábra alapján látható, hogy a lakosság jelentős része a Nagykőrösi úti buszkorridorot veszi igénybe az M3-as metróhoz történő eljutáshoz.



6. ábra: A Pestszentimre és Gyál térségéből az M3-as metróval utazók áramlata (jelenlegi állapot).



7. ábra: Pestszentimre és Gyál térség közösségi közlekedésének átrendeződése kölcsönösen átjárható integrált közlekedési rendszer megvalósulása esetén. A feltüntetett értékek a Budapest irányába tartó napi utasforgalmat szemlélteti. (A vasútvonal mentén látható a piros és a zöld sávok váltakozása a két párhuzamosan futó útvonal egybemosódásának következménye).

A javasolt fejlesztés hatására a MÁV szerelvények által is kölcsönösen átjárható hibrid metró üzem kitolódna Pestszentimre és Gyál térségébe, így az utazóközönség már itt fel tudna szállni a nagyvasút

nyomvonalán közlekedő integrált viszonylatokra, így számos E jelű buszviszonylat megszüntethető a környéken. Az érintett terület forgalmi átrendeződését a 7. ábra szemlélteti.

A vasútvonal fejlesztése kedvező átrendeződést mutatott az agglomerációs területeken is, ahol számos VOLÁN buszjárat kerülhetne kiváltásra. A felszabaduló erőforrásokat célszerű lenne a jövőben az új vasútvonalra ráhordó járatként üzemeltetni, a kényelmes csatlakozások érdekében közös peronon történő átszállási lehetőséget biztosítva.

A vizsgált során alkalmazott EFM modell (SV.04. kiadás) az egyéni és a közösségi közlekedési mód közötti váltást felépítéséből adódóan nem tudja a hálózati modellen belül kezelni, ezekhez további számítások szükségesek a Visum szoftverkörnyezeten kívül. Mivel a modell ilyen irányú fejlesztése a munka keretein jelentősen túlmutatott volna, a módváltás eltolódása (modal shift) mellőzésre került a számításokból. Így az eredmények kizárólag azt szemléltetik, hogy a jelenlegi utazási igények mellett a közösségi közlekedésen belül milyen átrendeződések várhatóak a jövőre nézve. Ezzel alábecsülve a távlati hasznokat, melyek további modell fejlesztést követően várhatóan fokozottabb értékkel lennének kimutathatóak.

A kapott eredmények alapján becsülhető volt az utasszám növekmény is az M3-as metró vonalán. Molnár Levente előzetes vizsgálatai azt mutatták, hogy utas kapacitás szempontból nincs akadálya a metró és a vasútvonal összekötésének, ugyanis a megnövekedett forgalom jelentős része az a városon belüli közlekedési folyosók átrendeződéséből adódik. Azok az utazók, aki eddig a térségből busszal közlekedtek a Határ úti metróállomásra és ott szálltak fel a metróra, már Pestszentimre – Gyál területén szállnának fel a szerelvényekre. A metró legforgalmasabb állomásán végzett helyszíni számítások alátámasztották, hogy növekvő utasforgalom esetén két szerelvény között kiürül az állomások peronja. Ez azt jelenti, hogy az állomások tekintetében is van még szükséges kapacitási tartalék.

Mint minden, új viszonylat megnyitásával foglalkozó tanulmány esetén, jelen munka során is a jövőben várható utazási idő rövidüléssel és egyéb járulékos pozitív hatásokkal³ számoltunk.

A 2. táblázatban Gyál felsőről a Deák Ferenc térre utazók menetidő az összehasonlítása látható. A jelenlegi állapot esetén a leggyorsabb eljutási lehetőséget a busz szolgáltatja, ezért a fejlesztett változat ezzel került összehasonlításra.

2. táblázat: Eljutási idők jelenleg és a javasolt fejlesztés esetén Gyál felsőről a Deák Ferenc Térre.

Jelenlegi állapot szerint:	
Gyál felsőről 20 perc busz a Határ útra, ott 3 perc séta a metróig majd 2 perc átlagos várakozási idő, majd 14 perc utazás az M3-as metróval a Deák Ferenc térre	39 perc
A javasolt integrált közlekedési rendszer esetén:	
15 perc Gyál felsőről Kőbánya-Kispestre, majd onnan átszállás nélkül 16 perc a Deák Ferenc térre	31 perc

A fejlesztés utazásonként 8 perc megtakarítást jelent, ám ezzel a számértékkel nem fejezhető ki az a valódi nyereség, amelyet az utazók eddig az átszállások következtében szenvedtek el.

Ha figyelembe vesszük, hogy az esetek többségében ezt az utazást az ellenkező irányba is megtörténik, akkor éves szinten 252 munkanappal számolva közel 67 órát takarítunk meg egy utazóra vetítve.

A költségek és hasznok összevetése során is ezek az időmegtakarítások lettek figyelembe véve, 10 kiválasztott forgalmas Budapesti csomópontra összegezve. A kapott időmegtakarítás végül fel lett sorozva a térségre jellemző átlagos jövedelemmel, amiből kiderül, hogy naponta hány Forint megtakarítást érhetünk el.

³ nemzetgazdasági haszon, felszabaduló erőforrások, ...

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az utasszám adatok (5. ábra) egyértelműen igazolták, hogy mindenképpen érdemes és célravezető a Lajosmizsei vasútvonal és az M3-as metró átjárhatóságával foglalkozni. A jelen cikkben javasolt fejlesztések következtében lényegesen kevesebb (BKK és VOLÁN) járművel ki lehet szolgálni az utasforgalmi igényt, ami kisebb üzemköltséggel jár. Ökológiai szempontból is kedvezőbb a térség kötőpályás közlekedésének előnyben részesítése, az alacsony járműszám kevesebb károsanyag kibocsájtást is jelent, illetve az egyéb közúti közlekedést is kevésbé akadályozza, melynek saját kibocsájtása is csökkenhet ezáltal. A műszak kompatibilitás vizsgálat eredményei azt igazolták, hogy nincs technikai korlátja a két rendszer összekötésének, hibrid járművek üzemeltetésével a kapcsolat biztosítható a két vasútüzem között.

Amíg a városi területeken belül egyértelműen levonható a metróval való közvetlen kapcsolat pozitív hatása, addig a külső szakaszokon nem jelentkezett kiemelkedő utasszám emelkedés. Ennek következtében érdemes gazdaságilag megfontolni az átjárható rendszer üzemét az agglomeráció területén, így a jövőben fő feladat megtalálni azt a települést a vasútvonalon, ameddig érdemes a hibrid viszonylatokat üzemeltetni.

A jelen publikációban megjelenő kutatások az ITM NKFIA által nyújtott TKP2020 IKA támogatásból, az NKFIH által kibocsátott támogatói okirat alapján valósultak meg (projektazonosító: TKP2020 BME-IKA-VIZ).

6. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: Molnár, L. 2020: Budapesti városi, - és elővárosi gyorsvasúti rendszerek integrált közlekedésfejlesztési lehetőségeinek vizsgálata - Az M3-as metró és a 142-es sz. Lajosmizsei vasútvonal kölcsönös átjárhatóságának részletes vizsgálata - <http://tdk.bme.hu/EMK/DownloadPaper/Budapesti-varosi-es-elovarosi-gyorsvasuti>

[2]: BAVS – Budapesti Agglomerációs Vasúti Stratégia - <https://budapestvasut2040.hu/>

[3]: EFM – Egységes Forgalmi Modell - <https://bkk.hu/fejlesztések/egyseges-forgalmi-modell/>



A Győr – Hegyeshalom autópályaszakasz huszonöt éve Néhány tanulság 1996-2021

Bachmann Dóra¹, Orosz Csaba¹

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Út és Vasútépítési Tanszék

E-mail: bachmann.dora@emk.bme.hu, orosz@uvt.bme.hu

DOI: [10.36246/UL.2021.1.03](https://doi.org/10.36246/UL.2021.1.03)

KIVONAT

Huszonöt éve, 1996. január 4-én adták át az úthasználóknak az első koncessziós formában épült magyarországi autópálya-szakaszt. Így jött létre az M1 autópálya kapcsolata Bécs és Nyugat-Európa felé. A cikk bemutatja, hogyan változtak negyedszázad alatt a forgalmi viszonyok, hogyan alakult át a magyarországi és az európai díjszedési környezet.

Kulcsszavak: Közlekedési hálózatfejlesztés, forgalomfejlődés, útdíj, PPP

ABSTRACT

Twentyfive years ago, a concession motorway investment was completed in North-West Hungary. The 43-kilometer-long motorway made a connection from Budapest, Hungary to Vienna and to Western Europe. Since 1996 the project faced financial difficulties and political problems. Traffic data, toll levels, international experiences, lessons learned are analysed in the article.

Keywords: transport infrastructure, transport network development, development of traffic, road tolls, PPP

Bachmann Dóra

Okleveles építőmérnök, urbanista. 2021 tavasza óta tudományos munkatárs a BME Út és Vasútépítési Tanszéken. Előtte a Transinvest-Budapest Kft-nél közlekedési projektek előkészítésében dolgozott. Érdeklődési területe a közlekedésbiztonság és a közlekedési beruházások értékelése.

Orosz Csaba PhD.

Okleveles építőmérnök, mérnök matematikus. 1984 óta dolgozik a BME Út és Vasútépítési Tanszékén. 1999 óta egyetemi docens. Kutatási területe a közlekedés gazdasági kérdései, közlekedési beruházások értékelése.

1. BEVEZETÉS

Magyarországon huszonöt éve, 1996. január 4-én, csütörtökön adták át az úthasználóknak az első koncessziós formában épült autópálya-szakaszt. Egyben ez lett az ország első modernkori direkt díjas útja. Az Útügyi Lapok és a BME Út és Vasútépítési Tanszéke 2021. február 23-án, kedden egy szakmai napot szentelt a visszaemlékezéseknek, a tanulságoknak. Ezen a rendezvényen a projekt megálmodói, létrehozói, segítői és kritikusai felidéztek a megvalósítás folyamatát, körülményeit, élményeit és buktatóit. Az eltelt huszonöt esztendő segíthet tárgyilagosabban értékelni az akkori úttörőmunkát de a

végző mérleghez még sok idő kell. „A PPP és a magyar autópályák.” Az Útügyi Lapok különszáma, 2021 márciusában foglalta össze a legfontosabb emlékeket. [1]

Hogyan váltak be az előrebecslések? Hogyan alakult az autópálya forgalma és finanszírozása? Reálisan értékelték-e a politikai és a gazdasági kockázatokat? Pozitív vagy negatív ennek a vállalkozásnak a mérlege?¹ Cikkünkben közöljük az elmúlt 25 év néhány forgalmi és díjfizetési adatát; továbbá hazai és nemzetközi trendeket, szemléleti átalakulásokat mutatunk be.²

2. A FORGALOM FEJLŐDÉSE ÉS MEGOSZLÁSA AZ M1 AUTÓPÁLYA NYUGATI SZAKASZÁN

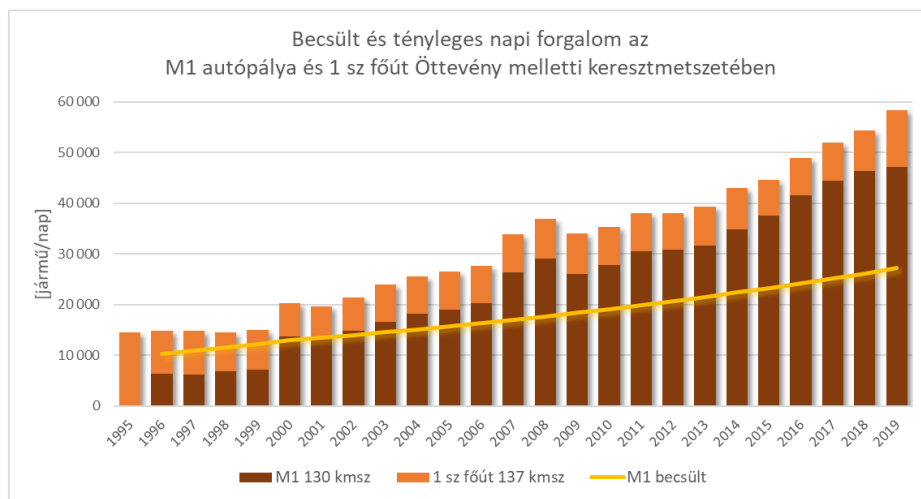
A megvalósíthatósági tanulmányok egyik alappillére a *megbízható forgalmi modell*, a jó forgalmi előrebecslés. Az M1 tervezett koncessziós szakaszára is készült elő-megvalósíthatósági tanulmány (Prefeasibility Study, 1991) [2], amely azonos forgalmi feltételezések mellett többféle finanszírozási változatot vizsgált. A forgalmi modell 1995-re 17.000 jármű/nap folyosó forgalmat feltételezett, 15%-os tehergépjármű aránnyal. A folyosó forgalmának 40%-a, továbbá még 10%-nyi generált forgalom (induced traffic, generated traffic) az új autópályát veszi igénybe. A tanulmány szerint a személygépkocsik 50%-a tér át az autópályára, szintén 10%-os generált, új forgalmat feltételezve. Ez az 50%-os „átterési arány” közel volt az osztrák-olasz fizetős hágók, alagutak kezdeti mért adataihoz. Az idegenkedés az útdíjaktól ugyanis egyáltalán nem magyar sajátosság.

Az M1 130+114 és az 1.sz. főút 137+660 szelvényében elhelyezett forgalomszámláló állomások adatait, (3022 és 3014 számú állomások) a folyosóforgalom évenkénti alakulását mutatja az *1. ábra*. Ezek Ötveny község környékén vannak. (Az adatok forrása: OKA kiadványok, [3]). A világossárga vonal az M1 autópálya becsült forgalmát jelzi. A grafikonon látható, hogy a sötét oszlopokkal jelölt autópálya forgalom 2000-ig a várakozások alatt maradt, majd a délszláv háború befejezése és a matricás rendszer bevezetése után abszolút értékben és arányában is növekedésnek indult. Huszonöt éves távlatban a forgalom előre becslése helyesnek látszik. Nyilvánvaló, hogy direkt személygépkocsi útdíjak esetén az autópálya részaránya kisebb lenne, és az összes forgalom is valamivel alacsonyabban alakulna.

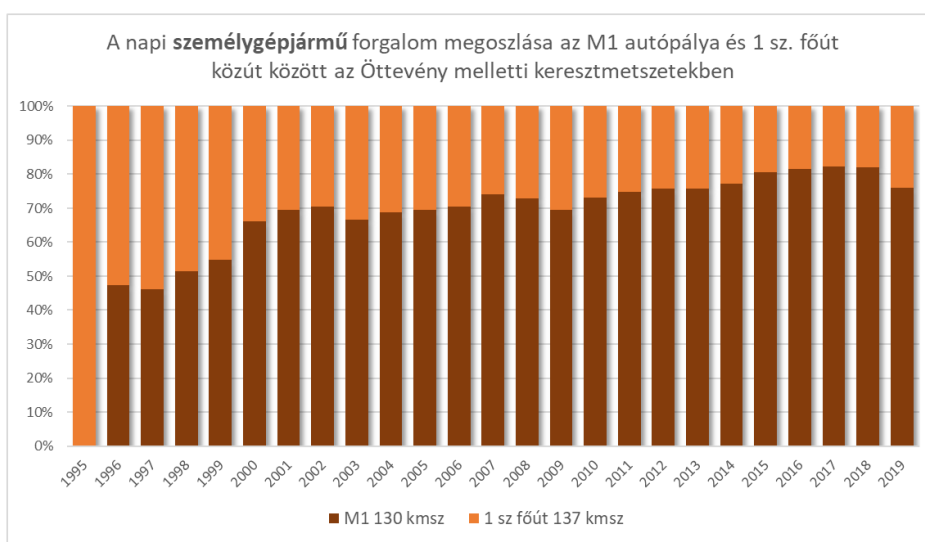
A *2. ábra* és a *3. ábra* szemlélteti, hogy a személygépjármű forgalom aránya a kezdeti 50%-50%-os autópálya-főút arányról – amely megfelelt az előre becsléseknek és a nemzetközi tapasztalatoknak – a 2010-es évekre 80%-20%-ra növekedett. A teherforgalomból az M1 autópálya részaránya a direktdíjas időszakban 20% körül alakult. A matricás, átalánydíjas rendszer bevezetésével 2000-ben ez a részarány 70%-ra ugrott fel és tartósan magas maradt. 2019 körül a tehergépjárművek több mint 95%-a már az autópályát használja. Az autópálya használatáért átlagosan *110 Ft/km*, a főút igénybevételéért *~70 Ft/km* a nehézárujárművek fajlagos díja. Nyilvánvaló, hogy korszakhatár 2013. július 1, hétfő az elektronikus teherautó díjak bevezetése. Ekkortól a haszonjárművek átalánydíjak, matricák helyett ismét direkt díjakat fizetnek. Ettől a „korszakhatártól” függetlenül a közlekedési folyosóban a teherforgalom részaránya folyamatosan nőtt, majd stabilizálódott. 1995-ben 11%, 2008-ra már 25%. 2009 óta ezen a szinten - 25% körül mozog. Az 1. számú főúton viszont a teherforgalom aránya az ezredfordulón még elérte a 20%-ot, majd 2003-tól csökkenésnek indult: 2019-ben *~5%* az arány. Ez kedvező a környező települések számára. A *4. ábra* szemlélteti, hogy az M1 autópályán a 2003-as trendforduló óta 22% és 33% között ingadozik a tehergépjármű arány.

¹ Kína egykori miniszterelnökét, Csou En-laj-t, Nixon elnök 1972 februári, pekingi látogatásakor egy külföldi újságíró kérdezte a francia forradalom értékeléséről. A kínai kormányfő rövid, elhíresült válasza a következő volt: „Ezt még korai lenne megmondani.” Egyes vélemények szerint a szituációt félreértelmezte a közbeszéd: az eredeti kérdés az 1968-as párizsi diáklázadásokra vonatkozhatott, nem pedig az 1789-es forradalomra.

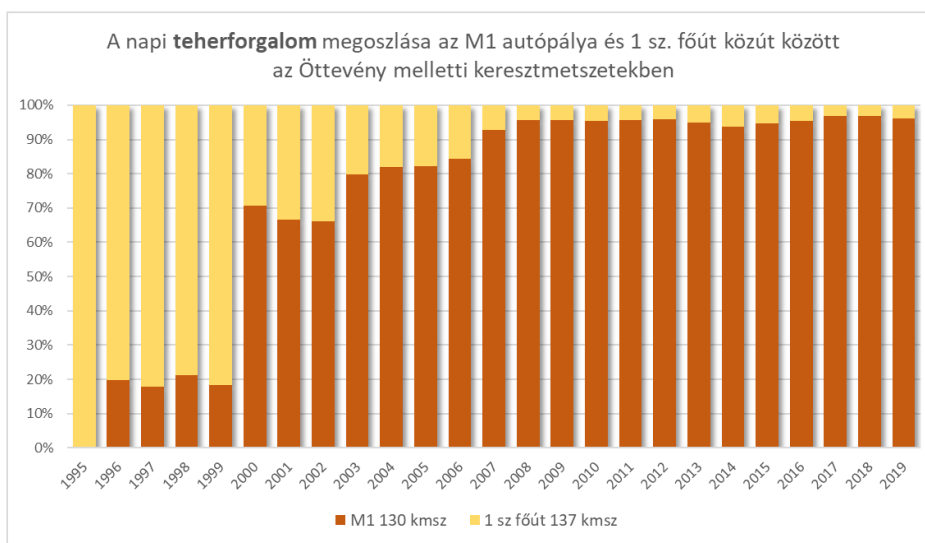
² Külön aktualitást ad a témának: A 2021. május 26-i Magyar Közlönyben megjelent 279/2021. (V. 26.) Kormányrendelet módosította Az egyes koncesszióköteles tevékenységek tekintetében az illetékes ágazati miniszteri feladatok ellátásáról szóló 495/2020. (XI. 11.) Kormányrendeletet. A koncesszióköteles tevékenységek listáját az alábbi pontokkal bővítette: „4. A hulladékról szóló törvény szerinti állami hulladékgazdálkodási közfeladat. 5. Az országos közutak és műtárgyaik létrehozása és működtetése.”



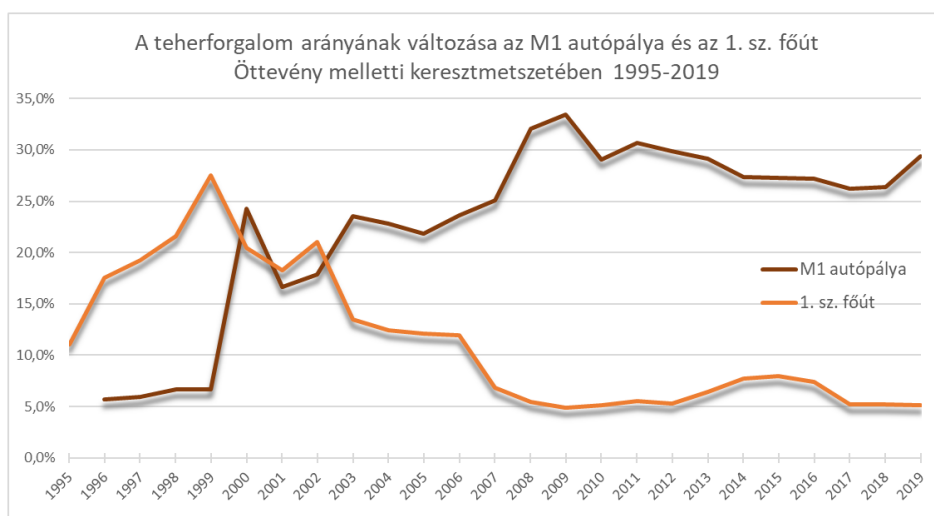
1. ábra: Becsült és tényleges átlagos napi forgalmi adatok az M1 és a 1. sz. főút Ötvevény melletti keresztmetszeténél, ÁNF [Jármű/nap].



2. ábra: A személygépjármű folyósó forgalom megoszlása az autópálya és a főút között [1996-1999: 47-54%. 2000-2019: 68-82% az M1 autópálya részaránya].



3. ábra: A tehergépjármű folyosóforgalom megoszlása az autópálya és a főút között [1996-1999: 18-20%. 2000-2019: 66-97% az M1 autópálya részaránya].



4. ábra: A teherforgalom arányának változása az M1 autópályán és az 1. sz. főúton.

[Rendre $tgk / \text{összes jármű/nap}$

M1 autópálya 1996-1999: 6-7% 2000-2019: 16-33%.

1. számú főút 1995-1999: 11-27% 2000-2019: 21% → 5%]

1. táblázat: Átlagon napi forgalom idősorok az M1 autópálya és az 1. sz. főút Öttevény és Levél melletti számláló állomásain.

	M1 130+114		1. főút 137+660		M1 171+ 770		M1 163+000		1. főút 164+990	
	ÁNF [j/nap]	Tgk arány [%]	ÁNF [j/nap]	Tgk arány [%]	ÁNF [j/nap]	Tgk arány [%]	ÁNF [j/nap]	Tgk arány [%]	ÁNF [j/nap]	Tgk arány [%]
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
1995	-	-	14 600	11,0%	-	-	-	-	13 400	12,1%
1996	6 300	5,7%	8 400	17,5%	12 300	9,8%	-	-	9 500	17,7%
1997	6 200	6,0%	8 700	19,3%	11 600	11,9%	-	-	10 900	17,7%
1998	6 800	6,7%	7 800	21,6%	11 400	15,0%	-	-	12 200	20,1%
1999	7 100	6,7%	7 800	27,5%	9 400	18,2%	-	-	10 200	20,3%
2000	13 600	24,3%	6 700	20,5%	10 400	18,4%	-	-	8 900	19,7%
2001	13 500	16,7%	6 200	18,2%	11 000	19,8%	-	-	8 600	26,0%
2002	14 900	17,9%	6 500	21,0%	13 200	18,2%	-	-	6 500	21,0%
2003	16 600	23,5%	7 400	13,5%	13 100	19,3%	-	-	7 400	13,5%
2004	18 200	22,8%	7 300	12,4%	13 300	18,3%	-	-	7 300	12,4%
2005	19 000	21,9%	7 400	12,1%	13 800	17,3%	-	-	7 400	12,1%
2006	20 300	23,6%	7 400	12,0%	14 000	20,2%	-	-	7 400	12,0%
2007	26 400	25,1%	7 500	6,8%	15 300	24,8%	-	-	7 500	6,8%
2008	29 000	32,1%	7 800	5,5%	15 900	23,1%	-	-	7 800	5,5%
2009	26 000	33,4%	8 000	4,9%	15 700	21,0%	-	-	8 000	4,9%
2010	27 700	29,0%	7 600	5,2%	16 700	27,7%	-	-	7 600	5,2%
2011	30 500	30,7%	7 500	5,6%	18 000	29,8%	-	-	7 500	5,6%
2012	30 800	29,9%	7 300	5,3%	20 200	23,9%	28 200	33,3%	7 300	5,3%
2013	31 600	29,2%	7 600	6,4%	19 700	23,4%	29 400	31,6%	10 100	4,6%

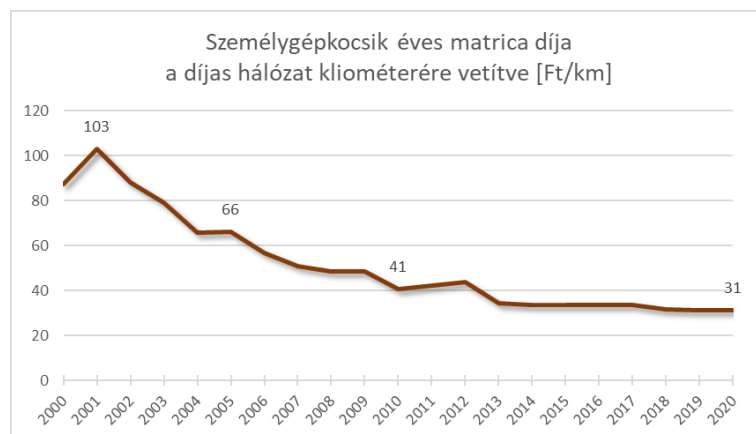
2014	34 800	27,3%	8 200	7,8%	20 200	24,3%	34 400	29,8%	11 000	5,2%
2015	37 500	27,2%	7 100	7,9%	23 400	17,6%	38 200	28,6%	10 500	5,3%
2016	41 500	27,2%	7 400	7,4%	22 200	18,6%	40 700	25,5%	11 000	5,2%
2017	44 500	26,2%	7 500	5,2%	34 500	23,0%	43 500	26,1%	11 200	4,8%
2018	46 400	26,4%	7 900	5,2%	28 200	18,6%	45 600	26,4%	11 800	4,7%
2019	47 200	29,4%	11 200	5,1%	28 400	17,5%	46 700	25,9%	11 700	5,5%

100 jármű/nap – kerekített értékek

[„g-h oszlopok”. Az M15 gyorsforgalmi út elágazásától keletre. 2012 óta működik a számlálás!]

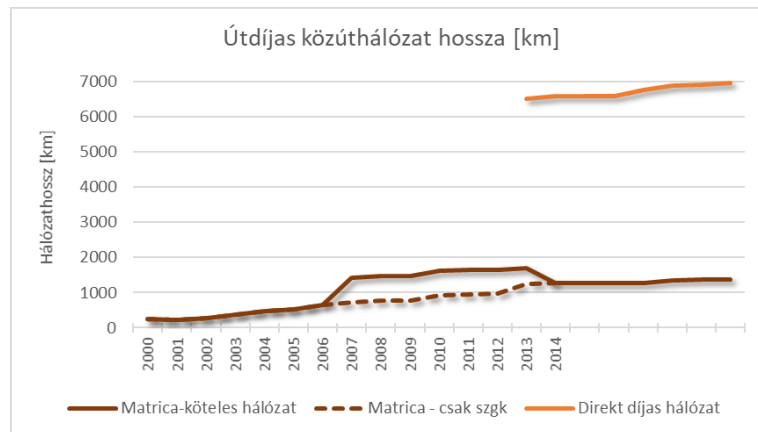
3. A MAGYAR ÚTDÍJ-RENDSZER VÁLTOZÁSAI, FAJLAGOS ÚTDÍJAK ÉS BEVÉTELEK

A Nemzeti Autópálya Rt. 2000-ben vezette be az egységes, időalapú autópályadíjakat, a matricás rendszert. 2000-ben az M1 és M3 autópályák teljes hosszán kezdték alkalmazni, majd 2003-ban az M7-re, és 2004-ben az M5 autópályára kiterjesztve állt elő az országos rendszer. 2007-ben 42 főúti szakasz is díjkötelessé vált csak a tehergépjárművek számára. 2015-ben az M0 autót ingyenessége is megszűnt. Az éves matrica ára személygépkocsik számára (D1 kategória) 22.000 forintról indult 2000-ben, 2007-től 37.200 forint, 2012-2020 között pedig 42.980 forint volt. Az éves matrica egy kilométerre vetített „virtuális útdíját” az 5. ábra mutatja, a díjköteles hálózat alakulása a 5. ábrán látható. A „virtuális útdíj” fogalmat Siposs Árpád és Kálmán László publikációja definiálta [4].



5. ábra: Személygépkocsik kilométerre vetített, éves használati díja 2000-2020.

[2001 óta a kilométerenkénti matrica költség, a fajlagos költség szigorúan monoton csökken. Az éves díj ugyanakkor a legmagasabb Európában és világszerte.]



6. ábra: Magyarországi díjköteles úthálózat hossza 2000-2020.

[2007 és 2012 között a tehergépkocsik matricája egyes főút szakaszokon is kötelező volt. 2013. július 1-től a tehergépkocsik 6500 kilométernyi közúthálózaton kezdtek távolságarányos és szolgáltatásarányos direkt díjakat fizetni.]

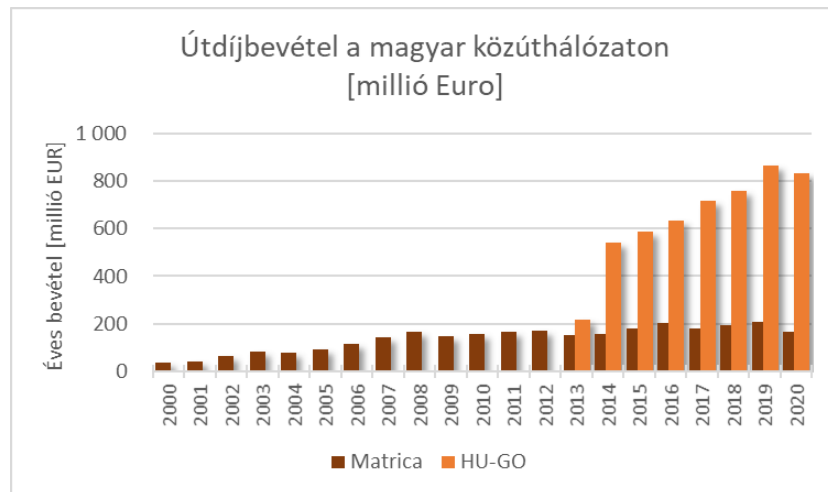
Az országosan matricarendszer (HD: használati díjas díjfizetési rendszer, időtartamhoz kötött használat) bevezetésének célja az volt, hogy fedezze gyorsforgalmi úthálózat üzemeltetési és fenntartási költségeit. A 2000-es évek második felére azonban kiütköztek a rendszer problémái:

- a) A gyakori és eseti úthasználók, illetve rövidebb és hosszabb szakaszon utazók nem fizetnek egymáshoz képest arányos díjakat.
- b) A gyorsforgalmi úthálózat bővülése nyomán lényegesen (kb. 40%-ára) csökkent az egy megtett járműkilométerre eső bevétel. [5]
- c) A díjbevétel mértéke erősen korlátozott. A folyamatosan növekvő hálózat üzemeltetése, fenntartása, fejlesztése rövidesen finanszírozhatatlanná válik.

Toldi-Mészáros-Siposs (2012) cikke szerint [6] 2004-2011 között a díjköteles szakaszokat használók forgalmi teljesítménye a hatszorosára, a díjbevétel pedig csupán a háromszorosára emelkedett.

- d) Az adófizetők jelentősen hozzájárulnak a hálózat kiépítéséhez és üzemeltetéséhez, de jelentős részük nem veszi azt igénybe [7]

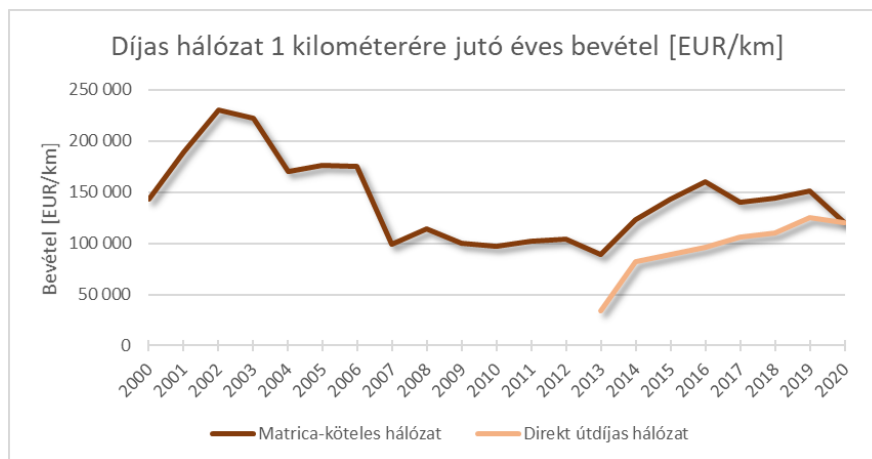
A megtett úttal arányos díjszedési rendszert, az UD rendszert (más néven Hu-Go rendszert) 2013-ban vezették be mintegy 6500 km gyorsforgalmi úton és főúton. A bevezetés után a személygépkocsi matrica-bevételek megmaradtak a korábbi évek szintjén. A távolsággal arányos útdíjak ugyanakkor 3-4-szeres bevételt hoztak, így 4-5-szörösére emelték az összbevételeket. (ld. 7. ábra, forrás: [8]). Megjegyzendő, hogy a 2013-2016 években a bevételek kb. 22%-a az M1 autópályáról származott, ami a díjköteles hálózat durván 3%-át teszi ki (180 km M1 / 6500 km hálózat) [9].



7. ábra: Útdíjbevételek a magyar közúthálózaton 2000-2019.

Az UD rendszerben a tehergépjárművek 22-26 Eurocent útdíjat fizetnek kilométerenként (ld. 2. táblázat). A hálózat kilométerére vetített fajlagos bevételt mutatja a 8. ábra. Jól látható, hogy az időalapú útdíjas (matricás) rendszerben a díjköteles hálózat 2007-es kiterjesztése során, illetve azt követően az egy kilométerre jutó bevétel jelentősen csökkent, majd a HD és UD rendszerek szétválasztása után ismét növekedésnek indult. A jelentősen nagyobb hálózaton kisebb forgalmi volumennel, magas útdíjat fizetnek a tehergépjárművek. A beszédett „tehergépkocsi útdíjak” fajlagos értéke folyamatosan nőtt a bevezetés óta. 2020-ra a kétféle díjszedési rendszerből befolyó útdíjak hálózati egységre vetített értéke közel került egymáshoz. A 2. táblázat 2019-es sora szerint:

Szkg: 1380 km 208 millió EUR 67 mrd Ft fajlagosan 151 ezer EUR/km e2019 cella
 Tgk: 6914 km 864 millió EUR 276 mrd Ft fajlagosan 120 ezer EUR/km f2019 cella



8. ábra: A díjköteles úthálózat 1 km-re jutó éves bevétele 2000-2019.

2. táblázat: Útdíj bevételek a magyar közúthálózaton 2000-2019.

	Hálózat [km]		Bevétel [millió EUR]		Fajlagos bevétel [EUR/km]		Éves szkg díj [HUF]	Éves szkg díj [EUR]	Virtuális szkg díj [HUF/km]
	Matrica	UD	Matrica	UD	Matrica	UD	Matrica	Matrica	Matrica
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
2000	252		36		143 000		22 000	86	87
2001	226		43		189 000		23 300	88	103
2002	272		63		230 000		24 000	98	88

2003	366		81		222 000		29 000	121	79
2004	464		79		170 000		30 500	116	66
2005	529		93		176 000		35 000	142	66
2006	651		114		175 000		37 000	147	57
2007	1 425		142		99 000		37 200	146	51
2008	1 469		168		114 000		37 200	145	49
2009	1 469		146		100 000		37 200	133	49
2010	1 612		156		97 000		37 200	138	41
2011	1 640		167		102 000		40 000	145	42
2012	1 632		169		104 000		42 980	140	44
2013*	1 697	6 500	151	218	89 000	34 000	42 980	146	34
2014	1 275	6 574	157	539	123 000	82 000	42 980	142	34
2015	1 275	6 574	182	587	143 000	89 000	42 980	136	34
2016	1 275	6 574	204	633	160 000	96 000	42 980	136	34
2017	1 275	6 750	179	717	141 000	106 000	42 980	139	34
2018	1 356	6 880	196	757	145 000	110 000	42 980	139	32
2019	1 380	6 914	208	864	151 000	125 000	42 980	134	31

* 2013-ban június 30-ig még matricás rendszer volt. Július 1-től indult a 3,5 tonnánál nehezebb járművek „UD útdíj rendszere”.

4. A NEMZETKÖZI ÚTDÍJ RENDSZEREK VÁLTOZÁSAI

Ebben a fejezetben egy korábbi, 1998-ban „*A regionális fejlődés és az úthasználati díjak néhány összefüggése nemzetközi összehasonlításban*” címmel írt cikkünk néhány összefüggését szeretnénk bő 20 éves időtávból felidézni [10]. A cikkben az eltérő útdíjszedési rendszerek fajlagos díjait és bevételeit hasonlítottuk össze. Akkor Európában két alapvetően különböző díjszedési rendszer működött:

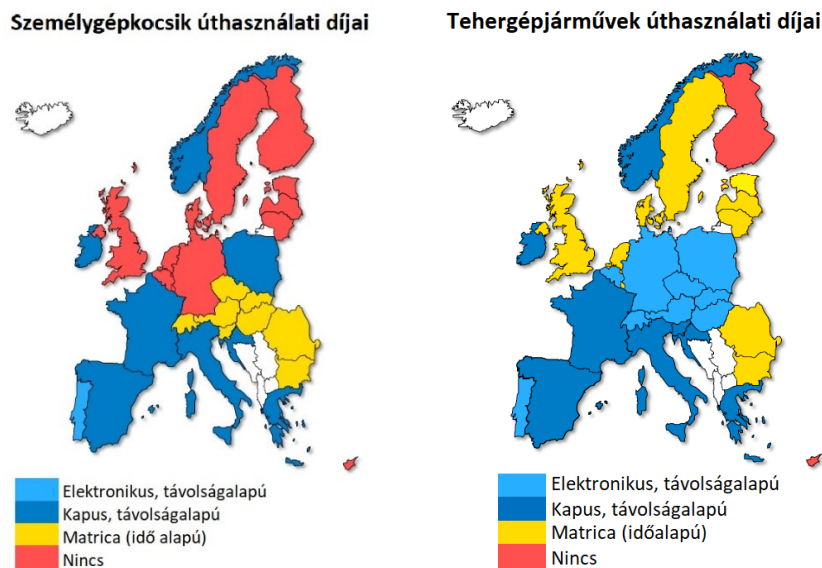
- *Távolsággal, illetve használattal arányos direkt útdíjak:*
Elsősorban magántőke bevonásával épült autópályákon, ahol a beruházás költségeit közvetlenül az útdíjak fedezik (pl: Franciaország, Olaszország, Spanyolország, Portugália). Direkt útdíjat alkalmazott még Szlovénia az állami forrásból épített autópályákon, és Ausztria a magas építési és fenntartási költségekkel járó alpesi hágókon, Románia és Dánia pedig a nagyméretű folyami, illetve tengeri hidakon.
- *Időarányos útdíj, azaz matrica rendszer* működött Svájcban, Ausztriában, Csehországban és Szlovákiában.

Az ezredforduló előtti időszakban a kétféle útdíjrendszert nem alkalmazták „vegyesen”, azaz eltérően személygépjárművek és tehergépjárművek esetén. 2001 óta több országban is változtak a díjfizetési rendszerek. Más stratégiai elvek, trendek működnek, új, olykor populista politikai megfontolások terjednek. (Jellemzően az állami pénzből épített és fenntartott autópályákat működtető országokban történt változás.) Az eltelt évek több országban világossá tették, hogy a viszonylag alacsony fajlagos matricaárak nem elegendőek a fenntartási (és esetleg építési) költségek fedezéséhez, illetve túlhasználathoz vezetnek; nem felelnek meg a „használó fizet” elvnek. Több ország is használattal arányos díjakat vezetett be a 3,5 tonna feletti járművek számára – kiterjesztve a díjköteles hálózatot a főutakra is –, míg a személygépkocsik továbbra is matricával használhatták a gyorsforgalmi utakat. Ilyen példák: Ausztria (2004), Magyarország (2013), Csehország (2020), Szlovákia (2010), Szlovénia (2008) Lengyelország (2011), Bulgária (2019). Elektronikus, műholdas (GNSS) technológiával támogatott, megtett úttal arányos útdíjrendszert alkalmaz tehergépjárművekre Németország (7,5 tonna fölött, minden szövetségi útra kiterjesztve³), Belgium, Szlovákia, Magyarország, Csehország és Bulgária [11].

3,5 tonna felett a járművek matricás rendszert használnak Hollandiában, Luxemburgban, Dániában, Svédországban (Eurovignette rendszer, 2008), Romániában, Észtországban, Lettországban,

³ Bajorország időről időre kezdeményezi, hogy a turisták a személygépkocsikra is vegyenek matricát.

Litvániában, az Egyesült Királyságban és részben Lengyelországban (ld. 9. ábra, forrás: [11]). Finnország, Hollandia és Litvánia is tervezi a megtett úttal arányos tehergépkocsi díjak bevezetését. Ciprus, Finnország és Málta nem alkalmaz útdíjakat.



9. ábra: Útdíjrendszerek Európában [forrás: Transport taxes and charges in Europe, 2019].

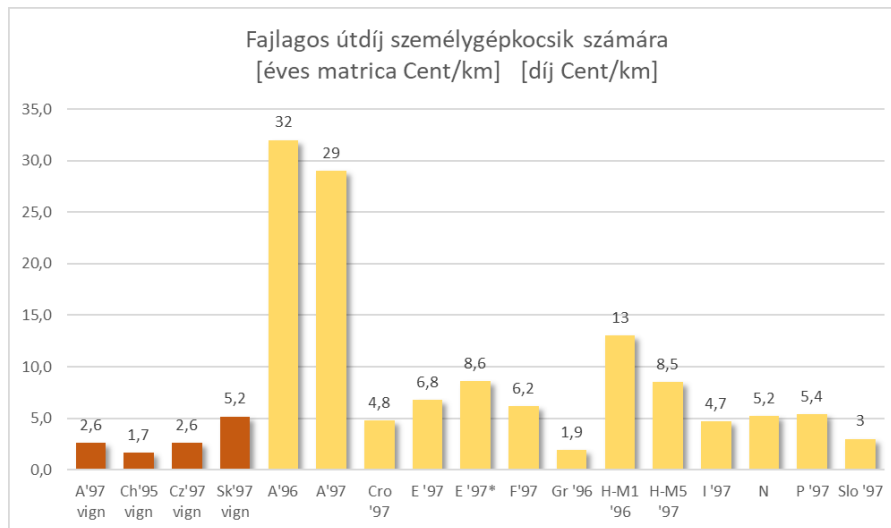
Az 1997-es és a 2019-es fajlagos díjszintek a 10-13. ábrákon találhatóak. A díjakat euróban, illetve eurocentben tüntettük fel. A matricák esetében a személygépkocsik éves bruttó matrica árait vettük figyelembe. Az útdíjak ÁFA-kötelezettsége országoként változó. A sötétebb oszlopok a matricás rendszereket jelzik, a világos oszlopok a direkt díjas rendszereket mutatják.

Az ábráról leolvasható, hogy 1997-ben az éves matricaárak, az ún. „virtuális útdíjak” az 1,7-5,2 eurocent/km tartományban mozogtak, és az átlagos terepviszonyok között haladó autópályák direkt díjai pedig egy magasabb sávban, 2-13 Eurocent között voltak. (10. ábra) Ma már nem látható ekkora különbség a kilométerre vetített távolságalapú és az éves matricadíjak között. (12. ábra) A kilométerre vetített bevételek között (11. ábra, 13. ábra) szembevetendő, hogy a direktdíjas országok mezőnye ketté válik:

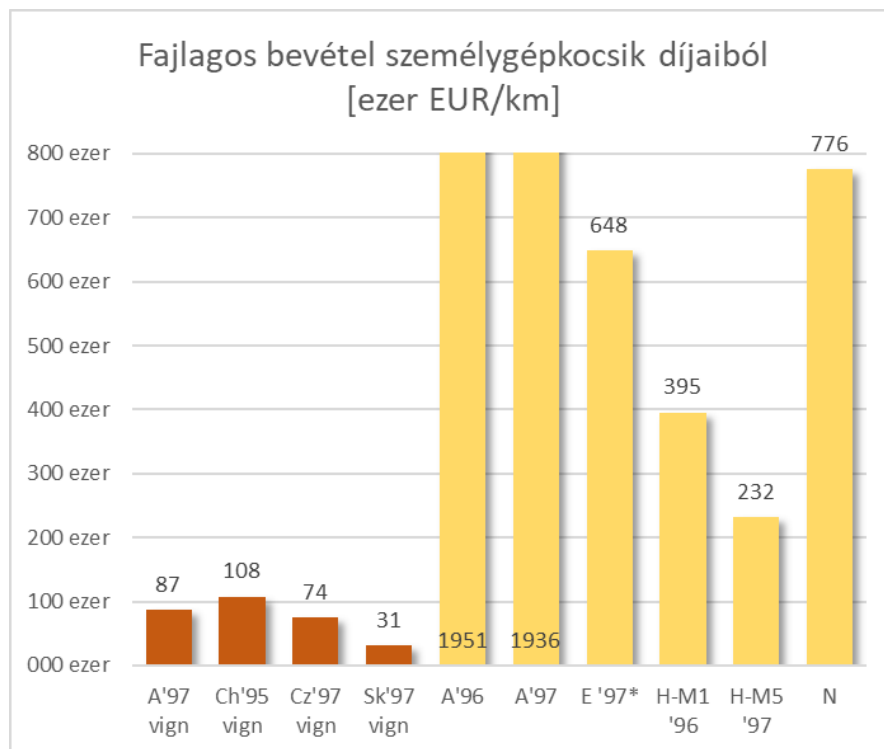
- ~350 ezer euró/km alattiak. (Cro, Srb, Gr, P, H, Sk, Cz) Ez a fajlagos bevételi tartomány megegyezik a matricás rendszert (is) használó országokéval.
- ~600 ezer euró/km felettiak (A, E, F, I, Ire, Pl) – itt főként a magánberuházó által koncesszióban épített autópályákat találjuk.

Amikor a teljes országos hálózaton beszedett díjat vizsgáljuk (14. ábra), akkor azt láthatjuk, hogy a vegyes rendszert használó országokban a járműfolyamok ~20%-át kitevő teherforgalomból beszedett útdíjak akár 3-4-szeresét is elérhetik a személygépkocsik matricás rendszeréből beszedett díjnak (H, Sk, A, Cz). A tehergépjárművek számára is matricás rendszert használó országok (Bg) esetében viszont jelentősen alacsonyabb a teherautók részesedése az útdíj bevételekből, illetve a költségekből.

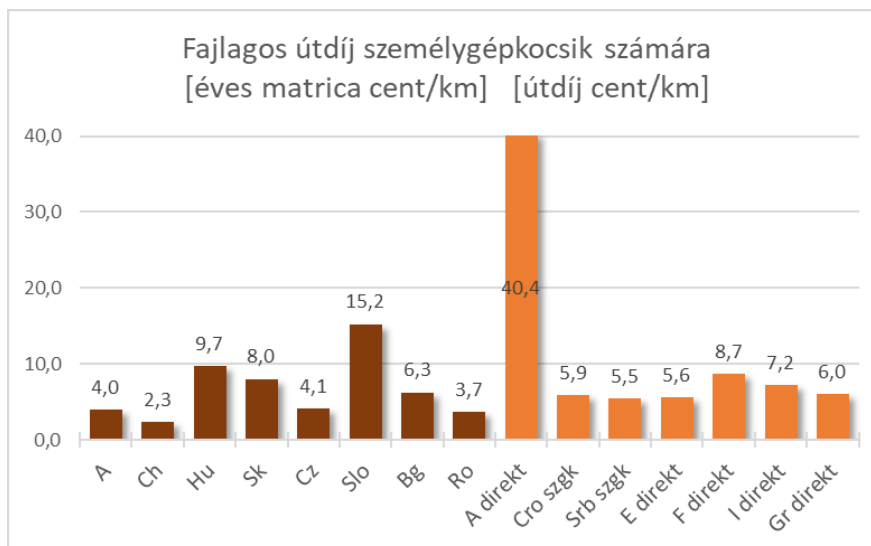
A bemutatott adatokat a 3. táblázat részletesen tartalmazza. Az adatok többnyire 2019-re vonatkoznak, mert ez tekinthető a legutóbbi zavarmentes évnak. A matricás és a direkt díjas rendszerből származó fajlagos bevételeket külön oszlopokban mutatjuk be. (d és e oszlop) A fajlagos díjknál (g oszlop) matrica esetén az éves személygépkocsi matrica árát osztottuk a hálózathosszal. Direkt díj esetén átlagos, jellemző kilométer-díjakat tüntettünk fel.



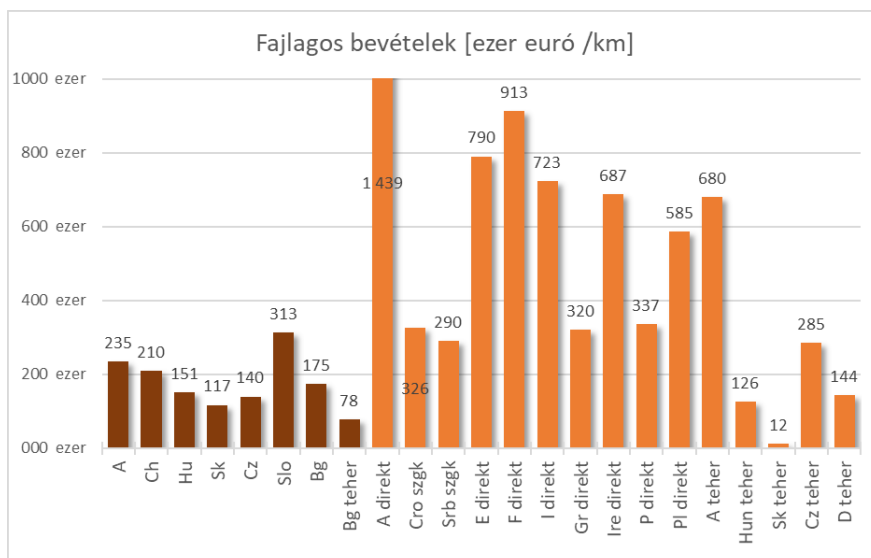
10. ábra: Személygépkocsik fajlagos útdíjai európai országokban, 1996-1997-ben [10] [Cent/kilométer].



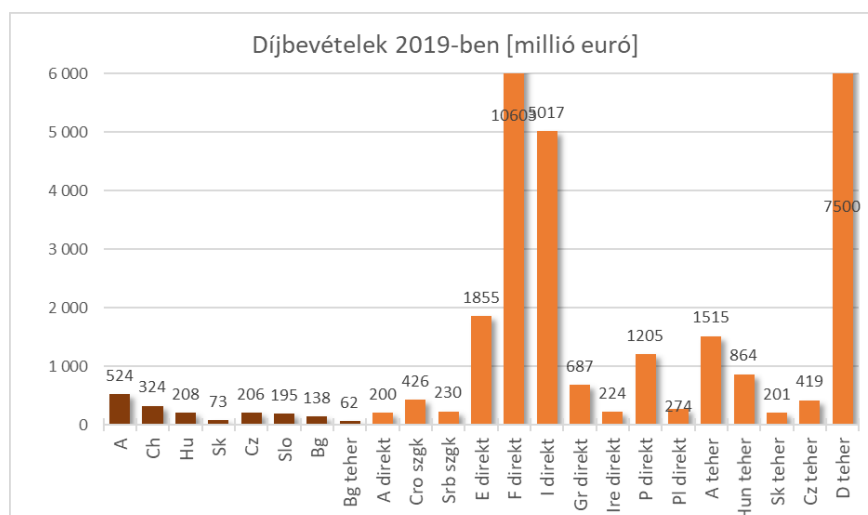
11. ábra: Fajlagos útdíjbevételek európai országokban, 1996-1997-ben [10] [ezer EUR/kilométer].



12. ábra: Személygépkocsik fajlagos útdíjai európai országokban, 2019-ben. Cent/km.



13. ábra: Fajlagos útdíjbevételek európai országokban, 2019-ben [ezer euró/kilométer].



14. ábra: Útdíjbevételek európai országokban, 2019-ben.

[Példa: 10,6 milliárd Euro/év ~ 3400 mrd Forint/év – Franciaország
 0,864+0,208 = 1,1 mrd Euro/év ~ 340mrd Forint/év – Magyarország]

3. táblázat: Európai útdíj rendszerek jellemzői, 2019 + USA 2014. [saját szerkesztés].

	Ország ⁴	Útdíjas utak hossza [km]	Bevétel [mill EUR]	Fajlagos bevétel [ezer EUR/km]		Éves matrica díj [EUR]	Fajlagos (matrica) díj [cent/km]
				Matricás hálózaton	Direkt díjas hálózaton		
	a	b	c	d	e	f	g
1	Ausztria, szgk matrica	2 228	524	235		89,2	4,0
2	Ausztria, szgk direkt díj	139	200		1 439	56,1	40,4
3	Ausztria, teher	2 228	1 515		680		42,0
4	Bulgária, szgk matrica	790	138	175		49,4	6,3
5	Bulgária, tgc matrica	790	62	78			
6	Csehország, szgk matrica	1 472	206	140		60,0	4,1
7	Csehország, teher	1 472	419		285		
8	Franciaország szgk+tgk	11 618	10 603		913		8,7
9	Görögország direkt díj	2 145	687		320		5,4
10	Horvátország szgk direkt díj	1 307	426		326		5,9
11	Írország direkt díj	326	224	687			
12	Lengyelország direkt díj	468	274	585			6,5

⁴ Adatok forrása:

<http://www.asecap.com/members-statistics.html> ASECAP 2020 Statistical Bulletin

<https://www.tolls.eu>

<https://www.autopalyamatrica.hu/autopalyadijak-europa>

<https://www.asfinag.at/maut-vignette/vignette/>

<https://www.ezv.admin.ch/ezv/de/home>

<https://www.huka.hr/en/news/337-key-figures-2019>

https://www.dars.si/vignette_system/about_the_vignette

<https://www.tolls.eu/slovakia>

<https://www.emyto.sk/en/>

13	Magyarország, szgk matrica	1 380	208	151		134,3	9,7
14	Magyarország, teher	6 864	864		126		25,8
15	Németország, teher	52 000	7 500		144		
16	Olaszország szgk+tgk	6 943	5 017		723		7,2
17	Portugália direkt díj	3 580	1 205	337			8,0
18	Románia, szgk matrica	763				28,0	3,7
19	Spanyolország, szgk+tgk	2 347	1 855		790		5,6
20	Svájc, matrica	1 544	324	210		36,0	2,3
21	Szerbia, szgk direkt díj	792	230		290	0,0	5,5
22	Szlovákia, szgk matrica	622	73	117		50,0	8,0
23	Szlovákia, teher	17 000	201		12		
24	Szlovénia, szgk matrica	623	195	313		95,0	15,2
25	USA -2014. IBTTA adat szgk + tgk	~9700km	10830 EUR 13 mrd \$	---	1120	---	---

5. NÉHÁNY TOVÁBBI HAZAI TANULSÁG ÉS KÖVETKEZTETÉS

Sok fontos kérdés került szóba 2021. február 23-án a szakmai napon. Néhány kérdés pedig háttérbe szorult. Néhányat ezek közül címszavakban ismertetünk:

1. 1918. október 31-ig Magyarországon a folyami hidakon hídvámokat szedtek. 1849. november 20-tól 1918-ig a Lánchídon is, majd a többi jelentős folyami hídon. Duna, Tisza, Dráva, Száva, stb.
2. A vasút által támasztott verseny okán 1885 körül szűntek meg a direkt útdíjak a magyarországi közutakon. Az útkaparók nem tudtak megélni az útvámokból. A városok megszüntették a városhatárokon a vámszedést, a „kövezetvámokat”.
3. A legjobb, legsikeresebb ügyvédek megbecsüli az ügyfélkör, a társadalom, ezért magasabb óradíjakat, sikerdíjakat alkalmaznak, mint átlagos társaik. A hasonlóan tehetséges és innovatív mérnököket pedig gyanakvás övezi. Pedig az a mérnökcsapat, amelyik már 1990-ben, párizsi szabadsága idején a Győr-Hegyeshalom autópálya megépítésén gondolkodott szintén a szakmája legjobbjai közül való.
4. A közúti szakterület igényes, képzett, több nyelven beszélő szakemberei dolgoztak az ELMKA kötelékében 1996 után. Nemzetközi tapasztalataik voltak, konferenciákon adtak elő. Az útdíjszedésnél lényegében kiküszöbölték a korrupciós lehetőségeket. Egy olyan korszakban, amelyben még teljesen megszokott volt a magyar rendőr megvesztegetése egy-egy közúti szabálysértés után.
5. A francia és olasz fizető autópályák tapasztalatait felhasználva alakult ki az M1 – M15 gyorsforgalmi utak csomóponti rendszere: Egy főkapu Mosonmagyaróvárnál, a lébényi kijáratnál pedig visszatérítés a teljes szakaszra megfizetett útdíjból. Nem épültek gazdaságtalan csomópontok, csak a legindokoltabbak. (Nem épült: Abda nyugat, Mosonszolnok kelet, Levél-Ipari Park.)
6. Nem számoltak viszont a külpolitikai vészforgató könyvekkel és a belpolitikai kockázatokkal (Délszláv háború, illetve a belpolitikai népszerűség). „A kapuk a futballpályákra valók!” Hangzott el a magyar parlamentben 1998. december 22-én.⁵ Ettől az időponttól a forgalmi tervezés hazánkban parkoló pályára került. A gyorsforgalmi utakról a politikusok döntenek. Nekik pedig a „sugaras hálózat” a fontos. Minden út Budapestre vezet. Akár három sávval is.

⁵ Lebontják a sztrádkapukat – Origo, 2001.07.24. <https://www.origo.hu/gazdasag/20010724lebontjak.html>

Terjedtek a bulvár sajtóban az olyan kifejezések, mint: „fizessenek a külföldiek”, „halálút”, „a korlátlan sebesség emberi szabadságjog”, „emelni kell a megengedett sebességhatárokat”. Évtizedes terveket dobtak sutba. Nem vezet kelet-nyugati közút a drága szekszárdi-, dunaújvárosi Duna hidakhoz. Közben a komp Lónya és Tiszamogyorós között többnyire nem jár áradás, alacsony vízállás, jegesedés, betegség, műszaki hiba okán.

7. Az állami kezelés forrás hiányában útfenntartási-, üzemeltetési vészhelyzetekhez is vezethet: Az M7 autópálya leromlása 1991-1999. Az M1 autópálya vesztes nyomvályúsodása, tönkremenetele a Budapest–Tatabánya szakaszon 2017-re.

Az M1-M15 gyorsforgalmi utakat létesítő és üzemeltető cégek nehéz éveket éltek át. De a megépített infrastruktúra itt maradt hazánkban. Ma is az úthasználók rendelkezésére áll. Pártoló vélemények szerint: *Budapest hamarabb csatlakozott Bécshez, mint Prága Nürnberghez vagy Drezdához. Az elkövetett hibákból tanulhatnánk. A külföld tanul. Az M1-M15 esettanulmány a befektetési szakirodalom része. Tanulság magyar beruházóknak Észak-Makedóniában. Tanulság és országgockázati felár a külföldi beruházóknak Magyarországon. Vajon hogyan döntene ma Széchenyi István, Sina báró, William Clark és Adam Clark? Itt építkeznének?*

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1]: A PPP és a magyar autópályák. Az Útügyi Lapok különszáma, 2021. március
- [2]: Transinvest Ltd. – Transroute International S.A. 1991: Study of Financing Possibilities for the Implementation of the Hungarian Motorway Concession Programme. Pre-feasibility Study at the request of the Ministry of Transport, Communication and Waterways. (M1 Megvalósíthatósági előtanulmány) 65 p.
- [3]: Magyar Közút – Országos Közúti Adatban: Az országos közutak keresztmetszeti forgalma 1995-2019
- [4]: Siposs, Á. 2008: Az elektronikus útdíjszedés hazai bevezetésének feltételei. Híradástechnika LXIII. évfolyam 9. szám, pp. 30-34. [Kálmán László dr és Siposs Árpád 2006-os előadásai alapján.]
- [5]: Gazdasági és Közlekedési Miniszter: Előterjesztés a Kormány részére „Az elektronikus útdíjfizetési rendszer (ED) magyarországi bevezetéséről szóló határozattervezet” Országgyűlés elé történő terjesztéséről. Budapest, 2007. február, 64 old.
- [6]: Toldi, M., Mészáros, F., Siposs, Á. 2012: A hazai közúti díjtörténelem bemutatása. Közlekedéstudományi szemle, LXII. évfolyam 2. szám, 2012. április, pp. 32-40.
- [7]: Mészáros, F., Siposs, Á., Andricsák, Z. 2009: A megtett úttal arányos elektronikus díjfizetési rendszer megvalósíthatóságának feltételei. Közlekedésépítési szemle 59. évfolyam 11. szám, 2009 november, pp. 1-6.
- [8]: NÚSZ közadatok 2013-2020: UD megszolgált útdíj és futásteljesítmény havi bontásban és E-matrica értékesítés (időalapú) adatok <http://kozadat.nemzetiutdij.hu/>
- [9]: Börzsei, T. 2017: Az útdíjfizetés rendszere Magyarországon. „Közös dolgaink – beszélgetések a szakmáról” 2017. április 26.
- [10]: Bachmann, D., Orosz, Cs. (1998): A regionális fejlődés és az úthasználati díjak néhány összefüggése nemzetközi összehasonlításban. Közúti és Mélyépítési Szemle: AZ Út alap és a Közlekedéstudományi Egyesület lapja XLVIII. évfolyam 12. szám pp. 481-484.
- [11]: European Commission: Transport taxes and charges in Europe. An overview study of economic internalisation measures applied in Europe. DG-MOVE-A3, Bruxelles, March, 2019. 193 p. <https://doi.org/10.2832/416737>



BREEAM fenntarthatóság alapú minősítő rendszer hazai tapasztalatai és az infrastrukturális projektekhez alkalmazandó CEEQUAL bemutatása

Szpotowicz Réka¹

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út- és Vasútépítési Tanszék

E-mail: reka.nadasi@gmail.com

DOI: [10.36246/UL.2021.1.04](https://doi.org/10.36246/UL.2021.1.04)

KIVONAT

A fenntarthatósági szempontok érvényesülése és annak nyomon követése kiemelt fontosságú a tervezési és kivitelezési folyamatok során a projektek jó fenntarthatósági teljesítményének eléréséhez. Többek között ebben is segítenek a különböző fenntarthatóság alapú minősítő rendszerek. A cikk bemutatja a BRE Global által kidolgozott BREEAM épületminősítő rendszert és alkalmazásának hazai tapasztalatait, valamint az egyazon szervezet által létrehozott CEEQUAL minősítő rendszert, amely infrastrukturális projektek esetén alkalmazandó. Ezután a cikk röviden összehasonlítja a CEEQUAL és az ENVISION rendszereket, amely a szerző korábbi kutatása alapján az egyik hazai alkalmazásra is legalkalmasabb nemzetközi minősítést nyújtja. A cikk célja annak hangsúlyozása tehát, hogy ha szerkezetépítés során már számos pozitív hazai tapasztalattal rendelkezünk, miért lenne érdemes a minősítési rendszereket infrastrukturális projektek esetén is alkalmazni.

Kulcsszavak: BREEAM, CEEQUAL, ENVISION, fenntarthatósági teljesítmény, fenntarthatósági minősítés

ABSTRACT

Empowering and monitoring sustainability is a key priority in the design and construction processes to achieve good sustainability performance of construction projects. Among other things, sustainability-based rating systems were developed to help to do this. This article presents the BREEAM building rating system developed by BRE Global and its experiences in Hungary, as well as the CEEQUAL rating system developed by the same organisation to evaluate infrastructure projects. The article then briefly compares the CEEQUAL and ENVISION systems, which, based on the author's previous research, provides one of the most suitable international ratings for domestic use. The aim of the article is therefore to emphasise why would it be worthwhile to apply the certification systems to infrastructure projects, especially since there are already many positive domestic experiences with them for buildings certification.

Keywords: BREEAM, CEEQUAL, ENVISION, sustainability performance, sustainability rating and certification

Szpotowicz Réka

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út- és Vasútépítési Tanszék Ph.D. hallgatója.
Kutatási területe a környezettudatosan tervezett útburkolatok és közutak.*

1. BEVEZETÉS

A fenntarthatóság elősegítése, ezáltal a fenntarthatósági technológiák és módszerek széleskörű alkalmazása már évtizedek óta szerepet kap a nemzetek, vállalatok és intézmények tevékenységikörében. Bár a fenntartható fejlődés elvével és annak kiemelkedő fontosságával az építési tevékenységek résztvevői jellemzően mind egyet értenek, ezen elvek valós gyakorlatban való átültetése ritkán teljesül maradéktalanul. A témában ezáltal több cikk is foglalkozik a fenntartható tervezés és kivitelezés nehézségeinek felkutatásával. Jó példa erre C. Boyle, P. Head, D. Hood et al. [1] publikációja, mely az épített környezet fenntarthatóságának 4 fő kihívását fogalmazta meg, melyek:

1. Helyi, regionális, nemzeti és nemzetközi szintű innovatív megoldásokba való befektetés.

2. Fenntartható társadalmi, gazdasági, környezeti, valamint intézményi és technológiai dimenziókkal ellátott integrált infrastrukturális tervezés.

3. A fenntarthatósági stratégiák és folyamatok merész, kreatív, innovatív és vállalkozói szellemű új megközelítéseket igényelnek. Fontos ezek integrálhatósága, testreszabhatósága, rugalmassága és adaptálhatósága, bővíthetősége, kontextus-érzékenysége. Lehetnek közösség alapú, bizonyíték alapú, eredmény-motivált és értékorientált, technológia-aktivált módszerek.

4. Az állami és a magánszféra által támasztott kihívások leküzdéséhez az érdekelt együttműködésére és összehangolására van szükség. A kritikus döntések meghozatalához olyan bizonyítékokon (kutatáson és gyakorlaton) alapuló tervezési megközelítést kell megvalósítani, amely összefogja az ipart és a tudományt.

Chan és Tsai 2012-ben megjelent cikke [2] pedig 60 különböző fenntarthatóságot szem előtt tartó tervezési tétel nehézségét méri fel kimondottan az útépítés területén. A felmért tételekből csupán 28 nem mutatott extra nehézségeket a hagyományos tervezéshez képest. A többi elem megvalósítása rendszerint kilenc különböző okból kifolyólag okoz nehézséget pl. politikai és jogi nehézségek, természeti előfeltételek hiánya, a nem elegendő rendelkezésre álló adatmennyiség, valamint a tervezési kritériumok és előírások rugalmatlansága.

A fenntartható fejlődés elősegítésében, a nehézségek integrált leküzdésében, a tevékenységek nyomon követésében és a beruházás minősítésében nyújtanak segítséget a különböző fenntarthatósági minősítő rendszerek. Ezen rendszereket először a magasépítési területeken terjedt el. A legismertebb rendszerek közé tartozik az USA-ban kifejlesztett LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) és a BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), mely az Egyesült-Királyságban került kidolgozásra. Emellett többek között a Green Star, a FitWel, a Green Globes, a DGNB és a Miljöbyggnad tartozik az ismert épületminősítési rendszerek közé. A magasépítési területeken elért sikerek hatására megjelent az igény a minősítő rendszerek infrastrukturális és várostervezési projekteken való alkalmazására. Világszerte számos nemzeti és nemzetközi minősítő rendszert dolgoztak ki, mint a CEEQUAL, ENVISION, GreenRoads stb., melyeket azóta sikeresen alkalmaztak különböző típusú beruházásokhoz. Mégis kijelenthető, hogy napjainkban is a magasépítési területeken jelentősen frekvenciátaliban és elterjedtebben alkalmazzák a különböző rendszereket.

Ez megfigyelhető Magyarországon is, ahol szerkezetépítési területeken évek óta lehetőség van a beruházások fenntarthatósági minősítésére, míg ez infrastrukturális területeken ezidáig nem jelent meg. Hazánkban jellemzően az Egyesült-Királyságban az európai szabályozásoknak megfelelően kidolgozott BREEAM, illetve beruházói igény esetén a LEED rendszereket szokták alkalmazni az épületek fenntarthatósági minősítésére. A Green Book Live adatbázisa alapján összesen 11 hazai cég foglalkozik BREEAM értékeléssel, és összesen – különböző szinteken – közel 125 beruházás, 77 újépítésű projekt (New Construction), 45 meglévő ingatlan (BREEAM In-Use), 1 felújítás (Refurbishment) és 2 nagyszabású fejlesztési terv (Communities International), minősítése történt meg (<https://www.greenbooklive.com/>).

A cikk célja a hazai minősítő rendszerekkel kapcsolatos tapasztalatok ismertetése, melyben a **Greenbors Consulting Kft.** munkatársával, **Batta Katinkával** készült interjú nyújtott segítséget. A publikáció fő megközelítése tehát az, hogy ha szerkezetépítés során már számos pozitív hazai

tapasztalattal rendelkezünk, miért lenne érdemes a minősítési rendszereket infrastrukturális projektek esetén is alkalmazni.

2. ÉPÜLETEK FENNTARTHATÓSÁGI MINŐSÍTÉSE BREEAM RENDSZERREL

Általánosságban elmondható, hogy a BREEAM három nagy területen alkalmazható. Ez az új létesítményeket minősítő BREEAM International New Construction, a használat során alkalmazott BREEAM In-Use és a felújítások esetén igénybe vehető BREEAM Refurbishment minősítések. Ezen felül a nagyszabású fejlesztési tervek fenntarthatóságának minősítésére a BREEAM Communities alkalmazandó. A cikk az új létesítmények minősítésére fókuszál.

2.1. A BREEAM ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI

A rendszer alkalmazásának célja az épületek életciklusának környezetre gyakorolt hatásának követése és enyhítése, hiteles környezeti címke biztosítása az épületek számára, az épületek környezeti előnyeinek felismerésének lehetővé tétele, valamint a fenntartható épületek, építési termékek és ellátási láncok iránti kereslet ösztönzése az értékteremtés érdekében. A BREEAM a legjobb környezeti gyakorlat biztosítása által az épületek és a tágabb épített környezet projekteinek előkészületeiben, tervezésében, kivitelezésében és üzemeltetésében nyújt szolgáltatást, hogy egy robusztus, költséghatékony teljesítménynorma által, amely meghaladja a jogszabályokban előírtakat, elősegítsék a piacot, hogy olyan innovatív, költséghatékony megoldásokat kínáljon, amelyek minimalizálják a negatív környezeti hatásokat. [3].

A minősítés 9+1 kategórián keresztül történik. Ezen kategóriák mindegyike foglalkozik a legbefolyásosabb tényezőkkel, ideértve az alacsony szén-dioxid kibocsátású tervezést; a tervezés tartósságát és ellenállóképességét; alkalmazkodást az éghajlatváltozáshoz; valamint az ökológiai érték és a biológiai sokféleség védelmét.

A vizsgált kategóriák és azok értékelési kérdései [3]:

1. Menedzsment

- Projekt előkészítés és tervezés
- Életciklus költség és élettartam tervezés
- Felelős építési gyakorlatok
- Üzembe helyezést és átadás
- Utógondozás

2. Egészség és jó környezet

- Vizuális komfort
- Beltéri levegő minősége
- Biztonságos tárolás a laboratóriumokban
- Termikus kényelem
- Akusztikus teljesítmény
- Megközelíthetőség
- Kockázatok
- Privát szféra
- Vízhőminőség

3. Energia

- Az energiafelhasználás és a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése
- Energia mérés
- Külső világítás
- Alacsony szén-dioxid-kibocsátású gépészet
- Energiatakarékos hűtőház
- Energiahatékony felvonók és mozgólépcsők

- Energiatakarékos laboratóriumi rendszerek
 - Energiatakarékos berendezések
 - Lakóépületekben történő ruhaszárító huzal elhelyezése
4. Közlekedés
- Tömegközlekedés elérhetősége
 - Szolgáltatások megközelíthetősége
 - Alternatív közlekedési módok
 - Maximális parkolási kapacitás
 - Közlekedési tanulmány terv
5. Víz
- Vízfogyasztás
 - Víz mérés
 - Vízzivárgás észlelése
 - Vízhatékony berendezések
6. Anyaghasználat
- Életciklus hatásai
 - Tereprendezés és munkaterület lehatárolása
 - Felelős anyagbeszerzés
 - Szigetelés
 - Tartós és az ellenálló tervezés
 - Anyaghatékonyság
7. Hulladék
- Építési hulladék kezelése
 - Újrahasznosított ásványi anyagok
 - Működtetés alatti hulladékok
 - Spekulatív padló- és mennyezetburkolatok
 - Alkalmazkodás az éghajlatváltozáshoz
 - Funkcionális váltáshoz való alkalmazkodóképesség
8. Területhasználat és ökológia
- Építési terület megválasztása
 - A helyszín ökológia értékeinek védelme
 - A terület ökológiára gyakorolt hatásainak minimalizálása
 - A helyszín ökológiájának fejlesztése
 - Hosszú távú hatás a biológiai sokféleségre
9. Szennyezés
- Épületek hűtésének hatása
 - NO_x-kibocsátás
 - Felszíni víz lefolyása
 - Az éjszakai fényszennyezés csökkentése
 - A zajszennyezés csökkentése
- + Innováció
- Innovációk
(Az innovációs pontok megszerzéséhez nincsenek külön követelmények megfogalmazva, a 9 kategória többleteljesítménye esetén adható)

A projektek minősítését egy BREEAM minősítői akkreditációval rendelkező BREEM Minősítő végzi. A minősített épületek rendszerint a kereskedelmi és az ipari szektorokból kerülnek ki, de akár

lakó, oktatási, színház, városháza, rendőrségi épület, múzeum, stadion vagy egyéb középület minősítése is lehetséges.

Az össz. teljesítmény függvényében elérhető minősítési szintek a következők:

- OUTSTANDING ≥ 85 - KIEMELKEDŐ
- EXCELLENT ≥ 70 - KIVÁLÓ
- VERY GOOD ≥ 55 - NAGYON JÓ
- GOOD ≥ 45 - JÓ
- PASS ≥ 30 - MEGFELELŐ
- UNCLASSIFIED < 30 - NEM MINŐSÍTETT

A minősíthetőség alapfeltétele a kötelezően teljesítendő elemek végrehajtása, illetve az egyes minősítési szintekhez tartozó küszöbértékek sikeres teljesítése.

A rendszer nemzetközi alkalmazhatóságát segíti a nemzeti és regionális adottságokat figyelembe vevő ország specifikus súlyozás. Ezen országos szintű súlyozásokat az adott ország első minősítésre regisztrált projektjének keretein belül dolgozzák ki. Ezeket a súlyozásokat az adott projektre és azt követően az adott országban vagy régióban lévő összes további projektre vonatkozóan a jelenlegi BREEAM International New Construction verziója alapján véglegesítik. A súlyozások kidolgozása szilárd és független adatokon alapul, amelyek kidolgozásában a lokális viszonyokat jól ismerő „helyi szakértők” vesznek részt. A szakértő lehet a tervezői csapat tagja, ha bizonyítani tudja a régió vagy az ország környezeti feltételeinek megfelelő ismeretét, illetve más megfelelő szakértelemmel rendelkező személy vagy szervezet is [3]. A szükséges információkat a BREEAM Minősítő gyűjti össze és szolgáltatja a BRE Global számára, amely az információkat felhasználva dolgozza ki a megfelelő súlyozási rendszert.

2.2. BREEAM MINŐSÍTÉS HAZAI TAPASZTALATAI

Magyarországon a Green Book Live adatbázisa (<https://www.greenbooklive.com/>) alapján összesen 11 cég foglalkozik BREEAM minősítéssel, és összesen közel 125 beruházás értékelése történt meg. A minősített épületek jellemzően irodaházak (pl. AGORA Hub és Tower, Arena Business Campus, Balance Hall PCR, BUD: Office Center, Buda Palota, Corvin Offices II., Eiffel Palace Irodaház, Green Court Office, MOL Campus, Telekom HQ, Városmajor 12 stb.), de értékelésre kerültek például csarnokok (pl. BSZL C2 csarnok, Prologis Park), bevásárlóközpontok (pl. Etele pláza, Hegyvidék Bevásárlóközpont), stadion (pl. FTC Stadion), lakópark (pl. Danubio Lakópark), és egyéb épületek is (pl. Liget Budapest - Fővárosi Városligeti Színház, Magyar Zene Háza és Néprajzi Múzeum, Új Dunai Evezős Központ - Klub és Sportszálló, Zánkai Erzsébet-tábor: Szolgálati épület). Az értékelések egy része időközi előminősítés, amit az építkezés megkezdése előtt, a tervezési szakasz befejeztével ad ki a BRE minősítő szerv. A végső minősítésre az építkezés befejeztével kerül sor. Magyarországon eddig 30 újépítésű épület kapott végső minősítést BREEAM értékelés által, ebből 1 épület kiemelkedő, 3 kiváló, 16 nagyon jó, 7 jó és 3 sikeres minősítést kapott.

A BREEAM előnye a másik Magyarországon is használt épületminősítési rendszerrel szemben (LEED) az, hogy az európai ISO szabványokra épül, ezáltal a minősítés kritériumainak való megfelelhetőség és kivitelezhetőség jobban összeegyeztethető a hazai jogszabályokkal és az építési gyakorlattal.

A BREEAM minősítés lefolyása több évet ölelhet fel. A BREEAM licensszel rendelkező minősítő cég ideális esetben már a projekt kezdeti stádiumában részt vesz a beruházás folyamataiban. A minősítő akár a koncepciótervezéstől kezdve minden egyes tervfázist végig kíséri és aktívan egyeztet a megrendelővel és a tervező céggel is. Első lépésként egy ún. hiányossági felmérés készül a projektre, melyet a BRE online felületén keresztül a BREEAM minősítő tud kikalkulálni a megrendelő eredeti elgondolásai alapján a megrendelővel folytatott egyeztetések alatt. E folyamat során az épület fő paramétereit és a BREEAM releváns tulajdonságait veszik sorra. Ezután a megrendelő, a tervezők és a

minősítő egy kreditstratégiát dolgoznak ki, mely meghatározza, hogy a megbízó által megcélzott minősítéshez mely kritériumoknak kell teljesülnie. Ez a folyamat az egyik legfontosabb eleme a közös munkának, hiszen itt van a minősítő a legnagyobb befolyással a tervezett, fenntarthatóságot elősegítő elemek és kritériumok kiválasztására, illetve korábbi sikeres tapasztalatok alapján ajánlásokat tesz a különböző környezettudatos elemek alkalmazására. A megrendelői döntéseket követően az engedélyezési és kivitelezési tervek elkészülése során a minősítő a tervezőkkel és további szakértőkkel, mint például akusztikussal és ökológussal egyeztet, illetve a beüzemelő mérnök véleményét is figyelembe veszi a tervekkel kapcsolatban. A tervezési folyamatok lezárultakor a BRE egy köztes – Design Stage – minősítést állít ki. Az ehhez szükséges a dokumentációk előállítása a tervezők és szakértők feladata, melyet a BREEAM minősítők ellenőriznek és rendszereznek. A megfeleléségi dokumentumok beadását a minősítő szerv felé a BREEAM minősítő végzi el a BRE online felületén keresztül. A dokumentumokat az angol minősítő szerv átnézi, véleményezi, szükség esetén hiánypótlást, pontosítást kér, majd ezek teljesítését követően kiadja a köztes minősítést. Ebből kifolyólag a dokumentumokat vagy angol nyelven kell átadni, vagy fordítási díjat kell fizetni az angol intézménynek. A teljes dokumentáció átadása után 8-9 héten belül az első visszajelzés beérkezik a BRE minősítő szervtől, majd ezután a köztes és a végső értékelés kiadásának időtartalma egyaránt hivatalosan 6 hónapot ölel fel, amely alatt hiánypótlásra is lehetőség van, ha az szükséges.

A minősítés azonban akkor teljes tehát, ha a minősítés a kivitelezési szakasz alatt is folytatódik. Az előző fázisban meghatározott elemek – megvalósítási terv, fotódokumentáció és kivitelezési utasítások által – visszaigazolásra kerülnek a minősítő szerv által, majd pedig az átadás-átvétel befejeztével a végső minősítés is megszerezhető. A teljes minősítési folyamat – a beruházás komplexitásától függően – jellemzően 2-4 évet vesz igénybe.

Összességében elmondható, hogy az értékelés során a legmagasabb pontszám a következő kreditek kapják:

- Energia
felhasznált energiamennyiségek csökkentése és nyomon követése, külső világítás hatékonysága, hatékony lift és transzporteszközök stb.
- Anyaghasználat
építőanyagok újrahasznosítása, tartósság és ellenállóság, hatékonyság stb.
- Szennyezőanyag kibocsátás
lég és-vízszennyezés, hangszennyezés, fényszennyezés stb.
- Egészség és jóközérzet
megfelelő szellőztetés, vizuális és hőkomfort, akusztikai követelmények, vízminőség stb.

A minősítéshez kötelezendően teljesítendő elem a Biztonsági és Egészségvédelmi Terv (Health and Safety) követelményeinek betartása, a felhasznált faanyagok dokumentáltan legális forrásból való származásának FSC vagy PEFC igazolása, azbeszt tartalmú anyagok elkerülése, a vizes gépészeti rendszerekben a Legionella baktérium előfordulásának megelőzése és LED lámpatestek alkalmazása. Magasabb minősítés eléréséhez további kötelezően teljesítendő elemeket határoz meg a rendszer. A fenntarthatóságot elősegítő tervezési elemek és folyamatok nagymértékű befolyása a végső értékelésre megkérdőjelezhetetlen tehát, azonban a kivitelezési folyamatok is fontos szerepet töltenek be a beruházás sikerességének eléréséhez. Kiemelendő elem az építkezési folyamatok alatt többek között a környező terület, élővilág és városi környezet kismértékű zavarása (zaj- és fényszennyezés csökkentése), munkavédelem és balesetbiztonság, az építkezés anyagainak felelős beszerzése és az építési hulladék megfelelő kezelése.

A minősítés nehézségei jelenleg – a hazai tapasztalatok alapján – nem a kreditek megszerezhetőségében, hanem a Biztonsági és Egészségvédelmi Terv és a kivitelezői dokumentációk és egyéb kivitelezést érintő BREEAM releváns dokumentumok angol nyelvű elkészítésében mutatkozik meg. E során szükség van a fogyasztási adatok becslésére és nyomonkövetésére, illetve a keletkezett hulladékok, illetve azok elszállításának CO₂ kibocsátásának követésére és dokumentációjára befogadónyilatkozatokkal és szállítólevelekkel. A minősítés okozhat ezáltal a megszokottnon felüli

dokumentációs igényeket, amelynek nagysága függ a beruházás méretétől, a megcélzott kreditektől és az elérni kívánt minősítéstől is. A hivatalos minősítő szerv (BRE) által meghatározott BREEAM díjak a £995 regisztráció, a £1.800 és hiánypótlás esetén £625 fordítási díj. A minősítés összege a beruházás méretétől függően £2.290-£6.565 közötti, lakóház esetén pedig minimum £1.245 vagy lakásonként £25/£9/£4. Az értékeléshez szükséges többletmunkafolyamatok személyi és idő igénye, a hazai BREEAM Minősítő költsége és a további tanulmányok és tételek (pl. életcikluselemzés, életciklus-költség elemzés, energetikai modellezés, hőkamerás felmérés, akusztikus és beüzemelő mérnök hazai jogszabályokon felüli dokumentációs igénye stb.) elkészítésének a díja is hozzáadódik a folyamathoz. Az azonban szintén kiemelhető, hogy a fenntarthatósági elemek alkalmazása során az extra költségek egy része, például a megújuló energia alkalmazása, az energiatakarékosság, a víztakarékosság és a megfelelő ökológiai elemek alkalmazása – mint zöldtetők, esővíz összegyűjtése és öntözéshez való felhasználása, esőérzékelők és csepegtetők alkalmazása, őshonos növényzet telepítése stb. – közepes és hosszú távon meg tudnak térülni. A minősítés marketing célokra való felhasználásával a beruházás szintén vonzóbbá válik, mely az ingatlan piaci értékének növekedését eredményezi, ami magasabb bevételekhez is vezethet iroda- vagy lakóépületek esetén. A fenntarthatósági elemek alkalmazása által tehát nem csak a beruházó, hanem az üzemeltető és az épülethasználó is részesül a beruházás pozitív vonzataiban. A gyakorlat azt mutatja, hogy az EU direktívák és ISO szabványok betartása mellett, kis mértékű szemléletváltással már elérhető a BREEAM minősítés megszerzése.

A hazai tapasztalatok azt mutatják, hogy bár korábban a legtöbb minősítés jellemzően a magánszektor beruházásaiból került ki, napjainkban egyre több az állami szférából való megrendelő is. A minősítés számos pozitív fenntarthatósági vonzata megkérdőjelezhetetlen, mely egyaránt kiterjed gazdasági, környezeti és szociális elemek és innovációk legmegfelelőbb alkalmazására. A BREEAM és hasonló minősítő és értékelő rendszerek használata a magasépítési területeken nem hiába terjedt el a világ számos táján.

3. CEEQUAL INFRASTRUKTURÁLIS MINŐSÍTŐ RENDSZER

2019 júniusában a BRE Global bemutatta a CEEQUAL 6. verzióját az infrastrukturális projektcsoporthoz fenntarthatósági céljainak támogatása érdekében. Ez az útmutató ötvözi a CEEQUAL technikai tartalmát és a BREEAM Infrastructure módszertanát, valamint a CEEQUAL értékelési megközelítésének jól bevált folyamataira épít. A CEEQUAL alapvető céljai a klíma és a fenntarthatóság tudatosságának promóciója és fejlesztése, a fenntarthatósági stratégiák alkalmazása és átadása, a projektek fenntarthatósági teljesítményének javítása a beruházás teljes ciklusa (vállalkozói szerződések, tervezés és kivitelezés) során, valamint magas gazdasági, ökológiai és szociális teljesítmények megszerzése az infrastrukturális projektek alatt. Jelenleg két különböző CEEQUAL módszertan érhető el. Ez a CEEQUAL for Projects, ami az építési projektek értékelésére szolgál és a CEEQUAL for Term Contracts, ami pedig az infrastrukturális létesítmények fenntartási tevékenységeit segíti.

A CEEQUAL for Term Contracts úgy lett kifejlesztve, hogy kibővítse a CEEQUAL alkalmazási körét, lehetővé téve a határozott idejű szerződéses munkák értékelését és a díjak megszerzését lényegében ugyanazokkal a kritériumokkal szemben, mint az újépítési vagy felújítási projektek. Ezt a módszert rendszerint autópályák, vasutak és szennyvízhálózat fenntartási tevékenységeihez, folyók vagy vízelvezető csatornák kapacitásfenntartásához, valamint kisebb munkák – mint útkereszteszűrések átalakítása, vágánykarbantartás – esetén alkalmazzák. A minősítés két kérdéskészlettel – az egyik a fenntartási munkákhoz, a másik pedig az új munkához - és két egyező kézikönyvvel rendelkezik, valamint két megfelelő táblázattal a pontszámok és bizonyítékok rögzítésére.

A CEEQUAL for Projects bármely infrastrukturális projekt építése vagy felújítása esetén 8 fő kategória alapján értékeli, melyeket kisebb részkategóriák alkotnak. Ezek [4]:

- Menedzsment
 - Fenntarthatósági irányítás
 - Környezetgazdálkodás
 - Felelős építés-management

- Etikus alkalmazotti és ellátási lánc
- Teljes élet-költség
- Ellenállóképesség (Resilience)
 - Kockázatelemzés és enyhítés
 - Árvíz és esővíz lefolyás
 - Jövőbeli igények
- Közösségek és érdekelt felek
 - Konzultáció és elkötelezettség
 - Szociális hasznok
 - Gazdasági hasznok
- Földhasználat és ökológia
 - Földhasználat és érték
 - Földszennyezés és gyógyítás
 - Biodiverzitás védelme
 - Biodiverzitás változtatása és erősítése
 - Hosszú-távú biodiverzitás management
- Tájkép és kulturális örökségvédelem
 - Tájkép és vizuális hatás
 - Történelmi és régészeti örökségvédelem
- Szennyezés
 - Vízszennyezés
 - Levegő-, zaj- és fényszennyezés
- Források
 - Hatékony energia, víz és nyersanyag felhasználás
 - Teljes CO₂ emisszió csökkentés
 - Építési termékek környezeti hatása
 - Építési termékek körforgásos használata
 - Felelős anyagbeszerzés
 - Építési hulladékgazdálkodás
 - Energiahasználat
 - Vízhasználat
- Közlekedés
 - Közlekedési hálózatok
 - Építkezési logisztika

A CEEQUAL általi értékelés és minősítés felhasználható tehát infrastrukturális, tájépítési és közterületi (public realm) projektek építése és felújítása során. A BREEAM rendszertől eltérően a CEEQUAL rendszer öt különböző szinten alkalmazható. Ezeket az [4] útmutatót követve az 1. táblázat foglalja össze:

1. táblázat: CEEQUAL rendszer alkalmazási szintjei

Értékelés típusa	Értékelési fokok az értékelés hatályaival		
	Stratégia	Tervezés	Építés
Teljes projekt	X	X	X
Stratégia és tervezés	X	X	-
Tervezés	-	X	-
Tervezés és építés	-	X	X
Építés	-	-	X

A minősítés általában a projekt hatályának lezárásával történik. A teljes projekt értékelése esetén azonban – a BREEAM minősítéshez hasonlóan – egy Design Stage minősítés is megszerezhető a tervezési folyamatok lezárultakor. Mivel a nemzeti infrastrukturális beruházások időnként hatalmas léptékűek, lehetőség van a beruházás alprojektekre való bontására és ezek egyéni minősítésére is. A CEEQUAL pontozása és minősítése A BREEAM rendszerhez hasonlóan történik. Az elérhető kategóriák egyaránt:

- OUTSTANDING $\geq 90\%$ - KIEMELKEDŐ
- EXCELLENT $\geq 75\%$ - KIVÁLÓ
- VERY GOOD $\geq 60\%$ - NAGYON JÓ
- GOOD $\geq 45\%$ - JÓ
- PASS $\geq 30\%$ - MEGFELELŐ
- UNCLASSIFIED $<30\%$ - NEM MINŐSÍTETT

A 6. verzió megjelenésével a CEEQUAL is meghatároz a minősítéshez kötelező teljesítendő krediteket. Ezen kötelező kreditek jelenleg csak a kiemelkedő minősítés megszerzésekor jelentkeznek, ám a kategória kibővítése várható a későbbiekben kiadott verziók során. Azonban a minősítés megszerzéséhez szükség van bizonyos előfeltételek (prerequisites) teljesítéséhez. Ilyen például a hulladék helyszíni kezelésének vagy felhasználásának az engedélyezése, megfelelő hulladékgazdálkodás, legális és fenntartható faanyagok, védett fajok oltalma, valamint az ártalmas fajok elkerülése.

Az [4] útmutató alapján – ami az Egyesült Királysági projektekre terjed ki – a kategóriák súlyozása a minősítés során a következőképpen alakul (2. táblázat):

2. táblázat: A CEEQUAL rendszer kategóriáinak súlyozása

Kategória	%
Menedzsment	11
Ellenállóképesség	13
Közösségek és érdekelt felek	11
Földhasználat és ökológia	11
Tájkép és történelmi környezet	8
Szennyezés	8
Anyagok és hulladék	15
Energia és szén (üzemeltetés)	5
Energia és szén (építés)	6
Vízhasználat	3
Közlekedés	9

Ezek összesen 30 alkategória mentén oszlanak meg, melyek különböző specifikus fenntarthatósági területet mozdít előre. Ezen felül az átlagostól kiemelkedő technológiai, tervezési, építési és funkcionális innovációs megoldás is jutalmazható (maximum 10) ponttal.

Az Egyesült Királyságon kívüli projektek esetén ezen súlyok a helyi viszonyoknak, természeti adottságoknak és építési gyakorlatnak megfelelően eltér. Ezen felül minden értékelőnek figyelembe kell vennie az értékelt projekt helye szerinti összes ország helyi szabályozását és gyakorlatát, amikor a CEEQUAL kérdéseket alkalmazza projektjeire [5]. A sikeres nemzetközi projektek a minősítő rendszer weboldalán (<https://www.ceequal.com/category/case-studies/international>) is megtalálhatóak. Látható, hogy a rendszert az Egyesült Királyságon kívül több más országban is sikeresen alkalmazták.

Svédországban (pl.: **Barkarby** - alagút, metró, **Bornsjöverket** – víztározó, **Tye** - víz - és szennyvízrendszer, **Arlanda** – repülőtéri hosszútávú parkolás, **Stockholm** – 7-es villamos felújítása),

Norvégiában (pl.: **Løten** - 26 km autópálya 10 híddal, 18 felül-vagy aluljáróval, 2 vadátjáróval, 2 körforgalmi csomóponttal, 7 km járdával, **Mosjøen-kikötő**, **Bagn-Bjørge** - 11 km főút 4,3 km hosszú alagúttal és 4 híddal, **Snåsa** - erőmű),

Katarban (pl.: **Doha** – szennyvíz-infrastruktúra projekt),

Hongkongban (pl.: **Ma Liu Shui- Island House Interchange- Tai Hang** – Tolo Highway, autópálya, **Pok Fu Lam** - sósvízellátó rendszer, **Kai Tak Nullah** - rekonstrukció)

Látható tehát, hogy a projektek és azok földrajzi elhelyezkedésének és természeti adottságainak sokfélesége ellenére a sikeres (a legtöbb esetben nagyon jó és kiváló) minősítés elérhető.

A minősítés nemzetközi munkák során tapasztalt előnyei a következők [5]:

- A projektek és a szerződések jelentős javulása a legjobb gyakorlatok (best practices) alkalmazása által
- Beruházói, tervezői és kivitelezői pozitív és előremutató megítélés kiépítése, jó PR és marketing
- Költségmegtakarítás a CEEQUAL befolyásoló szerepe révén (például egy projekt 3,3% -os [5 millió font] költségmegtakarítást jelentett részben a CEEQUAL kérdések mérlegeléséből fakadó változásoknak köszönhetően)
- A fenntarthatósági menetrend iránti elkötelezettség bemutatása és annak nyilvános elismerése

Ezen felül fontos megjegyezni, hogy a minősítő rendszerek közvetett módon (megfelelő felelős anyagválasztás, életciklus elemzés, energiacsökkentés stb.) hozzásegítheti az egyes országokat a vállalt klíma céljainak eléréséhez, valamint a klímaváltozáshoz való adaptációs képesség növekedése is jellemző a projektek ellenállósága és rezisztenciájának növelése által.

4. CEEQUAL ÉS ENVISION ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Napjainkra már számos olyan fenntarthatóság alapú értékelő rendszer került kidolgozásra, melyek célja közös. Ezeket az rendszereket a projektek és beruházások teljesítményének értékelésére, minősítésére és a teljesítményük igazolására használják a fenntarthatósági kritériumok széles skálája által. A vizsgálandó főbb kritériumok rendszerint az erőforrás-felhasználás, az ökológia, az érdekelték és döntéshozók bevonása, a közösségi hatások, az éghajlatváltozás, az ellenálló képesség, a földhasználat és a várostervezés [6]. Ezek a rendszerek általában az infrastruktúra tulajdonosai, például a közlekedési ügynökségek és a területi hatóságok által kerül kidolgozásra és alkalmazásra a projektek további résztvevői (tervező és építőmérnökök, valamint fenntarthatósági tanácsadók) bevonásával [7]. Számos ország dolgozott ki egyéni, országspecifikus értékelési rendszert, de sok esetben egy már bizonyított rendszer kerül alkalmazásra annak adaptálása által [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17].

Ezen rendszerek azonban különböző kritikus minőségi jellemzőkkel bírnak. Ezek, többek között: útmutatások a projektek alkalmazásához; szükséges a bizonyítékok gyűjtésének intenzitása; időzítés és kockázatkezelés; hitelesség és elismerés a nyertes projektek számára; a rendelkezésre álló teljesítményszintek és a teljesítményértékelés módszerei; az értékelési folyamat teste szabásának lehetőségei a lényegessége a súlyozás és a minimumszabályok révén; az alkalmazott fenntarthatósági kritériumok minősége [18]. Ezért igazán fontos, hogy alkalmazásuk előtt ezen rendszerek áttekintésre kerüljenek és a megfelelő rendszer kerüljön kiválasztásra a hazai alkalmazáshoz.

Mivel a szerző korábbi kutatási eredménye során, ami a Greenroads, GreenLITES, I-LAST, ENVISION és INVEST értékelési rendszereket hasonlította össze hazai használhatóság szempontjából [19], az ENVISION érte el a legmagasabb pontszámot, ez a cikk az ENVISION és CEEQUAL minősítő rendszerek összehasonlítására fókuszál.

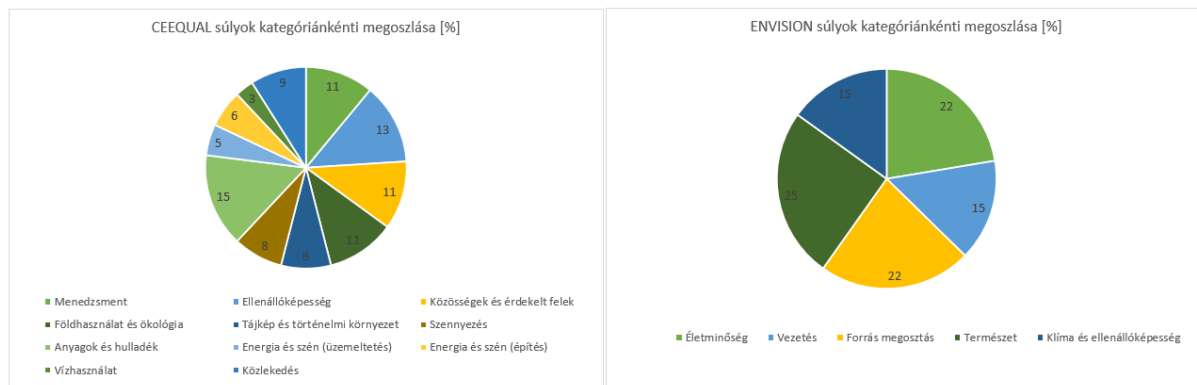
Az Envision-t a Harvard University Graduate School of Design and the Institute for Sustainable Infrastructure és a Zonfass Program a fenntartható infrastruktúrákért kollaborációja alkotta meg. Az elképzelés holisztikus keretet biztosít a különféle típusú és méretű infrastrukturális projektek közösségi, környezeti és gazdasági előnyök értékeléséhez és osztályozásához utak, hidak, csővezetékek, vasutak, repülőterek, gátak, hulladéklerakók, vízkezelő rendszerek és egyéb épített környezetet alkotó infrastruktúrák számára. Az Envision a projekt négy szakaszában értékeli és ismeri el az infrastruktúrák teljesítményét. Ezek a projektelőkészület és tervezés, építés, üzemeltetés és karbantartás, valamint a lebontás. Az Envision 5 fő kategória mentén minősíti a projekteket, mely további alkategóriákra és összesen 60 kreditre bontható. Ezek által összesen 1000 pont szerezhető. A vizsgálandó kategóriákat és

megosztásukat a következő a 3. táblázat „Vizsgált fenntarthatósági témakörök” pontja és a 1. ábra mutatja be, míg a minősítés eredményeit a 3. táblázat „Minősítés” pontja szemlélteti. Az Envision értékelő rendszer alkalmazása szintén szélesebb körben terjedt el. Az Egyesült Államok mellett Kanadában, Olaszországban, Izraelben és Szaúd-Arábiában is alkalmazták különböző projektek értékelésére. A hitelesítésért a projekt teljes becsült költségének függvényében különböző mértékben kell fizetni. Regisztrációs díj minden esetben 2.000 USD, építés utáni hitelesítés pedig 12-56.000 USD között mozog [20].

A CEEQUALT az ENVISION minősítéssel összevetve (3. táblázat, 1. ábra) megfigyelhető, hogy mind a két rendszer a különböző infrastrukturális létesítmények fenntarthatóságát segíti elő a beruházás tervezési folyamatoktól kezdve az építmény átadásáig, illetve egy külön útmutató által a fenntartási tevékenységek is értékelhetővé válnak. Mind a két rendszer úgy lett kialakítva, hogy az széles skálán alkalmazhatóvá váljon a beruházások típusa, mérete és földrajzi elhelyezkedése tekintetében. Ezt már értékelt projektek esettanulmányai bizonyítják. A két rendszer által vizsgált fenntarthatósági témakörök részben megegyeznek, bár az az Envision által 5, a CEEQUAL alapján 8 fő kategória mentén oszlik szét. Ezek súlyozása – azaz, hogy a rendszer a fenntarthatóság mely területen történő elősegítését értékeli fontosabbnak – kis mértékben eltér. CEEQUAL esetén a legnagyobb súllyal bíró kategória az „Anyagok és hulladék” 15%-kal, melyet a „Rugalmasság” (ellenállóképesség) követ 13%-kal. Ezután egyaránt 11%-kal a „Menedzsment”, a „Közösségek és érdekelt felek”, valamint a „Földhasználat és ökológia” következik. Envision esetén a legtöbb pont a „Természet” kategóriára kapható, ami a pontok negyedét (25%) teszi ki. Ezt követi a „Forrás megosztás” és az „Életminőség” 22%-kal. A „Vezetés” és a „Klíma és ellenállóképesség” egyaránt 15% súllyal bír. Következtetésként levonható, hogy bár mind két rendszer az természeti források védelmét – mint alapanyag, hulladék, energia, víz – kiemelt fontossággal kezeli, az ökológia és a természeti adottságok védelme egyaránt lényeges elem az értékelés során, az Envision nagyobb hangsúlyt fektet a fenntarthatóság szociális elemére (életminőség, jólét, közösség), míg a CEEQUAL a építésirányítási management feladatokat emeli ki, úgy mint fenntartható irányítás, környezetgazdálkodás, teljes élettartam-költség stb. Az elérhető kategóriák a CEEQUAL esetén 5, az ENVISION által pedig 4 minősítésre oszlanak meg. A minősítés megszerzéséhez mind a két rendszer megkövetel egy minimum teljesítési szintet. Ez a CEEQUAL-nál 30%, az ENVISION-nál 20%.

3. táblázat: CEEQUAL és ENVISION minősítő rendszerek áttekintése.

	CEEQUAL	ENVISION
Alapítás	2003	2012
Származás	Egyesült Királyság	Amerikai Egyesült Államok
Webcím	https://www.ceequal.com/	http://sustainableinfrastructure.org/envision/
Minősítés	Pass/Good/Very good/Excellent/Outstanding	Verified/Silver/Gold/Platinum
Utolsó verzió megjelenése	2019	2018
Projekt szint	Beruházás tervezés, Projektfejlesztés, Fenntartás	Beruházás tervezés, Projektfejlesztés, Üzemeltetés és fenntartás
Kritériumok száma	30 + 10 innovációs kredit	64
Szerezhető pontok	5000	809
Minimum pont	30%	20%
Vizsgált fenntarthatósági témakörök	Menedzsment Ellenállóképesség Közösségek és érdekelt felek Földhasználat és ökológia Tájkép és történelmi környezet Szennyezés Források Közlekedés	Vezetés (Leadership) Életminőség Forrás megosztás Természet Klíma és ellenállóképesség



1. ábra: CEEQUAL és ENVISION minősítő rendszerek súlyainak kategóriánkénti megoszlása

Összességében elmondható, hogy az ENVISION bár nemzetközi szinten bizonyította alkalmazhatóságát, a CEEQUAL egyértelmű előnye, a hazai alkalmazhatóság tekintetében, az európai háttér és az egyéni, országspecifikus súlyozás kialakíthatósága.

5. ÖSSZEGZÉS

A különböző minősítő és értékelő rendszerek bizonyítottan elősegítik a fenntarthatósági szemlélet gyakorlatban való átültetését, az innovációs módszerek és technológiák alkalmazását és egy magas szintű fenntarthatósági teljesítmény elérését. A Minősítők rendszerint nyomon kísérik a beruházás folyamatait, biztosítva a fenntarthatósági kritériumok teljesítését. A beruházás fenntarthatósági teljesítményének minősítése a magasépítési területeken hazánkban is gyakorta, sikeresen alkalmazott módszer. A cikk bemutatta, a Greenbors Consulting Kft. munkatársával, Batta Katinkával készült interjú alapján, a minősítés lefolyását és itthoni tapasztalatait BREEAMS alkalmazása esetén. Mivel Magyarországon is számos projekt minősítése történt már meg, ahol a minősítés menete már jól bevált folyamat mentén történik, a beruházások rendszerint jó eredményeket értek el és a fenntarthatósági teljesítmény bizonyítottan előre lendült, meghaladva a hagyományos tervezési szinteket, felmerül a kérdés a hasonló rendszerek közlekedésépítési területeken történő alkalmazására. A cikk bemutatja és röviden összehasonlítja - az ezen, vagy hasonló rendszerek magyarországi alkalmazásának népszerűsítése céljából - a BRE Global által kidolgozott CEEQUAL és az amerikai ENVISION minősítő rendszereket, melyeket egyaránt sikeresen alkalmaztak számos országban a különböző típusú infrastrukturális projektek minősítésére. Griffiths et. al. tanulmánya által [7] bizonyítást nyert, hogy a minősítési eszközök a hivatalos projektanúsitáson túl számos egyéb területen is pozitív változást eredményeznek. A rendszereket sok esetben széles körben használják, hiszen ezek jelentősen szükséges útmutatót nyújtanak a fenntarthatóság általános figyelembevételéhez az infrastruktúra-fejlesztésben, valamint hasznos keretet nyújtanak az informális értékelésekhez is. A tanulmány kiemeli, hogy a választásokkal (fenntarthatósági kategóriák és cselekvési területek) és erőforrásokkal (képzés és kézikönyvek, letisztult osztályozási eszközök) ellátott strukturált keretrendszerhez való hozzáférés motiválja a beruházás résztvevőit ezen új viselkedésmódok (fenntartható tervezési, építési gyakorlatok) elfogadására. A tudatosságnövelés és egyéni képzések tovább segítenek egy olyan „közös nyelv és keretrendszer” kialakításában, mely a hagyományos gyakorlatokat és megközelítéseket alternatív, fenntarthatóbb gyakorlatokkal való helyettesítésére ad lehetőséget.

6. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: Boyle, C., Head, P., Hood, D., Lawton, M., Lowe, I., O'Connor, M., ... Vanegas, J. 2013: Transitioning to sustainability: Pathways, directions and opportunities. *International Journal of Sustainable Development*, 16(3-4), pp. 166-189, <https://doi.org/10.1504/IJSD.2013.056560>

- [2]: Chang, A. S., Tsai, C. Y. 2015: Difficulty and reasons for sustainable roadway design - The case from Taiwan. *Journal of Civil Engineering and Management*, <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.802724>
- [3]: BRE Global Ltd. *BREEAM International New Construction 2016 Technical Manual*. 2016.
- [4]: BRE Global Ltd. *Ceequal V6 (Uk Projects)* (Vol. 6). 2019.
- [5]: Methodology, C., Edition, I., Manual, A., Award, C., Good, V., Manuals, A. A. 2011: CEEQUAL International.
- [6]: Tóth, C., Soós, Z. 2014: Mi a fenntartható – és mi nem az: Közúti beruházások fenntarthatóságának objektív értékelési rendszerei. *Útügyi Lapok: A közlekedéépítési szakterület mérnöki és tudományos folyóirata*, 4(6), pp. 29–42. 2014.
- [7]: Griffiths, K., Boyle, C., Henning, T. F. P. 2018: Beyond the certification badge-How infrastructure sustainability rating tools impact on individual, organizational, and industry practice. *Sustainability (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/su10041038>
- [8]: Lawalata, G. M., Satrio, H., Sailendra, A. B. 2015: Sustainability Evaluation of Dewaruci Underpass Intersections. *Sustainability Evaluation of Dewaruci Underpass Intersections*, pp. 39–46. <https://doi.org/10.26593/v1i1.1433.%p>
- [9]: Talati, V. A., Talati, A. V, Mehta, J., Six, K. 2013: Green Highways : A Future Need. *PARIPEX-Indian Journal of Research*, 2(3), pp. 109–111.
- [10]: Sarsam, S. I. 2013: Implementation of Sustainable Roadway Concept for a Better Transportation Future. *Open Journal of Architectural Design*, 1(1), pp. 10, <https://doi.org/10.12966/ojad.01.02.2013>
- [11]: Adzar, J. A., Zakaria, R., Aminudin, E., Rashid, M. H. S. A., Munikanan, V., Shamsudin, S. M., ... Wah, C. K. 2019: Development of operation and maintenance sustainability index for penarafan hijau jabatan kerja raya (pHJKR) green road rating system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 527(1), <https://doi.org/10.1088/1757-899X/527/1/012058>
- [12]: Park, J. W., Ahn, Y. H. 2015: Development of a green road rating system for South Korea. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 6(4), pp. 249–263, <https://doi.org/10.1080/2093761X.2015.1117404>
- [13]: Nusa, F. N. M., Shahrin Nasir, Endut, I. R. 2018: Awareness of Green Highway Concept and Terminology : A Perspective of On-Site Personnel in Malaysian Highway Construction Industry, pp. 475–487.
- [14]: Muhd Zaimi, A. M., Balubaid, S., Bujang, M., Nur, W., Wan, A., Rafidah, R., Muhammad, R. 2015: Assessment index tool for green highway in Malaysia. *Jurnal Teknologi*, 16(November), pp. 99–104. <https://doi.org/10.11113/jt.v77.6405>
- [15]: Corriere, F., Rizzo, A. 2012: Sustainability in Road Design: A Methodological Proposal for the Drafting of Guideline. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, pp. 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.858>
- [16]: Singh, J., Jain, A. K. "Development of Framework for Rating System for Indian Green Highways", (1), pp. 250–259. 2019.
- [17]: Sowerby, C., Langstraat, J., Folkeson, L., Harmer, C. 2014: SUNRA. Sustainability – National Road Administrations - Project Framework for a Sustainability Rating System for Roads. Organisational Level User Guide. In *Transport Research Arena 2014, Paris*. Paris.
- [18]: Guthrie, P.M.; Konaris, T. 2012: Sustainable Infrastructure; FIDIC: Geneva, Switzerland.
- [19]: Szpotowicz, R., Tóth, C. 2020: Revision of sustainable road rating systems: Selection of the best suited system for hungarian road construction using topsis method. *Sustainability (Switzerland)*, 12(21), pp. 1–28, <https://doi.org/10.3390/su12218884>
- [20]: Institute for Sustainable Infrastructure. *ENVISION- Sustainable infrastructure framework version 3*. 2018.
- [21]: <https://www.greenbooklive.com/>
- [22]: <https://www.ceequal.com/category/case-studies/international>
- [23]: <http://sustainableinfrastructure.org/envision/>



A stratégiai megközelítés fejlesztése a helyreállítási eszközt és az ellenállási alapot igénybe vevő közlekedési infrastruktúra tervezésben

Tánczos Lászlóné¹

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék

E-mail: tanczos.laszlone@edu.bme.hu

DOI: [10.36246/UL.2021.1.05](https://doi.org/10.36246/UL.2021.1.05)

KIVONAT

A közel jövőben megnyíló és hazánk számára is jelentős volumenben rendelkezésre álló **két pénzügyi forrás a gazdaság** megújítására *szolgáló helyreállítási eszköz* és a *klímaváltozás* kedvezőtlen hatásainak mérséklésre fordítandó, egyebek mellett a közlekedési infrastruktúra környezetbarát kialakítását célzó **ellenállási alap**. Az Európai Bizottság mellett az OECD-be integrált, 62 tagországot magába foglaló nemzetközi kormányközi közlekedési szervezet, az International Transport Forum (ITF) is **kiemelt figyelmet fordít a fenti célok érdekében létesített finansiális alapok jól átgondolt és ésszerű, stratégiai szemléletet tükröző fejlesztésekre történő igénybevételére és transzparens felhasználására**. Az ITF, melynek hazánk 1991 óta tagja, 2021 márciusában száz oldalas jelentést tett közzé, amelyben a vonatkozó közlekedéspolitikai kérdések előzetes globális vitájának eredményeit foglalta össze. Tekintettel a téma hazai aktualitására, jelen cikk - kiemelve az infrastruktúra tervezés stratégiai megközelítésének főbb szempontjait és összefoglalva legfontosabb ajánlásait - rövid áttekintést ad az ITF tanulmányáról [1].

Kulcsszavak: stratégiai szempontú fejlesztés, átláthatóság, szektorokon átívelő, megújítási alap, rugalmas közlekedési infrastruktúra

ABSTRACT

Two funds in significant volume will be opened and available for our country, too in the near future, the recovery fund to renew the economy and the funded capital to improve the resilience of transport infrastructure against the impacts of climate change. Besides the European Commission the intergovernmental transport organization, the International Transport Forum (ITF) at OECD, comprising 62 member countries, pays also great attention to the rational utilization of these financial funds established with the above mentioned objectives for infrastructure development reflecting strategic approach and providing transparency. In March of this year ITF including Hungary as member country since 1991, published a report in hundred pages which summed up the results of a previous global discussion of related transport policy questions. With consideration to the actuality of the topic this paper gives a short overview on the study highlighting the main aspects of strategic approach to transport infrastructure planning and itemizes its important proposals.

Keywords: developing strategic approaches, transparency, cross-sectorial, recovery fund, resilient transport infrastructure

Dr. Tánczos Lászlóné

Tánczos Lászlóné, az MTA doktora, a BME Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék emerita professzora. Fő kutatási területe: közlekedési externáliák, közlekedési infrastruktúra, optimalizálási alkalmazások. Publikációs lista: https://mta.hu/koztestuleti_tagok?PersonId=7217)

1. BEVEZETÉS

Az **infrastruktúra** biztosítja a nemzetgazdaság működéséhez elengedhetetlen és az emberek széles értelemben vett életminőségének fenntartásához szükséges fizikai és digitális kapcsolatokat. Ezért az abba történő **beruházási döntések megalapozott tervezése** az erőforrások pazarlásának, de a környezeti károk elkerülése szempontjából is **kritikus jelentőségű**. A közlekedési infrastruktúra hosszú élettartamú fejlesztési ütemtervei miatt az előnyök - a rövid távú politikai és választási ciklusokkal szemben - csak jóval a költségek keletkezése után érezhetők. A stratégiai megközelítésű döntéshozatal viszont a következő évtizedek alatt fokozott előnyökkel járhat.

Az infrastruktúra iránti igények/szükségletek (kereslet) és az infrastruktúra szolgáltatások teljesítményének (kínálat) mérésére alkalmas, általánosan elfogadott mutatók hiánya nehezíti az országok és szektorok közötti értelmes összehasonlításokat. A technológiai és demográfiai változások vagy a jelenlegi járvány által okozott - alapvető változásokkal járó, jelentős hatást kiváltó - események előfordulása esetén **minden infrastruktúra tervnek hatékonyan kell kezelnie a bizonytalanságot**.

A szektorokon belüli és a különböző szektorok közötti egyre növekvő interakciók - különösen az elektromos közúti közlekedés nagy arányú és gyors terjedése - felgyorsítják és **a többszörös hálózati beágyazódással összefüggésben egyre bonyolultabbá teszik a fejlesztési ütemterveket**. Ezen **interakciók miatt egyre fontosabbá válik az infrastruktúra tervezés hosszú távú és ágazatokon átívelő stratégiai vezérlése, menedzselése**.

Mindezen okok miatt **létfontosságú az infrastrukturális beruházási stratégiák kidolgozásának** kérdése, amely egyúttal hatalmas kihívást is jelent. Az elmúlt években számos új megközelítés történt, melynek célja a jobb fókuszálás a jövőbeni igények kielégítésére és kifinomultabb stratégiai tervek készítése a fejlesztések megvalósításához. Ide sorolható az új, innovatív módszerek kidolgozása és független tanácsadó testületek létrehozása a kormány és a döntéshozók támogatására. Mind ezek mellett **egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a nagy infrastruktúra projektek tényleges teljesítményének mérésére is**.

A világ szinte minden országában stratégiákat dolgoznak ki a covid-19 járványból történő kilábalásra, melyben az infrastruktúra beruházások központi szerepet játszanak. Fiskális ösztönzőket biztosítanak a munkahelyek támogatásához, a megújulástól függő hálózatok létrehozásához, megerősítéséhez, lehetővé téve egyúttal az alacsonyabb széndioxid-kibocsátású, fenntarthatóbb gazdasági modellre való áttérést. Ezzel biztosítható, hogy a beruházásokra valóban ott kerüljön sor, ahol azokra a legnagyobb szükség van.

A jelentés áttekintést ad ezekről a fejleményekről, vázolja azok hatásait és eredményeit, továbbá ajánlásokat ad az infrastruktúra tervezésének, a döntések minőségének, következetességének és koherenciájának javítására.

2. A STRATÉGIAI MEGKÖZELÍTÉS ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI ÉS MÓDSZERTANI VONATKOZÁSAI

A stratégiai tervezés olyan, viszonylag gyakran használt szakpolitikai eszköz, amelynek célirányos alkalmazása egyre inkább terjed. Általános tartalmi elemei: a projektek azonosítása, értékelése és kiválogatása.

A stratégiai tervek jellege és hatóköre nagymértékben különbözik egymástól; némelyik ágazati alapú, mások regionális szempontúak és előfordul több szakterületet érintő ágazatközi stratégia is, illetve alkalmaznak olyan stratégiai tervezést is, amely akár hosszabb távú kormányzati perspektívát is magába foglal. Némelyik stratégiai terv csupán tág irányvonalak és/vagy célok meghatározására korlátozódik, míg mások egyedi projekteket határoznak meg. Általános jellemzőjük, hogy rendszerint nagyszabásúak

és/vagy átalakító hatásúak. A **stratégiai tervek teszik lehetővé az összehangolt döntéshozatalt**, amely nemcsak a projektek közötti **szinergiákat veszi figyelembe**, de egyidejűleg tekint az infrastruktúra szolgáltatások iránti keresletre és a kínálatra, miközben mérlegeli a különböző ágazatok versengő igényeit és lehetővé teszi a beruházási döntések nemzeti prioritásokhoz való igazodását is.

Nyilvánvaló összefüggés áll fent a stratégiai tervezés szükségességének felismerése és független infrastruktúra tanácsadó testületek létrehozása között. Mivel a legtöbb országban csak a közel múltban került sor ezeknek a testületeknek a felállítására, ezért a döntéshozatal javításának hatékonyságáról, azaz e testületek működésének eredményességéről kialakítható gyakorlati tapasztalatok még csak korlátozottan állnak rendelkezésre. Bár a testületekre háruló felelősség széles skálája és egymástól jelentősen eltérő tartalma ugyancsak bonyolítja ítéleteik konszenzuson alapuló kialakítását, mégis úgy tűnik, hogy az infrastruktúra szükségletekkel és prioritásokkal összefüggő projektek **azonosításával** kapcsolatban meghozott **független szakértői tanácsok** általában **javítják a döntéshozatal információs bázisát, ami fokozza az átláthatóságot és az elszámoltathatóságot**.

A projektek **értékelési módszertanának** alkalmazása a legtöbb országban meghatározott eljárási rend és előre rögzített követelmények szerint történik, amelyek között a **költség-haszon elemzés (CBA)** gyakorlatilag minden esetben **központi szerepet játszik**. Sok ország szerint a javasolt projekteknek meg kell felelniük bizonyos kritériumoknak (pl. pozitív nettó jelenértékkel (NPV) és meghatározott küszöbérték feletti BCR (benefit/cost ratio; haszon/költség arány) mutatóval kell rendelkezniük ahhoz, hogy jóváhagyásra jogosultak legyenek. Mások szerint a CBA csak egy a számos elvégzett elemzés közül, ezért a pozitív NPV nem feltétlenül szükséges vagy elegendő egy projekt kiválasztásához. A CBA hatókörének különbségei magyarázhatják e látszólagos különbségek egy részét. Egyes országok szélesebb hatástartományra kidolgozott CBA-t fogadnak el olyan közvetett értékelési technikák használatát követelve, amelyek számos nem piaci előny és költség számszerűsítését teszik lehetővé.

A nagyszabású infrastrukturális projektek értékelése – különösen, ha az az ún. **tovagyűrűző** (másodlagos vagy közvetett) hatások számbavételére is kiterjed – egyre **szélesebb körű gazdasági előnyöket** (Wider Economic Benefits, WEB) tartalmaz. A WEB-es értékelés végrehajtása nagyon adat- és erőforrás igényes. Ez azt jelenti, hogy a CBA mikrogazdasági szemléletű elemzéséhez hozzáadódik a makrogazdasági elemzés egy eleme. Ennek megfelelően - az összes leginkább átalakító hatású projekt kivételével - a szélesebb gazdasági előnyök (WEB) valószínűleg csak 10-30%-kal egészítik ki a hagyományos haszonbecsléseket. Ezért a WEB-es értékelést általában azokra a projektekre tartják fenn, amelyek várhatóan nagy hatással lesznek a munkaerőpiacokra. Bár a legtöbb WEB becslést jelentős bizonytalanság övezi, mégis a **WEB elemzés segíthet tisztább képet adni a projekt kedvezményezettjeiről**. Fontos elvárás azonban, hogy a WEB elemzés alkalmazásakor **ne kerüljön sor** bizonyos előnyök **kettős számbavételére**.

Számos infrastruktúra létesítmény egyidejűleg többféle gazdasági és/vagy társadalmi cél különböző arányú kiszolgálásához járul hozzá. A **megosztott infrastruktúra** gyakorlatának terjedése mind a méretek/kiterjedtség növekedése, mind az ellátott feladatok/funkciók/területek összetételének bővülése/változása tekintetében **eredményezhet hatékonyság javulást**. A térségek, régiók és országok közötti kölcsönös gazdasági érdekelttség elmélyítése ugyancsak **hozzájárul közös, új hozamok létrehozásához**. Az **infrastruktúra megosztott üzemeltetése** ugyanakkor azonban **megköveteli** a józan intézményi architektúrát, a **világos politikai célokat** és a kölcsönösen elfogadott **felelősségmegosztást**.

A stratégiai szemléletű infrastruktúra tervezés magában foglalja a **kiadások ésszerű allokációját az új infrastruktúra** projektekre szánt és a már **meglévő** létesítmények **fenntartására/korszerűsítésére** fordított kiadások között is. Ez azt jelenti, hogy a stratégiai szemléletű infrastruktúra tervezőknek célirányosan és eredményesen tárgyalniuk kell nemcsak a meglévő eszközök kezelőivel/fenntartóival/finanszírozóival, de az új projektek kiválasztásához és fejlesztéséhez is meg kell találniuk a megfelelő anyagi eszközöket. Ily módon a **hatékony vagyongazdálkodással** összefüggő több-körös egyeztetés a vonatkozó „stakeholderek”-kel ugyancsak elengedhetetlen feltétele az eredményességnek, de e tevékenység magas szintű, professzionális művelése jelentősen csökkenti az infrastruktúra teljes élet ciklus költségét.

3. A STRATÉGIAI SZEMLÉLETVÁLTÁS LEGFONTOSABB SZEMPONTJAINAK ÉRVÉNYESÍTÉSÉRE VONATKOZÓ AJÁNLÁSOK

A kormányoknak az infrastruktúra tervezésére stratégiai megközelítést kell alkalmazniuk. Ezt világosan, egy határozott és részletes, időszakosan korszerűsített stratégiai tervvel kell kommunikálni.

Ezeket a terveket minden fő fizikai infrastruktúra szektorra ki kell terjeszteni és az infrastruktúra iránti kereslet és kínálat alakulását figyelembe vevő, elfogadható forgatókönyveket kell kidolgozni. A terveknek az infrastruktúra fejlesztésére és üzemeltetésére egyaránt vonatkozó világos javaslatokat kell megfogalmazniuk, abból a célból, hogy informálják a kormányt a beruházási döntésekről és felállítsák az alkalmazandó „policy”-k (politikai célok megvalósítására szolgáló szabályozási beavatkozások, eszközök) olyan keretrendszerét, amely alátámasztja a szabályozási döntéseket és a magán szféra beruházásait.

A stratégiai infrastruktúra terveket, legalább is széles értelemben véve, össze kell kapcsolni az arra a célra azonosított/megnyitott konkrét költségvetési finanszírozási forrásokkal.

Ehhez rendelkezni kell a stratégiai infrastruktúra tervek és az egyes projektek kiválasztási folyamatok közötti világos kapcsolatok ismeretével.

A kormányoknak mérlegelniük kell, érdemes-e független infrastruktúra fejlesztő tanácsadó testületet felállítani ahhoz, hogy biztosítható legyen az átlátható szakértői tanácsadás a hosszútávú, szektorokon átívelő infrastruktúra stratégiához, a tervek és a „policy”-k kifejlesztéséhez épp úgy, mint a közép- és hosszú távú beruházások közötti prioritások eldöntéséhez.

Mára már nyilvánvalóvá vált, hogy ezek a testületek olyan alacsony költségű és hatékony megoldási lehetőséget jelentenek a fenti problémák megoldására, amelyek javítják és jól kiegészítik a meglévő folyamatokat. Független tanácsadó testületek törvényes létesítése egyrészt erősíti azt a lehetőséget, hogy a testület tagjai képesek legyenek becsületos, félelem nélküli vélemény alkotásra, másrészt létrehívásuk módja és az így érvényesülő státuszuk az érintettek (stakeholder-ek) széles körében jelentősen fokozza hitelességüket is.

A független testületek létrehozásával kapcsolatos előkészületek tartalmazzák az OECD által meghatározott kulcsfontosságú vezérlő elveket, amelyek a szabályozók kormányzására vonatkoznak.

Ezek az elvek előírják, hogy a tanácsadó testületeknek nyilvánosságra kell hozniuk a kormány részére tett tanácsait, a kormányoktól pedig meg kell követelni az ezekre a tanácsokra vonatkozó, belátható időn belüli válaszadást.

Az infrastruktúra projektek értékelésének, amennyire az lehetséges, átlátható és konzisztens módszertanon kell alapulnia.

Az értékelésnek ki kell térnie a javasolt projekt minden lényeges hatására, beleértve a fenntarthatóságot, az egészséget és a biztonságot, valamint a disztribúciós vonatkozásokat is. Ezeket figyelembe véve, a kiterjesztett CBA képes hozzájárulást biztosítani a leginkább integrált elemzéshez, amely segíti a beruházási lehetőségek közötti összehasonlítást. A legnagyobb projektekre fókuszálva, továbbá a hagyományos közlekedési projektekhez képest szélesebb célrendszert megvalósító beruházásoknál szelektív módon célszerű alkalmazni a szélesebb értelemben vett előnyök (WEB) elemzésekbe történő bevonását. A WEB becsléseknek a kulcsfontosságú bizonytalanságokat kell megvilágítaniuk és ahol az megfelelő, forgatókönyv elemzéseket kell tartalmazniuk. A projekt értékelésnek el kell különítenie a WEB-et a többi elemzéstől, hogy világossá váljék a WEB-ek teljes eredményre gyakorolt hatása.

Az OECD/ITF áttekintést köteles készíteni a kormányzat és a magán szféra COVID-19 járványra adott infrastruktúra vonatkozású válaszairól.

Az elkészítendő szemlének át kell tekintenie, hogy a járvány következményeként valószínűsíthetően hogyan változik meg (különösen a közlekedési és a telekommunikációs) infrastruktúra iránti igény. Azt

is szükséges értékelni, hogy a kormány és a magán infrastruktúra biztosítók vajon változtatni fogják-e és milyen módon stratégiai terveiket és az értékelési eljárást, valamint a projektek prioritásait.

Egy formális „policy”-keretrendszernek kell útmutatást adnia a fő infrastruktúra eszközök/vagyonok felügyeletével/kezelésével kapcsolatos döntésekhez

A cél a hatékony eszköz kihasználás biztosítása, a maximális elérhetőség és teljesítmény, valamint a teljes életciklus költség minimalizálása kell legyen. Ezt mértékadó teljesítmény-normák felállításával, a fenntartások és felújítások optimális ütemezésével kapcsolatos ösztönzőkkel kell elérni. Ehhez az eszköz-tulajdon és az eszköz-gazdálkodás/-menedzsment szétválasztására lesz szükség annak érdekében, hogy megteremtsek a világos pénzügyi elszámoltathatóság és ösztönzés feltételeit. Ugyancsak szükség lesz egy megfelelő (lehetőleg szektorokon átívelő) szabályozó rendszer létesítésére, ahol a megvalósítható verseny hiányzik.

A kormányoknak át kell tekintenie az infrastruktúra szabályozás keretrendszerét

Az áttekintésnek keresnie kell a lehetőségeket arra vonatkozóan, hogy minél több területen támogassák a szektorokon átívelő (cross-sectorial) tervezés integrált megközelítését, annak érdekében, hogy a nem kívánatos következmények elkerülhetők legyenek.

Minden nagy projektre végre kell hajtani az ex post (utólagos) értékelést

Erre a célra a szabványos CBA értékelés keretrendszerét és módszereit kell használni. Meta-elemzéseket kell elvégezni a jövő infrastruktúra -„policy”-jáihoz szükséges minél jobb tájékoztatás érdekében.

Nemzeti infrastruktúra intézmények és statisztikai ügynökségek nemzetközi együttműködésével konzisztens infrastruktúra teljesítmény mutatókat kell kidolgozni

Teljesítmény mértékek/mutatók és indikátorok segítségével feltárhatók az infrastruktúra rendszerek erősségei és gyengeségei és értékelni lehet a múltbeli beruházások hatásait. A gazdasági statisztika egyéb területein nemzetközi harmonizációval elért sikerek azt sugallják, hogy lehetőség van az infrastruktúra teljesítményének mérésére szolgáló, olyan összemérhető mutatók fejlesztésére, amelyek alkalmasak nemzetközi összehasonlításra is. Ezek támaszthatják alá a nemzeti infrastruktúra intézmények és statisztikai ügynökségek összehasonlító tevékenységét.

Ahol határokon átívelő projekteket kívánnak megvalósítani, ott olyan speciális célú menedzsmentet kell alkalmazni, amelyben minden érintett fél képviselettel rendelkezik. A „policy” célokat és teljesítmény normákat világosan specifikálni szükséges és ki kell alakítani az irányítás, a forrásbiztosítás és az elszámoltathatóság biztosításának feltételeit.

A megosztott infrastruktúra hatékony üzemeltetése fontos kihívásokat gerjeszt, különösen ott, ahol nagyobb az együttműködésre vállalkozó országok/régiók/térségek száma és jelentősen eltérnek egymástól a gazdasági, kulturális szokások. Ezek hatékony kezelése a világos politikai célok és elfogadott felelőség megosztás mellett megfelelő intézményi struktúra kialakítását is megköveteli.

4. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: (ITF, 2021) Developing strategic approaches to infrastructure planning



Számítási módszer a behajlási teknő megbízható modellezéséhez

Zsichla László¹

¹ Rodcont kft.

E-mail: rodcont@gmail.com

DOI: [10.36246/UL.2021.1.06](https://doi.org/10.36246/UL.2021.1.06)

KIVONAT

Az útpályaszerkezet teherbírásának mérésekor okozott és mért behajlási teknő minél pontosabb modellezése nagy jelentőségű. Megoldatlan probléma a különböző mérési módszerek mérési eredményeinek megbízható átszámíthatósága. A cikkben megoldom a különböző terhelő felületek által okozott, a felülre merőleges összenyomódások analitikus számítását a végtelen féltér bármely pontjában. A bemutatott számítással jól, az eddig ismert módszereknél egy nagyságrenddel pontosabban számítható a behajlási teknő és a kialakuló tényleges feszültség.

Kulcsszavak: feszültségeloszlás, behajlási teknő, útpályaszerkezet méretezése

ABSTRACT

The most accurate modeling of the deflection basin caused and measured when measuring the bearing capacity of the road structure is essential. It is an unresolved problem to convert the results of different measurement methods reliably. In this paper, I solve the analytical calculation of the compressions perpendicular to the surface caused by different loading surfaces at any point in the infinite half-space. With the presented calculation, the deflection basin and the actual stresses can be calculated more accurately than the previously known methods.

Keywords: stress distribution, deflection basin, road pavement design

Zsichla László

A Rodcont kft. ügyvezetője. Kutatási területe, aszfaltkeverékek modifikálása, pályaszerkezetben keletkező feszültségek modellezése. Fő munkaterülete, burkolattechnológiai szakvélemények készítése úttervező cégek számára.

1. BEVEZETÉS, PROBLÉMA FELVETÉSE

Jelen cikkben a mérnöki gyakorlat számára is kielégítő pontosságú módszert ismertetünk, amelynek segítségével az adott terhelő felület és terhelés által okozott behajlási teknő meghatározható a többrétegű pályaszerkezetben.

A módszer Boussinesqu (1885) által megadott feszültségkomponenseket, és Odemark-Ivanov (1949) által ajánlott helyettesítő rétegvastagságot veszi alapul, amely igen jó közelítés a tényleges behajlási teknő modellezéséhez.

A módszer alkalmazásának előnye, hogy nagyon pontosan meg tudjuk határozni a terheléskor - pl. teherbírás méréskor - az altalaj E_2 alakváltozási modulusát, amely a mérési módszertől függően lehet dinamikus ill. „kvázi” statikus.

A következő eredmény, hogy a módszer segítségével a különböző mérési módszerekkel kapott mérési eredmények egymásba átszámíthatókká válnak. Számos nemzetközi és hazai kísérlet történt [1] a párhuzamos összehasonlításon alapuló összefüggések feltárására, de a vizsgálatok, elemzések nem hoztak kielégítő eredményt a viszonylag alacsony regresszió miatt COST 324 [2].

A harmadik eredmény, hogy viszonylag jól modellezhetővé váltak a pályaszerkezeti rétegek állapotában történő változások hatására a behajlási teknő és evvel összefüggésben a ténylegesen kialakuló feszültségek.

Magyarországon a pályaszerkezet méretezésének módszertana az elmúlt harminc évben szinte semmit sem fejlődött, vannak ugyan biztató kísérletek egy korszerű méretezési módszer bevezetésére [3], de még nagyon messze vagyunk az AASHTO-féle MEPDG módszerektől [4]. Az utak várható élettartamára vonatkozó hazai kutatás számos eredményről számolhat be [5], aminek csak egy kis szelete jelenlegi témánk, ennek ellenére a hazai tervezési gyakorlatban ebből nagyon kevés, pazarlóan kevés hasznosul.

A jelenlegi méretezési módszerben keveredik a statikus és a dinamikus alakváltozási modulus, eltér a mérés kori hőmérséklet $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ és a méretezés kori aszfalt hőmérséklet $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ami a méretezés kor nincs figyelembe véve. Probléma az évszaki szorzók használata, amely nagyon elnagyoltan és pontatlanul veszi figyelembe a mérés kori altalaj teherbírását.

További gond, hogy a teherbírás mérése sokszor a dinamikus KUAB eredményeit „számítja” át statikus behajlásokra. Az átszámítás szükséges, hiszen az élettartam görbék a BB Benkelman tartós mérésen alapulnak, de a megadott átszámítás nagyon pontatlan.

Még megemlíthetjük a mérés kori aszfalt hőmérsékletét is, amelynek felületi hőmérsékletét pontosan mérjük, de az aszfalt pályaszerkezeten belüli hőmérséklet eloszlást nem ismerjük. Azt egyértelműen kijelenthetjük, hogy a burkolat felületén mért hőmérséklet jelentősen eltér az aszfalt pályaszerkezet átlagos hőmérsékletétől. Az eltérő hőmérséklet pályaszerkezeten belül eltérő alakváltozási modulussal jár, ezért a mérés kori pályaszerkezeten belüli hőmérséklet eloszlás viszonylag pontos becslése is szükséges. A cikknek nem tárgya, de a pályaszerkezeten belüli hőmérséklet becslésénél figyelembe kell venni a napi átlag hőmérsékletet is. Nem mindegy, hogy március közepén napsütésben mérünk a burkolat felületén $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, amikor a napi átlag hőmérséklet $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, vagy július közepén mérünk borult időben $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, amikor a napi átlag hőmérséklet $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt.

Egyetértve Dr. Nemedi Ervinnel [6] az útpályaszerkezet tényleges viselkedését csak nagyon közelítően modellezhetjük, ahol viselkedésen a pályaszerkezet élettartama alatti viselkedést értjük. A szükségszerű bizonytalanságot azonban a mechanikailag megalapozottabb méretezési módszerrel csökkenthetjük.

Jelenleg nem feltűnőek a méretezési eljárás ellentmondásai, olyan ez, mint amikor a viharhullámok cunamival párosulnak, ezért a viharhullámokat már elhanyagoljuk.

2. SZÁMÍTÁSI MÓDSZER BEMUTATÁSA

A mért behajlások, behajlási teknők számítására már korábban tettem javaslatot [7] [8], most azonban az elmúlt harminc év szakértői gyakorlatát is felhasználva teszem közzé.

A $2r$ átmérőjű tárcsán egyenletesen megoszló terhelés alatt a tárcsa tengelyében $m = 2$ harántkontrakció esetén a Boussinesq-féle feszültségkomponenseknek van zárt alakban integrálható megoldása. Más esetekre vonatkozó integrálás nem volt ismert, ezért volt szükség egy általános megoldásra, amit most részletesen ismertetek.

A homogén és izotrop féltér felszínén működő koncentrált erő által keltett feszültségeket (1.sz. ábra) Boussinesq által megadott feszültségkomponensekkel (1-4) tudjuk meghatározni.

$$S_Z = \frac{3 \cdot P \cdot Z^3}{2 \cdot \pi \cdot R^5} \quad (1)$$

$$S_R = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot Z^2} \cdot \left[3 \cdot \cos^3 \alpha \cdot \sin^2 \alpha - \left(\frac{m-2}{m} \cdot \frac{\cos^2 \alpha}{1+\cos \alpha} \right) \right] \quad (2)$$

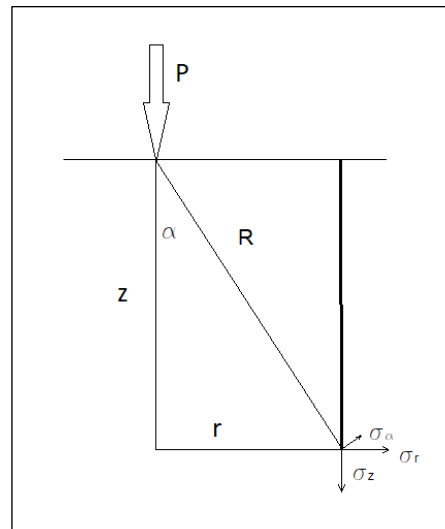
$$S_\alpha = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot Z^2} \cdot \frac{m-2}{m} \cdot \left(\cos^3 \alpha - \frac{\cos^2 \alpha}{1+\cos \alpha} \right) \quad (3)$$

$$t_{r,Z} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot Z^2} \cdot \cos^4 \alpha \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

$$m = 1 - \mu$$

μ - Poisson szám

$$R = \sqrt[2]{(Z^2 - r^2)}$$



1. ábra: P koncentrált erő által okozott feszültségek értelmezése r távolságban és z mélységben egy tetszőlegesen felvett tengelyen.

r – a P koncentrált erőtől mért távolság

Z – a vizsgált pontban a mélység a felszínre merőlegesen mérve.

A feltéren egy tetszőleges x,y pontban lévő tengelyben felvett hengeres elem z tengely irányú 0-Z mélységig terjedő összenyomódása:

$$S_{0-z} = \frac{1}{E} \cdot \int_0^z (\sigma_z - \mu \cdot (\sigma_r + \sigma_\alpha)) dz \quad (5)$$

E – a homogén és izotróp feltér rugalmassági modulusa.

Itt nagyon fontos megjegyezni, hogy általában nem rugalmassági, hanem alakváltozási modulussal számolunk, mert az útpályaszerkezet anyaga adott feszültség mellett mindig tartalmaz maradó és rugalmas alakváltozást. Amikor alakváltozási modulussal számolunk, elvileg nem tehetnénk meg, hogy az E értékét kiemeljük, hanem minden egyes feszültség értéket el kellene osztani az adott feszültséghez tartozó E_i értékkel. Ha ezt nem tesszük, márpedig ezt nem tesszük meg, ebben az esetben feltételezzük, hogy a vizsgált feszültség tartományban az E értéke állandó és ezen belül állandó a maradó és a rugalmas alakváltozás aránya is. Általában ez a feltételezés megfelelő, de vannak esetek, amikor ez a kitétel nem tartható, pl. merev terhelő tárcsák szélénél, ill. ha a vizsgált anyag törőszilárdságának, aszfaltok esetén, 70%-át meghaladó mértékű a feszültség.

Az integrálást tagonként paraméteres integrálással tudjuk megoldani, ahol a paraméter

$$Z = r \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad Z \text{ deriváltja, } Z' = (-) r \cdot \frac{1}{\sin^2 \alpha} \quad (6)$$

A teljes z tengely irányú összenyomódás a tetszőlegesen felvett pontban:

$$S_u = \frac{P}{r \cdot \pi \cdot E} \cdot (1 - \mu^2) \quad (7)$$

A z tengely irányú összenyomódás a tetszőlegesen felvett pontban Z mélység alatt:

$$S_{z-\infty} = \frac{P}{2 \cdot r \cdot \pi \cdot E} \cdot \left| 3 \cdot \left\{ \frac{r}{R} - \frac{1}{3} \left(\frac{r}{R} \right)^3 \right\} - \mu \cdot \left\{ \left(\frac{r}{R} \right)^3 + (1 - 2 \cdot \mu) \cdot \left(\frac{r}{R} + 2 \cdot \frac{z-R}{r} \right) \right\} \right| \quad (8)$$

Könnyen belátható, hogy $Z = 0$ esetben $r=R$, és $S_{0-z} = S_u$.

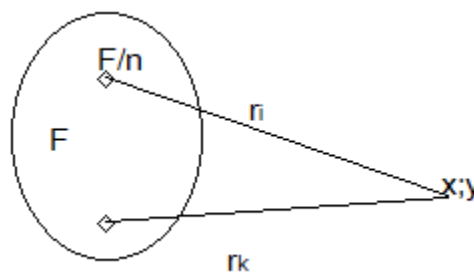
$$S_{0-z} = S_u - S_{z-\infty} \quad (9)$$

Rétegzett pályaszerkezet esetén, a behajlási teknő számításához a terhelés tengelyétől mért r távolságban keletkezett teljes összenyomódásra van szükségünk. A rétegek eltérő alakváltozási modulusa miatt, rétegenként kell meghatározni az összenyomódás értékét. A rétegenkénti összenyomódást az a $0-Z$ mélységig (9), valamint a $Z-\infty$ -ig terjedő összenyomódást a (8) összefüggések segítségével számítjuk.

Az útpályaszerkezetet terhelése nem egy koncentrált erő általi, hanem egy meghatározott felületen eloszló nyomás, amely a legkritkább esetben egyenletesen megoszló, hanem attól eltérő eloszlású. Ezt a feszültség eloszlást közelítjük véges számú koncentrált erővel.

Az egyenletesen megoszló terhelést az F nagyságú felületre jutó P terhelésből $p = \frac{P}{F}$ közismert összefüggésből kapjuk. Ha egy tetszőleges F nagyságú felületet n véges számú részre osztunk és minden egyes részre $\frac{P}{n}$ koncentrált erőt helyezünk, akkor evvel modellezhetjük az F felületen egyenletesen megoszló terhelést, ahol $p = \frac{P}{n}$.

Ekkor ugyanis a P/n nagyságú koncentrált erő F/n felületen oszlik el (2.sz. ábra).



2. ábra: Véges számú F/n felületen eloszló és P/n nagyságú koncentrált erő r_i távolsága egy tetszőlegesen felvett ponttól.

Az F felületen egyenletesen elosztott n darab P/n nagyságú erő által okozott z tengely irányú összenyomódást mindig egy általunk, vagy egy mérőeszköz által mért rögzített x,y pontban kell számolni. Mérőeszköz által megadott pontok pl. KUAB esetén, ha az origó a tárcsa tengelye, akkor hengerkoordináta rendszerben a mérés tengelyétől számított 0; 200; 300; 450; 600; 900; 1200; 1500; 1800 milliméter távolságban lévő pontok, ahol az összenyomódás mérések történnek.

Lacroix és BB mérések esetén az origót a terhelő iker kerekek szimmetria tengelyében célszerű felvenni és derékszögű koordináta rendszer alkalmazása célszerű a mérőpont és a P_i koncentrált erő helyek közötti r_i távolságok számítására.

A számítási módszer szempontjából lényegtelen, hogy az r_i távolságok számítása milyen koordináta rendszerben történik.

Egy tetszőlegesen felvett x,y pontban az F felületen ható n darab $\frac{P}{n}$ koncentrált erő okozta teljes (4) ill. $0-Z$ mélység (9) közötti összenyomódást az az r_i változó távolságra lévő koncentrált erők által okozott összenyomódások összegzésével kaphatjuk.

$$U_u = \sum_i^n (1 - \mu^2) \frac{P}{n * r_i * \pi * E} \tag{10}$$

$$U_{z-\infty} = \sum_i^n \frac{P}{2 * n * r_i * \pi * E} * \left| 3 * \left\{ \frac{r_i}{R_i} - \frac{1}{3} \left(\frac{r_i}{R_i} \right)^3 \right\} - \mu * \left\{ \left(\frac{r_i}{R_i} \right)^3 + (1 - 2 * \mu) * \left(\frac{r_i}{R_i} + 2 * \frac{z_i - R_i}{r_i} \right) \right\} \right| \tag{11}$$

$$R_i = \sqrt{z_i^2 - r_i^2}$$

Ha az F felületen belül vesszük fel az x,y pontot, akkor az x,y pont szükségszerűen valamelyik F/n méretű felületre kerül. Ebben az esetben szükségszerű, hogy $r_i \sim 0$ közelében az összenyomódások (7) és (8) a végtelenhez tartanak.

Ebben az esetben az r_i értékét $x/2$ -re vesszük fel, ahol $x = \sqrt{\frac{F}{n}}$

Itt kihasználtuk azt a hasonlóságot, hogy egy $r/2$ távolságban elhelyezett P koncentrált erő ugyanakkora összenyomódást okoz $r/2$ távolságban, mint egy r sugarú tárcsán egyenletesen megoszló terhelés a tárcsa tengelyében okozott süllyedés, amelynek közismert képlete:

$$S = \frac{2 \cdot r \cdot p}{E} \cdot (1 - \mu^2) = \frac{2 \cdot P}{r \cdot \pi \cdot E} \cdot (1 - \mu^2) \quad (12)$$

Ahol:

$$p = \frac{P}{F}, \text{ és } F = r^2 \cdot \pi$$

S süllyedés (12), akkor lesz egyenlő a (7) S_u koncentrált erő által okozott süllyedéssel, ha a koncentrált erő a vizsgált $r/2$ távolságra van, ahol r a tárcsa sugara.

Természetesen ez a hasonlóság bármely méretű felületre ill. sugarú tárcsára igaz.

A véges számú koncentrált erő hatására keletkező feszültségeket is számíthatjuk összegzéssel. A számított (1) S_{zi} feszültségeket egyszerűen csak össze kell adni, mert minden i komponensű feszültség egyformán z tengely irányú.

A (2);(3) S_{ri} feszültségűek már eltérő irányúak, ezért az F felület súlypontján és az x,y ponton keresztül felvett síkra kell vetíteni, hogy megkaphassuk a fő feszültségi irányokat.

$$S_z = \sum_i^n (S_{zi}) \quad (13)$$

$$S_r = \sum_i^n (S_{ri} \cdot \cos^2 a_i + S_{ai} \cdot \sin^2 a_i) \text{ és} \quad (14)$$

$$S_a = \sum_i^n (S_{ai} \cdot \cos^2 a_i + S_{ri} \cdot \sin^2 a_i) \quad (15)$$

3. A SZÁMÍTÁSI MÓDSZER ALKALMAZÁSÁVAL MEGOLDOTT ANOMÁLIA

Először bemutatok egy példát a rugalmas homogén és izotróp feltételre vonatkozóan.

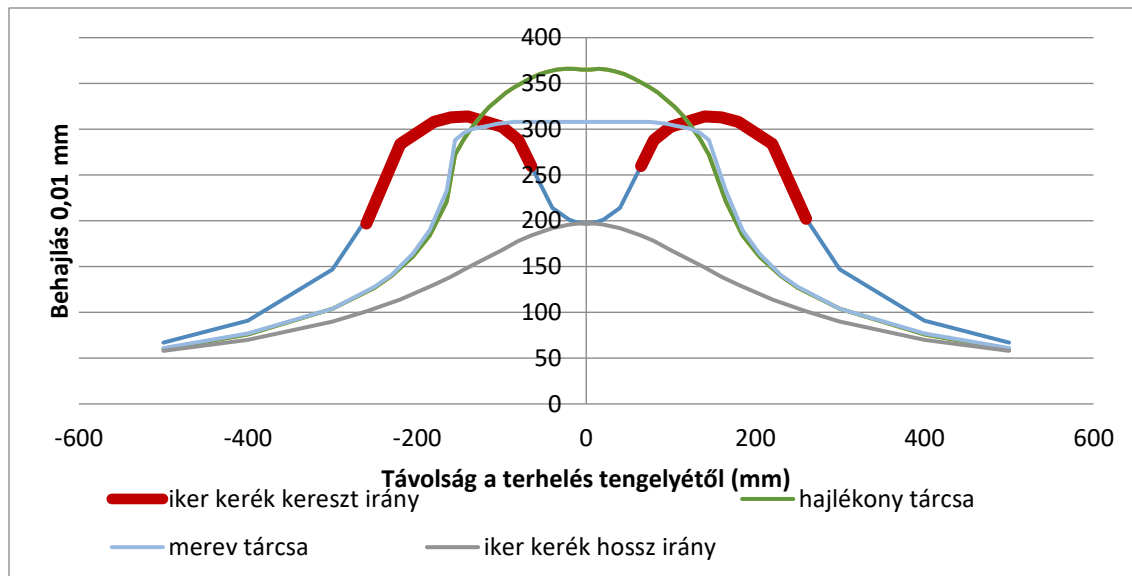
Vegyünk egy 40 MPa teherbírású talajt és terheljük egy 163 mm sugarú merev és egy hajlékony tárcsával, amelynek terhelése 50 kN. Ugyanezt a talajt terheljük meg egy iker kerékkel, amelynek terhelése szintén 50 kN, de két db egyenként 200*200 mm-es méretű terhelő felülete van; a felületek egymástól mért távolsága 130 mm.

Ezt a példát azért választottam, mert a jelenlegi pályaszerkezet méretezési utasítás [9] és a korábbiak is az MSZ 2509/4-1989 szerinti BB Benkelman tartóval az ikerkerék között mért behajlást ilyen méretű tárcsával modellezték a többretegű méretezési módszer esetén.

A bemutatott módszer segítségével mindhárom terhelési típusra elvégeztem a számításokat hossz -és keresztirányban, ahol az irányt az ikerkerék jelöli ki (3. sz. ábra).

Külön feltüntettem az abroncs alatti behajlásokat vastag piros színnel. Jól látható, hogy az ikerkerékek között mért behajlás kisebb, mint a helyettesítő 163 mm sugarú hajlékony, ill. merev tárcsa alatti. Az is látszik, hogy az iker kerékek által okozott keresztirányú behajlás alapvetően eltér a hosszirányú behajlástól.

Természetesen felmerülhet, hogy milyen mérésekkel igazolható a számítás. 1990-ben az M1-es autópálya épülő szakaszán, a 80+480-80+675 kmsz. között, 41 geodéziailag bemért, rögzített mérési ponton az altalajtól az összes pályaszerkezeti réteg teherbírását mértük, tárcsás ill. BB tartóval az ikerkerékek között [10]. Ekkor tapasztaltuk, hogy a 0,4 MPa megoszló terhelésű (28,275 kN-nal terhelt) tárcsával nagyobb összenyomódást mértünk, mint az 50 kN terhelésnél, az ikerkerékek között.



3. ábra: Behajlási teknő alakja különböző terhelő felületeknél homogén féltéren.

Az akkor tapasztalt „anomáliára” ez a számítási módszer ad megfelelő magyarázatot, ami egyben tökéletesen igazolja a módszer helyességét. A hiteles mérési jegyzőkönyvek a mai napig megvannak, a mérést az akkori BUV labor végezte, precíz munkájukért utólag is köszönet, nélkülük a bemutatott módszer „csak” egy hipotézis lenne.

Merev és hajlékony tárcsa avagy 2 vagy p/2

Rugalmas homogén és izotróp féltér esetén, az egyenletesen terhelt r sugarú tárcsa tengelyében mért teljes összenyomódás, szintén Boussinesqu szerint, mert ő integrálta először ezt a felületet a tengelyre:

$$S = \frac{2*r*p}{E} * (1 - \mu^2) \text{ hajlékony tárcsa esetén a már ismertett (12),}$$

$$\text{de } S = \frac{\pi*r*p}{2*E} * (1 - \mu^2) \text{ merev tárcsa esetén.} \tag{16}$$

Az eltérés abból adódik, hogy a merev tárcsa alatt kialakuló feszültség eloszlása:

$$S_y = \frac{p*r}{2*\sqrt{r^2-y^2}} = \frac{P}{2*r*\pi*\sqrt{r^2-y^2}} \tag{17}$$

y a tárcsa tengelytől mért távolság

r a tárcsa sugara

$$p = \frac{P}{F}, \text{ és } F = r^2 * \pi$$

A tárcsa tengelyén kívül az összenyomódásra vonatkozóan nincs egyszerű megoldás, mivel az integrálás zárt alakban nem végezhető el.

A (16) feszültségeloszlásból látszik, hogy a tárcsa szélén a feszültség a végtelenhez konvergál. Végtelent a matematika tudja értelmezni, a fizika viszont nem.

Mi történik a tárcsa szélénél, ill. annak közelében? Nagyon leegyszerűsítve, talaj esetén talajtörés, kötőanyaggal rendelkező anyagok vagy szilárd anyagok esetén, az anyag plasztikus, elasztikus állapotba kerül, mert a feszültség az elmélet szerint a végtelenhez tart. Ezen a területen a Hooke- törvény már közelítően se lesz igaz.

A valós folyamat során, a feszültség egy véges állapot felé tart, amely után a deformáció a feszültség növekedése nélkül is folyamatosan nő.

Ez utóbbi tény azért fontos, mert a tárcsa szélénél nem szükséges olyan modellt felállítani, amely a végtelenhez közelít. Elégséges, ha a tárcsa szélénél felvett feszültség véges, de már „folyást” okoz.

Amikor az egyenletesen megoszló terhelést n számú koncentrált erővel helyettesítettük, akkor valójában n számú hasábot veszünk alapul, amelyen P/n koncentrált erő működik.

Ez a hasábköteg azért modellezi jól a hajlékony tárcsát, mert egymás mellett feszültség átadása nélkül „z” irányba el tud mozdulni, így képes a terhelés által okozott behajlási „teknő” alakját felvenni.

A merev tárcsát is ezzel az n számú hasábbal fogjuk modellezni, ezek nagysága P_i követi a (17) eloszlást, avval a megkötéssel, hogy a tárcsa végénél felvett erő nagyságának maximuma van (19).

$$P_i = F \cdot n \cdot \frac{P}{2 \cdot r \cdot \pi \cdot \sqrt{r^2 - y^2}} = \frac{r \cdot P}{2 \cdot n \cdot \sqrt{r^2 - y^2}}, \quad (18)$$

n az a darabszám, ahány egyenlő részre osztottuk az F felületet.

$$P_{\max} = F \cdot n \cdot \frac{P}{2 \cdot r \cdot \pi \cdot \sqrt{\left(\frac{x}{2}\right)^2}} = \frac{r \cdot P}{2 \cdot n \cdot \sqrt{\left(\frac{x}{2}\right)^2}}, \text{ ahol } x = \sqrt{\frac{F}{n}} \quad (19)$$

Az így felvett terheléssel modelleztük a merev tárcsát (3. sz. ábra). A modell annál jobb, minél jobban közelíti a merev tárcsa alatti azonos behajlást. Tökéletes megoldás nem létezik, mivel a tárcsa szélénél az anyagnak meg kell folynia, amely sérti a Hooke-törvényt, amivel számolunk.

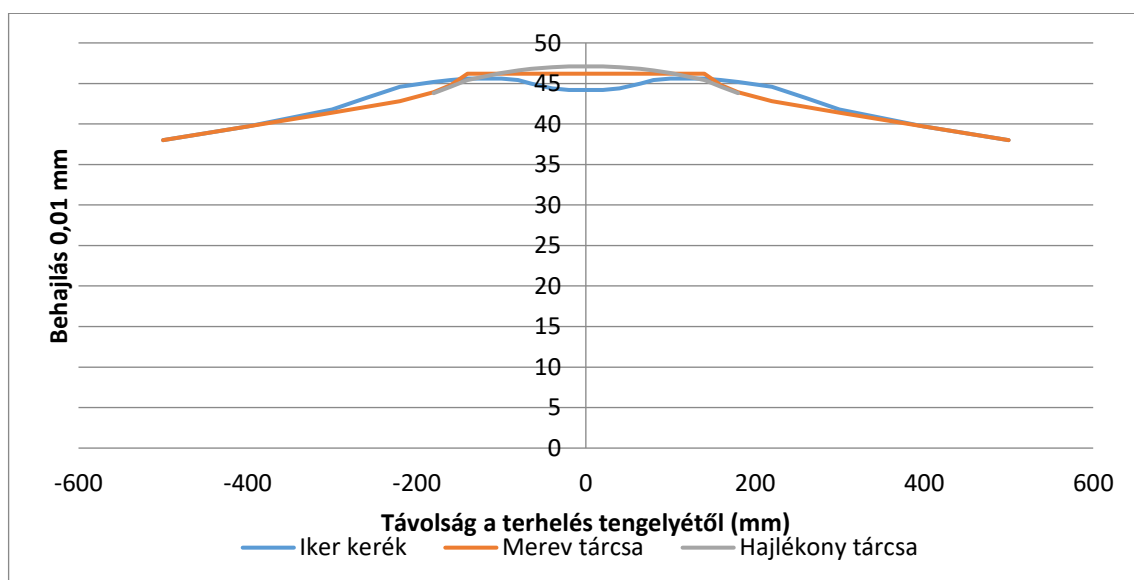
Az eltérés azonban olyan kicsi (század ill. ezred mm-es nagyságrendű), hogy nincs gyakorlati jelentősége, azt azonban hangsúlyozni kell, hogy ezeken a helyeken az anyag nagyon jelentős maradó alakváltozást szenved.

A leírt módszerrel bármilyen feszültségeloszlás bármilyen felületre modellezhető, és – ami a legfontosabb – az okozott deformációk viszonylag pontosan számíthatók.

Nagyon fontos, hogy a 2 vagy p/2 az integrálás eredménye, **homogén és izotróp rugalmas feltérben a tárcsa tengelyére igaz, de ez nem általános érvényű szabály és nem vonatkozik rétegzett talajokra, legfőképpen nem az útpályaszerkezetre.**

Egy kicsit előre lépve, megadok egy félig merev pályaszerkezetet és a modell által számított behajlásokat.

Az altalaj teherbírása 40 MPa, a Ckt-4 150 mm vastag, E_{din}~5000 MPa, amelyen 150 mm vastag aszfalt pályaszerkezet található, aminek az alakváltozási modulusa dinamikusan mérve 14 °C-on E_{din}~3300 MPa.



4. ábra: Útpályaszerkezeten kialakuló behajlási teknő különböző tereheléseknél.

A számított behajlásokat 0,01 mm-ekben fejeztük ki. Látható, hogy a különböző mérési módszerek, ikerkerék között Benkelman tartóval vagy ezt közelítő 163 mm-es akár hajlékony akár merev tárcsával közel hasonló, de nem adnak azonos eredményt.

Az is szembevetendő, hogy a merev és a hajlékony tárcsa is szinte ugyanazt a behajlási teknőt hozza létre.

Mérnöki tapasztalatunk szerint is, minél merevebb és vastagabb pályaszerkezeten mérünk teherbírást, annál kisebb a jelentősége annak, hogy merev vagy hajlékony a terhelő tárcsa.

Ezt a tapasztalatunkat most már számszerűsíteni is tudjuk.

Az ikerkerék alatti terhelés 163 mm sugarú tárcsával modellezhető, az elkövetett hiba a pályaszerkezet merevségének függvényében változó (4. ábra). A pályaszerkezetben ébredő tényleges feszültségek számítására az ilyen modell nem alkalmas, de erre soha nem is használták.

4. TÖBBRÉTEGŰ ÚTPÁLYASZERKEZET

Többrétegű rendszernél az Odemark-Ivanov (1949) által javasolt $hh_i = h_i \cdot \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_a}}$ közismert összefüggést javaslom, ahol a h_i az i . réteg vastagsága, E_i réteg alakváltozási modulusa, E_a az altalaj alakváltozási modulusa, hh_i az i . réteg helyettesítő rétegvastagsága.

Több réteg esetén is mindig a legalsó réteghez, az altalajhoz viszonyítunk.

Az összenyomódásokat is réteghatáronként számoljuk, de az adott réteg alakváltozási modulusával osztunk. Ez a módszer bármely x,y pontra vonatkozóan alkalmazható.

Másik eljárás, amit hazánkban is alkalmazunk, az ún. egyenérték alakváltozási modulus, ami azt jelenti, hogy a mért behajlásból – valamilyen módszerrel mért és BB-re átszámított – kiszámítjuk azt az egyenérték alakváltozási modulusot, amely ugyanazt a behajlást eredményezné.

Természetesen ezt számszakilag megtehetjük, hiszen ha adott a „valamilyen” módon mért behajlás értéke, akkor az át tudjuk számítani pl. egy 163 mm átmérőjű hajlékony tárcsán mért 50kN terhelés esetére, amiből kapunk egy „egyenérték” alakváltozási modulusot.

A méretezésnél ebből az egyenérték alakváltozási modulusból indulunk ki, amely rétegre, ha x vastagságú E alakváltozási modulusú réteget teszünk, akkor ki tudjuk számítani az új réteg behajlását, mint kétrétegű rendszerét.

Ez a mai tervezési eljárás, a módszernek nagyon nagy előnye, hogy nagyon egyszerű.

Hátránya, hogy az alkalmazott „egyenérték” alakváltozási modulus a hajlékony tárcsa tengelyén kívül sehol se ad elfogadható eredményt, vagyis csak és kizárólag a terhelés tengelyére vonatkozóan kapunk a mérésnek is megfelelő behajlást.

Az „egyenérték” alakváltozási modulusú feltérben tetszőlegesen felvett x,y pontban már megközelítően se számíthatunk a rétegzett útpályaszerkezeten mért behajlást, ezért a rétegzett útpályaszerkezet nem helyettesíthető egyenérték alakváltozási modulusú feltérrel.

További hátrány, hogy minden mérést át kell számítani a BB Benkelmann tartóval mért értékre.

Az átszámítási „kényszernek” nemcsak ez az oka, a másik igen nyomós ok, hogy a méretezéshez használt élettartam görbék is a BB mérésen alapulnak.

5. KÜLÖNBÖZŐ MÓDSZERREL MÉRT BEHAJLÁSOK ÁTSZÁMÍTÁSÁNAK LEHETŐSÉGE ÉS KORLÁTAI

A törekvés az, hogy az X módszerrel mért behajlást számítsuk át, $f(x)$ függvény segítségével másik Y módszerrel mért behajlássá.

Ha létezne valóságos „egyenérték” feltér, amely a rétegzettet helyettesíti, akkor létezne ilyen $f(x)$ függvény is, de ilyen nincs, ezért az $f(x)$ függvény keresése is a sok hiábavaló dolog közé sorolandó.

Amit állítok, hogy nem létezik, és nem létezhet olyan módszer, amelyik a mért pályaszerkezet rétegzettsége, felépítése nélkül az X módszerrel mért behajlást elfogadható pontossággal át tudná számítani Y módszerrel mért behajlássá. Természetesen, hogy ki mit ért elfogadható pontosságon, azon lehet vitatkozni.

A felsorolandó problémák közismertek, de mindegyik összefügg a pályaszerkezet rétegzettségével.

1. Dinamikus hatás

- A mért és a számított alakváltozás, vagy behajlás függ az alakváltozási modulustól, ami pedig függ a terhelés sebességétől. Ez a függés nem azonos a hidraulikus kötésű pályaszerkezet, a bitumenes kötőanyagú rétegek és a kötőanyag nélküli rétegek esetén. Előfordulhat, hogy míg X módszerrel mérve a kétféle pályaszerkezetet azonos mérési eredményre jutunk, de Y módszerrel már teljesen eltérő mérési eredményt kapunk.
- Másik nem elhanyagolható ok, hogy a kötött, de telített talajok nagy terhelési sebességnél –pl. KUAB mérés- „mereven” viselkednek, adott esetben összenyomhatatlanok a terhelés ideje alatt, míg ez a talaj statikus tárcsás mérés vagy BB mérés esetén, jelentős alakváltozást szenved.
- Szemcsés talajoknál közismert a vibráció hatása, ami szintén nem hanyagolható el.

2. Mérési módszer, a mérés körülményei

- Nem mindegy, hogy a behajlás mérésekor a rugalmas visszaalakulást vagy a maradó alakváltozást is tartalmazó behajlást mérjük. Pl. a BB a rugalmas visszaalakulást mér, míg tárcsás mérés, KUAB stb. a teljes alakváltozást.
- A mérések többségénél eltérő módon és mértékben, de a mért pontot, pontokat nemcsak a méréskor figyelembe vett P erő terheli, hanem P_i is, amely távolabb van a mérés helyétől. Pontosabban a tárcsás mérésnél a terhelő jármű, mint ellenteher x m-es távolságból ráterhel a mérőpontra, a mérőkar talpaira; ez a terhelés a terhelés közben csökkenni fog, majd tehermentesítéskor ismét ráterhel.

Ezeket a hatásokat elhanyagoltuk, mert nem tudtuk kiszámolni.

Ugyanilyen hatás észlelhető a BB méréskor, amikor a terhelési ponttól, 1,92 m távolságban lévő, szintén 50 kN terhelésű kerék is terheli a mérési pontot, valamint a BB tartó talpait. Továbbá a mért kerék is ráterhel a BB tartó lábaira, ami 1,5 és 2,5 m-es távolságban vannak, vagyis a mérést kiterjedt behajlási teknőben végezzük.

A KUAB-nál ilyen hatásokkal nem kell számolni, de a Lacroix-típusú, gördülőkeres mérőberendezéseknél már igen.

- Azt gondolnánk, hogy a mérőeszközök egyszerűen statikus és dinamikus terhelési csoportba sorolhatók, pedig ez nem igaz. Minden mérés „dinamikus”, csak a terhelés sebessége eltérő, ténylegesen statikus terhelésnek egy épület tekinthető.

Néhány mérési módszer, közelítő, nem egzakt terhelési sebessége, mm/perc dimenzióban (1. sz. táblázat).

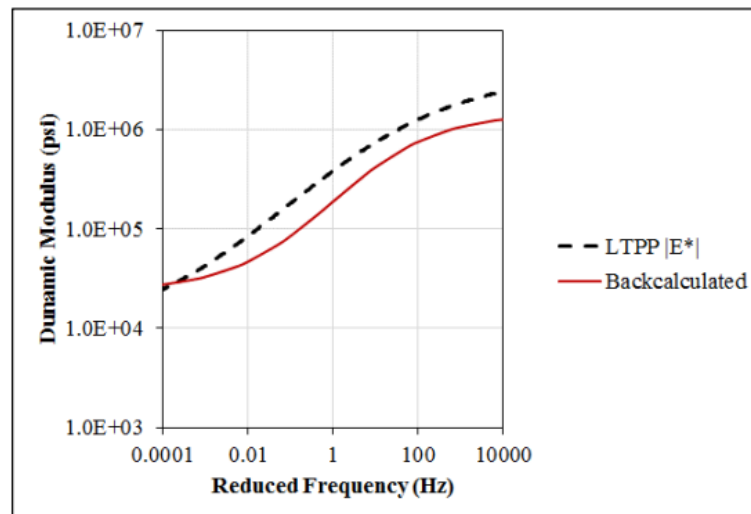
1. táblázat: Terhelés típusa és a becsült terhelési sebesség.

Terhelés típusa	Terhelés sebessége mm/perc
Könnyű ejtősúlyos	7800
KUAB	3200
Laboratórium	725
Lacroix	28
Tárcsás	0,3

Aszfaltkeverékek esetén adott hőmérséklet mellett az alakváltozási modulus „ E_{aszf} ” és a terhelés sebességének összefüggése „ $E_{aszf}=a \cdot \ln(v) + b$ ” alakú, ahol „ v ” a terhelés sebessége.

Az MSZ EN 12697-26 „Meleg aszfaltkeverékek vizsgálati módszere” E5. fejezete szabvány lehetővé teszi a mestergörgék meghatározását. A MEPDG-féle útpályaszerkezet

méretezéséhez ajánlanak hasonló módszert a megfelelő alakváltozási modulus meghatározásához [11] [12].



Source: FHWA.

5. ábra: Dinamikus modulus különböző terhelési frekvencián.

3. Mérést befolyásoló külső körülmények

Ezek a hatások leginkább az időjárási viszonyok, az altalaj víztartalmára vonatkozó viszonyok.

Jelentőségük az eltérő mérések átszámíthatóságának tekintetében ott van, hogy befolyásolják a mérés kori alakváltozási modulusot. Az átszámíthatóságot nehezíti az esetleg eltérő terhelő erő és felület, de ezek szerencsére közel azonosak.

6. A BEMUTATOTT MÓDSZER ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGE

A számítási módszerrel, ha ismert a behajlási teknő, akkor ki lehet számolni az altalaj mérés kori teherbírását és a pályaszerkezeti rétegek alakváltozási modulusát.

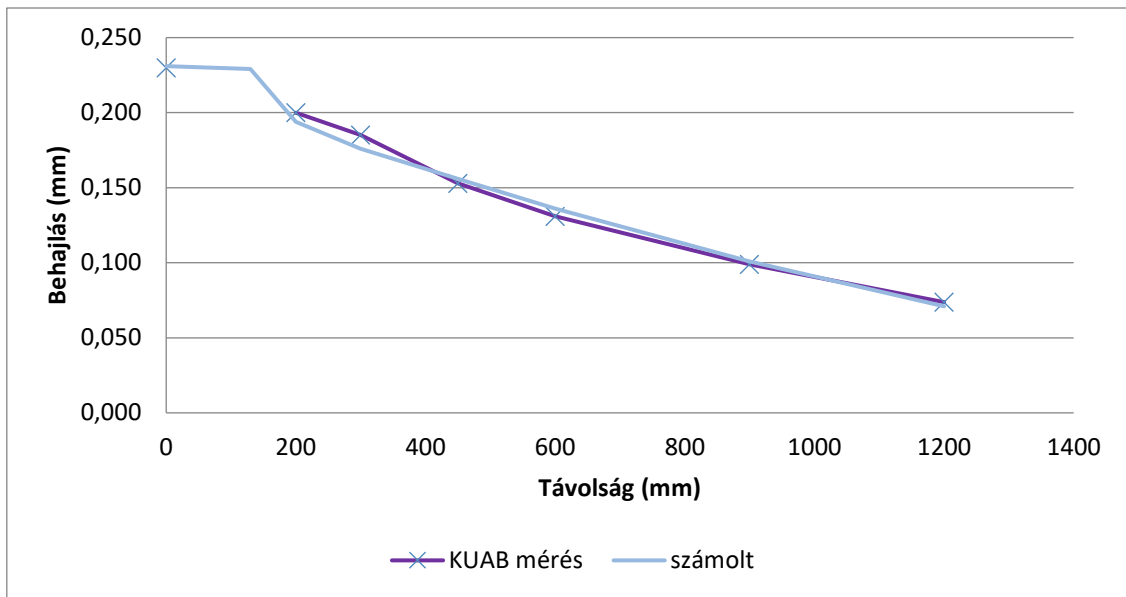
Az így kapott alakváltozási modulusok a mérési módszerre jellemzőek, értékük függ a terhelési sebességtől.

A módszert egy példán keresztül mutatjuk be. A mért szakasz hossza 3,5 km.

2016. év novemberében egy útszakaszon mértek KUAB-bal 14 °C-os hőmérsékleten, majd egy Lacroix jellegű gördülőkeres módszerrel 2020. év júliusában 22 °C-os hőmérsékleten.

Pályaszerkezet:	építés éve
5 cm AB-12	1977
4 cm AB-12	1970
6 cm U-20	1970
15 cm soványbeton	1970
közepesen kötött talaj	

A soványbeton, valószínűen B60, amely a mai Ckt-4 hez áll a legközelebb, de pontosan nem ismerjük, mint ahogy azt sem tudjuk, hogy a soványbeton alatt milyen vastagságú homokos kavics található, amit most figyelmen kívül hagyunk.



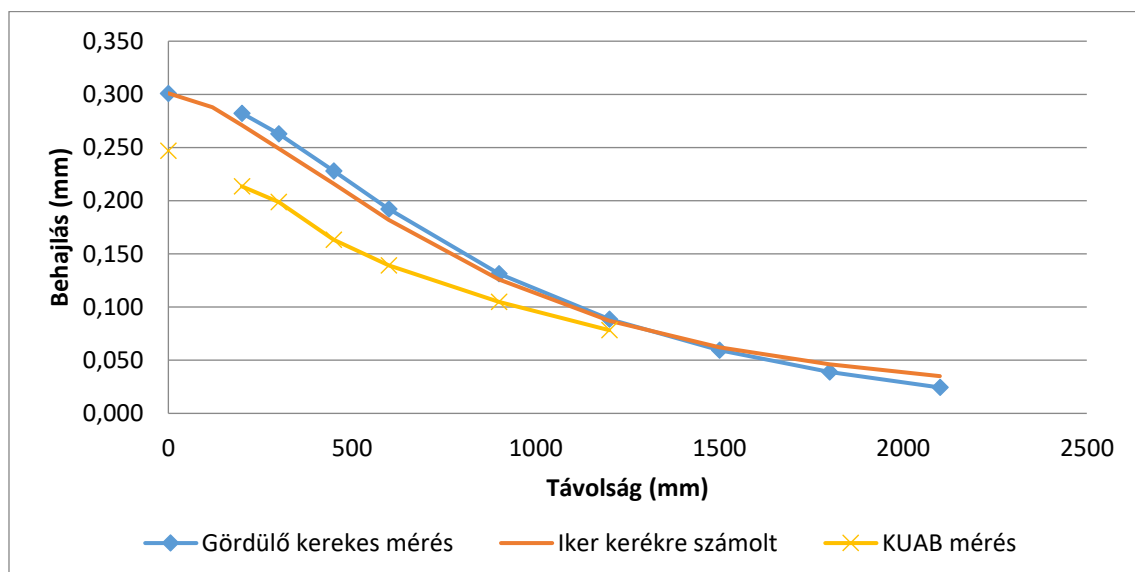
6. ábra: KUAB teherbírás mérés által keltett és számított behajlási teknő.

A KUAB mérésből számított eredmények:

15 cm aszfalt 14 °C hőmérsékleten	4100 MPa,
15 cm soványbeton	4000 MPa,
közepesen kötött talaj	110 MPa.

A KUAB mérések alapján az ismertett számítási módszerrel merev terhelő tárcsára meghatároztam a pályaszerkezeti rétegek alakváltozási modulusát, és a behajlási teknőt (6.sz ábra). A mért és a számított behajlási teknő jól egyezik.

A Lacroix-típusú gördülő kerek mérésekre vonatkozóan iker kerek terhelést és rugalmas behajlást alapul véve számítottam a pályaszerkezeti rétegek alakváltozási modulusát, és a behajlási teknőt, ami szintén jól egyezik a méréssel. A 7. sz. ábrán feltüntettem a KUAB mérés eredményét, hogy a két mérési módból adódó eltérés jól látható legyen. Az eltérésnek három fő oka, az eltérő hőmérséklet, eltérő terhelési sebesség és eltérő az altalaj mérés kori állapota.



7. ábra: Gördülőkerekes teherbírás mérés által keltett és számított behajlási teknő.

A Lacroix-típusú mérésből számított eredmények:

15 cm aszfalt 22 °C hőmérsékleten	2000 MPa,
15 cm sovány beton	3500 MPa,
közepesen kötött talaj	90 MPa.

Az általajra vonatkozó alakváltozási modulusok a gördülő kerekes mérésnél inkább statikusnak, a KUAB mérésből származó pedig dinamikus alakváltozási modulusnak tekintendő. Az általajra vonatkozó alakváltozási modulus viszonylag pontosan meg lehet határozni, mivel a 900; 1200; 1500; 1800; 2100 mérőpontok mind az általaj teherbírását jellemzik. A pályaszerkezeti rétegekre vonatkozóan azonban kevés a mérőpont, így sokkal nagyobb a bizonytalanság is. A bizonytalanság azon pályaszerkezeti rétegek esetén növekszik, amikor a várható alakváltozási modulus közel hasonló. Bár alapvetően különböznek egymástól a hidraulikus kötőanyagú rétegek az aszfalt rétegektől, de van olyan hőmérséklet tartomány, amikor az alakváltozási modulus hasonló, pl. 10-15 °C hőmérsékleten.

A javasolt módszert, ami kizárólag egzakt elméleti megfontolásokon alapszik, összehasonlítottuk a 2. sz. táblázatban a KUAB és egyéb dinamikus mérésekhez javasolt eljárással [13].

Itt a szerzők négy alapesetet elemeznek mindegyik esetben háromféle pályaszerkezettel, ahol megadták a szerkezeti rétegek vastagságát és a rugalmassági modulusokat is, valamint 0, 305; 610; és a 914 mm távolságban a behajlásokat.

2. táblázat: Számítási módszer összevetése más elfogadott módszerrel.

mm		psi	MPa	láb	mm	hüvelyk	mm	Saját számított
50	Aszfalt	500000	3450	0	0	0,048	1,2192	1,249
150	Base	25000	172,5	1	305	0,026	0,6604	0,756
	talaj	7500	51,75	2	610	0,014	0,3556	0,38
				3	914	0,009	0,2286	0,219
125	Aszfalt	500000	3450	0	0	0,027	0,6858	0,683
200	Base	25000	172,5	1	305	0,02	0,508	0,518
	talaj	7500	51,75	2	610	0,014	0,3556	0,353
				3	914	0,01	0,254	0,225
				0	0	0,018	0,4572	0,444
230	Aszfalt	500000	3450	1	305	0,015	0,381	0,381
150	Base	25000	172,5	2	610	0,012	0,3048	0,302
	talaj	7500	51,75	3	914	0,009	0,2286	0,226

psi = font/négyzethüvelyk (pound/inch²)

Saját módszerünkkel is kiszámoltam a várható behajlásokat mindegyik esetre, amiből most csak az I. esetet közlöm a 2. táblázatban. Az eltérés minden esetben minimális, ami szintén erősíti a leírt számítási módszer helyességét. Itt jegyzem meg, hogy szinte minden módszer felvesz egy különböző eljárásokkal számított „összenyomhatatlan” réteget, mert e nélkül a számított behajlási teknő és a valóságos mérés elfogadhatatlan mértékben eltér egymástól.

Nekünk a számításhoz nincs szükségünk ilyen elméletileg is nehezen indokolható rétegre.

7. HATÁRMÉLYSÉG AVAGY ÖSSZENYOMHATATLAN RÉTEGEK

Jól ismert tudományos vélekedés, hogy az R sugarú tárcsának a hatásmélysége $(2-3) \cdot R$ mélység körül van.

Vizsgáljuk azonban meg, hogy ez elméletileg lehetséges-e. Az tény, hogy ilyen mélységben a $s_z(1)$ már töredéke a tárcsa alatti terhelésnek, de nem nulla, a mélység függvényében $1/Z$ alakban csökken.

Természetesen nem is a feszültség létét vagy nem létét vitatják, hanem a kialakuló süllyedést. Az állítás mögött az húzódik meg, hogy pl. $Z_h = 6 \cdot r$ határ mélységben a terhelő tárcsa alatt nincs mérhető összenyomódás, amelynek oka nincs megmagyarázva.

Az állítással az az igazi probléma, hogy a Z_h mélységben a terhelő tárcsa tengelyében lévő elemi anyagnak nincs információja a terhelő tárcsa méretéről, ezért nem is „tudhatja”, hogy „neki” most éppen össze kell-e nyomódnia vagy sem.

A Z_h mélységben lévő elemi anyagnak csak a feszültség komponensekről és feszültség terjedésének sebességéről van információja, amely feszültség hullám formában terjed.

Az viszont előfordulhat, főleg a nagyon kicsi vízáteresztő képességű telített kötött talajoknál, hogy az igen rövid idejű dinamikus terhelésnél a telített talaj összenyomhatatlan, hiszen a víz nem tud a terhelés ideje alatt kiszorulni a terhelési zónából, vagyis nem jöhet létre térfogat változás és ennek következtében a tengely irányú összenyomódás sem.

Kvázi statikus terheléskor, tárcsás mérés vagy a BB mérés közben a terhelési idő lényegesen több, így az összenyomhatatlan réteg kialakulása már nem valószínű.

Dinamikus teherbírás mérés mellett valószínűleg a gördülőkerekes teherbírás mérésekor is kialakulhat összenyomhatatlan réteg a talajvíz szintjével egyezően, főleg a IV-IX talajfajták esetén, ezért a mérés kori talajvízszint és a pályaszint közötti különbség ismerete fontos lenne.

8. ANYAG ÁLLANDÓK

A lineárisan rugalmas homogén és izotróp anyagra vonatkozik a Hooke-törvény.

Az anyag állandók a „E” rugalmassági modulus MPa, és a μ Poisson-féle harántkontrakciós tényező, amely egynél kisebb dimenziótlan szám. Nagyon fontos, hogy az „E” modulus közvetlenül soha nem mérjük, hanem csak számítjuk.

Az útpályaszerkezeti rétegek, mint jól tudjuk, nem tisztán rugalmas anyagok. A terhelés és az azt követő tehermentesítés során az anyag maradó és rugalmas alakváltozást szenved. A két alakváltozás együttes értékéből és a terhelő legnagyobb feszültségből kapjuk meg az alakváltozási modulus. A rugalmas viselkedést jellemző rugalmassági modulus számításánál a tehermentesítés utáni rugalmas visszaalakulást szabad figyelembe venni.

A leírt süllyedés képletek az anyag adott állapotában, hőmérséklet, víztartalom, terhelés sebessége, feltételezik az „E” modulus állandóságát, adott feszültségtől való függetlenségét. Az „E” azonban nem független a feszültségtől, ezért nem állandó, pl. a teherbírás mérés ideje alatt sem. Elméletileg megoldható, hogy a számítások során a feszültséggel változó „E” értéket adjunk meg, de ez csak elméleti felvetés, mert az „E” értékének laboratóriumban is mérhető változása nem ismert a nagyon eltérő aszfaltkeverékek miatt. Így elméletileg lehetséges, de gyakorlatilag nem kivitelezhető.

A helyszíni teherbírás mérések többsége a teljes alakváltozást méri. A BB viszont rugalmas visszaalakulást mér, ami a jelenlegi méretezési módszer alapja és minden más egyéb mérési módot erre a mérési típusra számítunk át. Még a tárcsás mérés során is teljes alakváltozást mérünk, és ebből számoljuk az altalaj E_2 alakváltozási modulusát, bár a rugalmas visszaalakulás is mérhető és számítható lenne.

A KUAB mérés, a FWD a ejtősúlyos mérés, a gördülő kerekes mérések során meghatározott „E” értéke is a teljes alakváltozást tartalmazza.

A laboratóriumi vizsgálatok eredményként általában a teljes alakváltozásból számítják az E értéket, ha mégis eltérnek ettől, akkor a rugalmassági modulus csak egy tartományra vonatkozik, és nem tekinthető a teljes rugalmas visszaalakulásra jellemző értéknek.

A BME Építőanyagok Tanszékén dr. Zsigovits Istvánnal több száz új és kifűrt aszfaltmintán végeztünk vizsgálatokat, amelyből egyértelműen kiderült, hogy az E értéke függ a terhelés sebességétől és a minta nyomószilárdságától, ugyanazon terhelési nyomófeszültség mellett. Az aszfalt nyomószilárdsága pedig függ a vizsgálati hőmérséklettől is.

A nyomószilárdság ezen kívül még függ a teherismétlések számától is. A Főpolgármesteri Hivatal megrendelésére 1997-ben a probléma feltárására kutatást végeztünk, amely a fenti állításokat igazolja [13]. A tanulmány egyik fontos megállapítása, hogy a maradó alakváltozás a nyomószilárdság 70%-át meghaladó terhelés esetén exponenciálisan növekszik.

A rugalmas alakváltozás is nő, de a változás lényegesen kisebb mértékű. Helyszíni teherbírásméréskor a BB méréstől eltekintve a teljes alakváltozást mérjük, a behajlási „teknő” is a teljes alakváltozásra jellemző. Az aszfalt pályaszerkezet teljes behajlásban játszott szerepe 2-5 %-nyi, ami tartalmazza a maradó alakváltozást is, elég csekély, de a számítási modellben használt helyettesítő rétegvastagság az E_i/E_a függvénye ezért nem elhanyagolható. Továbbá nem mindegy, hogy az E modulusnál a rugalmas vagy a maradó alakváltozást vesszük figyelembe, melyikkel számolunk.

Az aszfalt tönkremeneteli folyamata során az alakváltozási modulus folyamatosan csökken, ahol a maradó alakváltozás növekedése a döntő.

Egy nagyforgalmú főút pályaszerkezetén végzett teherbírásmérés legnagyobb behajlásából az aszfaltréteg tényleges összenyomódása néhány 0,01 mm, ha ebből fele származik a maradó alakváltozásból, akkor ez az aszfaltréteg gyakorlatilag tönkrement, jelentős lesz a várható deformáció, és tele lesz a burkolat mikro- és látható repedésekkel. Ehhez képest a rugalmassági modulus csökkenése lényegesen kisebb lesz. Ha ebből a pályaszerkezetből fűrt mintát veszünk, és rétegenként nyomószilárdság vizsgálatnak vetjük alá, akkor azt kapjuk, hogy rétegenként eltérő lesz a nyomószilárdság, az alakváltozási modulus és a rugalmassági modulus, amely mérésből rétegenként meg tudjuk állapítani az adott réteg állapotát várható élettartamát. A vizsgálatokból egyértelműen kiderült, hogy a maradó alakváltozás döntő fontosságú adott pályaszerkezeti réteg állapotának megítélése szempontjából, de ez önmagában még nem indokolja az alakváltozási modulus figyelembevételét a rugalmassági modulus helyett.

A Boussinesq-féle feszültségkomponenseknél nem szerepel rugalmassági modulus és alakváltozási modulus, de szerepel a harántkontrakciós tényező, azaz a Poisson-féle szám, amely szintén nem állandó. Szerencsére a 0,2 és 0,5 közötti értékeknél a számított behajlás alig változik, így nagy hibát nem követünk el, ha a Poisson-számot állandónak tekintjük adott anyagra vonatkozóan.

Ha feltételezzük, a használt elméleti képletekből az derül ki, hogy a feszültségeloszlást az anyag „E” alakváltozási modulusa nem befolyásolja, akkor az „E”-nek, „csak” a közelítő eljárásaként alkalmazott

$$hh_i = h_i \cdot \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_a}}$$

közismert helyettesítő rétegvastagságra van hatása.

Kérdés, hogy az alakváltozási vagy a rugalmassági modulusal számoljunk. Erre az egyszerű kérdésre azért nehéz egzakt választ adni, mivel a helyettesítő rétegvastagság se egzakt elmélet, hanem csak közelítés.

A helyettesítő rétegvastagság két eltérő „E” modulusú réteg azonos hajlítási merevségéből indul ki. Ez azt is jelenti, hogy hajlítás során a hh_i/h_i magassági arányú rétegek ugyanakkora görbületi sugárral hajlanak, a szélső számban keletkezett állandó húzófeszültség mellett.

A merevebb réteg esetén a tárcsás terhelés során kisebb behajlásokat, nagyobb görbületi sugarat kapnánk azonos terhelés mellett, mint a kevésbé merev réteg esetén. Ezért a merevebb réteget „bele” kell hajlítani a kevésbé merev rétegen keletkező görbületbe. Az egyensúly akkor áll be, amikor a hajlítási belső munka és a külső munka csökkenése egyenlővé nem válik. A külső munka azért csökken, mert a kevésbé merev rétegen mért elmozduláshoz képest a külső teher kisebb elmozdulást végez az összetett kétrétegű rendszeren.

A helyettesítő rétegvastagság alkalmazása esetén hallgatólagosan feltételezzük, hogy ez az egyensúly hh_i/h_i következik be.

Belátható, hogy a hajlítás, adott görbület felvételéhez, az alakváltozási modulus figyelembevétele esetén kisebb belső munkával jutunk el, mint az alakváltozási modulusnál nagyobb rugalmassági modulus figyelembevételevel, ezért az alakváltozási modulusal kell számolni.

Ennek megfelelően a teherbírás mérésekor is a teljes (maradó és rugalmas) behajlás, együttes mérése a helyes, és ezzel kell számolni.

A behajlási teknőből és a rétegvastagságokból viszonylag pontosan kiszámíthatjuk az alakváltozási modulusokat, de továbbra sem lesz információnk a pályaszerkezeti rétegre vonatkozó rugalmas és maradó alakváltozás mértékéről. Nem fogjuk tudni, hogy az alakváltozási modulus értéke azért annyi, mert a fáradási élettartamának végén jár, pl. magas a maradó alakváltozás aránya, vagy azért olyan, mert ilyen az aszfaltkeverék, de a maradó alakváltozás aránya kicsi. A pályaszerkezet méretezését mindenképpen ki kell egészíteni szubjektív állapotfelvétellel ill. további laboratóriumi vizsgálatokkal, ha szükséges.

Az „E” modulus nem állandó, még egy mérésen belül sem, de a hiba elfogadható mértékű, ha a teherbírás mérésekor a pályaszerkezeti rétegekben az adott körülmények mellett nem okozunk a rétegek törőfeszültségéhez közeli feszültséget.

Ha az út pályaszerkezetét elemi részekre bontjuk, amire az egyensúlyi egyenletek is vonatkoznak, akkor se a beton, se az aszfaltkeverék, se a talaj nem homogén és nem izotróp. Sőt, ha az elemi részeket, a standard atommodell szerint, elemi részecskéknak tekintjük, akkor az alkalmazott differenciálegyenletek peremfeltételei sehol se biztosítottak. Viszont, minél nagyobb léptékben vizsgálódunk, annál inkább teljesülnek a peremfeltételek.

Az aszfaltkeverék esetén, elemi szinten a feszültség terjed a kővázat alkotó kövön, ami szintén nem homogén, majd átadódik egy vékony bitumen filmre, onnan a bitumen habarcsra, esetleg közben vízre, vagy levegőre, ismét habarcsa, kőre stb. A feszültség terjedés ezek igen bonyolult kombinációja lesz, amely végül egy megfelelően választott lépték esetében egy diszkrét érték felé halad.

A folyamat egy kicsit hasonlít a folyadék hőmérsékletéhez, ahol a hőt az elemi részecskék, molekulák kinetikai energiája adja. Ott sem lehet megadni egy részecske kinetikai energiáját, de azért 1 kg tömegű víz hőmérséklete jól mérhető, amely a részecskék kinetikai energiájának átlagából adódik.

Aszfaltkeverékek, betonok, sőt talajok esetén is legalább a keverék legnagyobb szemmagyságának kétszerese, háromszorosa kell legyen a megfelelő lépték.

A számítások során ennél sokkal kisebb léptéket is szoktunk választani, de tudni kell, hogy bár a számítás pontosabbnak tűnik a lépték csökkentésével a számítás bizonytalansága rendkívül megnő egy konkrét vizsgálat esetén.

Ez azt jelenti, ha egy aszfaltgerendát hajlításnak teszünk ki, és mm-es pontossággal, meghatározott helyen kiszámítjuk a keletkező feszültségeket a gerenda szélétől, akkor garantáltan nagyot fogunk tévedni a konkrét vizsgálat és adott gerenda esetén ténylegesen kialakuló feszültségekhez képest. A feszültséget azonban nem mérjük, hanem számítjuk a megnyúlásból és a terhelő erőből, ez utóbbit se mérjük, csak számítjuk a gyorsulásból és a tömegből. A hajlított gerendán végzett feszültség számítása azért pontos, mert a hajlításból eredő megnyúlást viszonylag nagy tartományra vonatkozóan határozzuk meg. Hibás értéket kapnánk, ha a fajlagos megnyúlást 2-4 mm-en határoznánk meg, éppen egy köszemcsén, de jó eredményt kapunk, ha a vizsgálati tartomány a legnagyobb szemmagyság 2-3-szorosa.

Ha nem egy konkrét keveréket vagy helyszínt vizsgálunk, akkor a minta darabszámának növekedésének arányában nő a pontosság is. A behajlásmérésnél egy konkrét hely tekintetében a mérés bizonytalan - az ismertett okok miatt - és nem feltétlen a mérési módszer vizsgálati szórásának következtében. Vagyis egy hely teherbírása vonatkozó két mérés eltérése - rendkívül pontos mérési eljárás esetén is - 2-20 % is lehet. Sőt, ha a mérőhellyel csak néhány cm-rel arrébb megyünk, ez az eltérés tovább fog növekedni.

Ha akár egy hosszabb vagy rövidebb útszakaszt akarunk jellemezni a mért teherbírással, akkor ehhez legalább 10-30 mérés szükséges, az elvárt megbízhatósági tartománytól függően, a szakasz hosszától azonban függetlenül.

Így, például, megbízhatóan jellemezhetünk egy 1000 m-es hosszúságú szakaszt 30 db méréssel, ha a pályaszerkezet rétegrendje, valamint az altalaj típusa és víztartalma se változik, de nem jellemezhetünk

ugyanezen a szakaszon 100 m-t 2-3 mérésből megbízhatóan, mert az útpályaszerkezet inhomogenitása miatt túl nagy a szórás, ami kizárólag a mintaszám növelésével csökkenthető.

A víz példájára visszatérve, ha a víz molekuláinak nagysága közelítene az aszfaltkeverék ásványi vázának méretéhez, akkor a hőmérsékletet nem lehetne egy mérésből meghatározni, hanem a mért egység – nem lenne elég 1 kg-nyi víz – növelése mellett a mérések számát is növelni kellene és a mérőhelyeket is egyenletesen el kellene osztani az átlagos hőmérséklet elfogadható pontosságú számításához.

A gördülőkeres mérések rendkívüli előnye éppen a nagy mérési számból adódik, még akkor is, ha a mérési módszer pontossága kisebb, mint más módszereké.

9. A SZÁMÍTÁSI MÓDSZER GYAKORLATI HASZNA ÉS A MEGOLDANDÓ FELADATOK

A módszerrel a behajlási teknő alapján és a pályaszerkezeti rétegek ismeretében rétegenként számítható a mérésre jellemző alakváltozási modulus.

Kiemelt fontosságú, hogy a méréskor a talajra vonatkozó alakváltozási modulusot kitudjuk számolni a mért behajlási teknőből, így az útpályaszerkezet méretezésekor durva becslésként használt évszaki kiváltható.

A különböző módszerekkel mért behajlási teknők átszámíthatók, ha ismerjük a mérési módok terhelési sebességét és ismerjük anyagfajtánként, az aszfalt, a beton, a különböző talajok terhelési sebességtől függő alakváltozási modulusának változását.

A módszerrel jól modellezhető, bármilyen felületű és terhelésű eset és különböző rétegzettségű, tulajdonságú útpályaszerkezet által keletkezett behajlási teknő. A modellezett behajlási teknő görbületéből pedig számíthatók a hajlításból eredő többlet feszültségek is.

A helyettesítő rétegvastagság egyszerű módosításával az is figyelembe vehető, hogy a hajlított rétegek elcsúsznak-e egymáson, vagy se.

A számítási modell nyújtotta lehetőségek kihasználásához az útpályaszerkezeti rétegek dinamikus viselkedését, a terhelés sebességétől függő mechanikai paraméterek (alakváltozási modulus, nyomószilárdság és húzószilárdság) változását sokkal jobban kellene ismerni, többek között meg kellene határozni az aszfaltkeverékek mestergöbéit [14] [15].

Az élettartam elemzéséhez a fáradási élettartam görbékre is szükség van minden aszfaltkeverék esetén, legalább megfelelő becslés szintjén.

Jelenleg az útpályaszerkezet méretezésekor a legnagyobb hibát az évszaki szorzó használatával követjük el, mert nem ismerjük a teherbírásmérés idején az altalaj pillanatnyi teherbírását, és ezért hibásan számítjuk át azt a méretezéskor használandó legkedvezőtlenebb „E_m” méretési modulusra. Az elkövetett hiba nagyon nagy is lehet, akár a 100%-ot is elérheti.

Szükséges a KUAB mérések és a tárcsás mérés összehasonlítása talajon, ahol a KUAB mérési eredményeknél nem a 0; 200; 300; 450 méréseket, hanem a 600; 900; 1200 mérőpontokon kialakult behajlást kell figyelembe venni, ahol a KUAB terhelő erejét csökkenteni kell.

Nem elkerülhető a gördülőkeres és a KUAB párhuzamos méréssorozat végzése, különböző teherbírású útszakaszokon, ahol ismerjük az altalajt is. Ilyenek útszakaszok a régebben rendszeresen mért etalon szakaszok is.

10. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: Boromissza, T., Gáspár, L., Károly, R. 2008: Útpályaszerkezetek teherbírása hazai és külföldi eredmények és problémák. Közúti és mélyépítési szemle 58. évfolyam, 2008/5-6. szám, pp. 1-9.

[2]: COST 324 Long Term Performance of Road Pavements, pp. 110-118.

[3]: Primusz, P., Tóth, Cs. 2020: Az egyedi pályaszerkezet-méretezésben rejlő gyakorlati előnyök. Aszfalt XXVII. évfolyam 2020/1 szám, pp. 12-19.

[4]: AASHTO: Mechanistic-Empirical Design of New & Rehabilitated Pavement Structures

[5]: Gáspár, L., Horváth, F., Lublós, L. 2011: Közlekedési létesítmények élettartama. UNIVERSITAS, pp.13-88.

- [6]: Nemedi, E. 1985: Útpályaszerkezetek méretezésének és anyagállandó-vizsgálatainak mechanikai alapjai. BME.
- [7]: Zsichla, L. 1990: Development of the computation of effective pavement deflection Highways and data processing, Paris, 13-15 mars 1990.
- [8]: Zsichla, L. 1990: A mértékadó behajlás számítása mechanikai módszerrel. Közlekedésépítés- és mélyépítéstudományi szemle, 10. szám, pp. 370-375.
- [9]: e-ÚT 06.03.13 Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése
- [10]: Zsichla, L. 1990: Szakvélemény az M1-es autópálya 60,8-105,6 km közötti szakaszán építendő pályaszerkezetéről.
- [11]: LTPP Characterizing Existing Asphalt Concrete Layer Damage for Mechanistic Pavement Rehabilitation Design. FHWA-HRT-17-059, 2018 pp. 130
- [12]: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-management/pavement-evaluation/deflection-based-nondestructive-pavement-analyses/>
- [13]: Zsichla, L. 1997: Aszfaltok komplex fáradási élettartamának meghatározása egyszerűsített módszerrel. Fővárosi Főpolgármesteri hivatal.
- [14]: Tóth, Cs., Seoyoung, C., Primusz, P. 2020: A Ramberg-Osgood modell alkalmazása az aszfaltechnológiában. Útügyi lapok 8. évfolyam, 13. szám, <https://doi.org/10.36246/UL.2020.1.06>
- [15]: LTPP Computid Parameter: Dynamic Modulus. FHWA-HRT-10-035, 2011. pp. 84-96