



A dél-koreai pályaszerkezetméretezés rövid áttekintése; hajlékony pályaszerkezetek

Nádasi¹ Réka, Cho Seoyoung¹

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútépítési Tanszék

E-mail: nadasi.reka@epito.bme.hu, hotaru128@hanmail.net

KIVONAT

A cikk célja a dél-koreai pályaszerkezetméretezés rövid ismertetése, valamint a jelenlegi és a korábban használt AASHTO eredményein alapuló eljárás különbségeinek bemutatása. Az AASHTO módszer alkalmazása során különböző problémák merültek fel, mint például a felesleges többlet anyagfelhasználás és a pályaszerkezet élettartalmának rövideje. Így, Dél-Korea kifejlesztett egy új eljárást, amely a regionális hatásokat is figyelembe veszi a koreai mechanisztikus-empirikus pályaszerkezet méretezés során. A cikk célja, hogy bemutassa a tervezés azon részét, amely eltér az AASHTO eljárástól, valamint ismerteti a koreai mechanisztikus-empirikus pályaszerkezet méretezési programot.

Kulcsszavak: koreai pályaszerkezet méretezés, Mechanisztikus-empirikus tervezés

ABSTRACT

This is a short introduction to Korean Pavement Design Method. Comparison between AASHTO design method is presented. Korean Pavement Design Method was developed based on the AASHTO design method but during the application of AASHTO method, there the problem like the waste of material and shortage of lifecycle have arisen. Thus, the pavement engineers in Korea prepared Korean Pavement Design Method which considers and includes regional factor in terms of mechanistic-empirical design. The main feature is to show the design part which is far different from AASHTO method and show the Korean mechanistic-empirical Pavement Design Program which is developed while the new Korean method was prepared. With the closing, a short description of the trend in Korea is featured. Keywords: Mechanistic-empirical design (ME design), Korean pavement design, KPRP

Nádasi Réka

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

Cho Seoyoung

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútépítési Tanszék PhD hallgatója..

1. BEVEZETÉS

Dél-Korea jellegzetes évszaki változásai ellenére, 2010-ig pályaszerkezet méretezéshez a 2002-ben kiadott AASHTO útmutatót alkalmazták (AASHTO EXECUTIVE COMMITTEE, 2002). Ennek eredményeképpen – a szezonális és regionális hatások miatt – a pályaszerkezet hibái a vártnál hamarabb lettek fellelhetők. Így, a Koreai Szárazföldi, Közlekedési és Tengerészeti Ügyek Minisztériuma (MOLIT) kidolgozta a koreai mechanisztikus-empirikus pályaszerkezetméretezési (KMEPD, Korea

Mechanistic-Empirical Pavement Design) eljárást, amit 2011-től alkalmaznak. A módszer hatására a fenntartási költségek 65 000 000 Euróval csökkentek az elmúlt 5 év során, a pályaszerkezet élettartalma pedig a (MOLIT, 2015) tanulmány alapján 12,1 évre nőtt. A megnövekedett élettartalom pozitív hatással bírt a társadalmi költségekre, mivel a fenntartási- és üzemeltetési munkák során keletkező torlódások jelentősen csökkentek. Ennek nyomán Korea ki tudta terjeszteni a technológiát, építési eljárást és technikai hátteret a környező országokban is (SON, et al., 2013)

A cikk a továbbiakban a koreai méretezési eljárás hátterét és jellemzőit kívánja röviden bemutatni, kiemelve a KMEPD és az AASHTO tervezési eljárások közötti különbségeket.

2. RÖVID TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉS KOREA PÁLYASZERKEZET MÉRETEZÉSÉRŐL

A háború utáni gazdasági visszaesést követően Dél-Korea célul tűzte ki az infrastruktúra nagy mértékű fejlesztését. Az ország által vezetett infrastruktúra-bővítési projekt hatására Dél-Korea az egyik legszegényebb országból olyan országgá vált, amely támogatni tudja a fejlődő országokat.

A forgalom nagysága élesen megemelkedett a 70-es évek béli gazdasági fellendülés következtében. Így az infrastruktúra-bővítés fő eleme a gyorsforgalmi úthálózat kiterjesztése volt az áru fuvarozáshoz. A földrajzi adottságok miatt Korea nem érintkezik egyéb országokkal, így a belföldi szállítások igényeinek kielégítésére volt szükség a szállítási költségek csökkentése érdekében. Ez a földrajzi jellegzetesség sokat segített a koreai pályaszerkezet-tervezési technológiájának fejlesztésében, mivel Dél-Korea ebben az időszakban jelentős mennyiségű empirikus adat tudott összegyűjteni (KIM & KIM, 2007).

1926-ban megépült az első aszfalt makadám burkolat a mai fővárosban, az akkor gyarmati Szöulban. A jelenleg is alkalmazott aszfalt pályaszerkezet elsőként az 50-es években jelent meg, amerikai támogatás révén. A körülmények javultak napjainkra, miáltal a teljes úthálózat-hossz Koreában 107 527 km, melyből a burkolt utak aránya 92,1% (2016, MOLIT).

3. PÁLYASZERKEZET MÉRETEZÉS KOREÁBAN

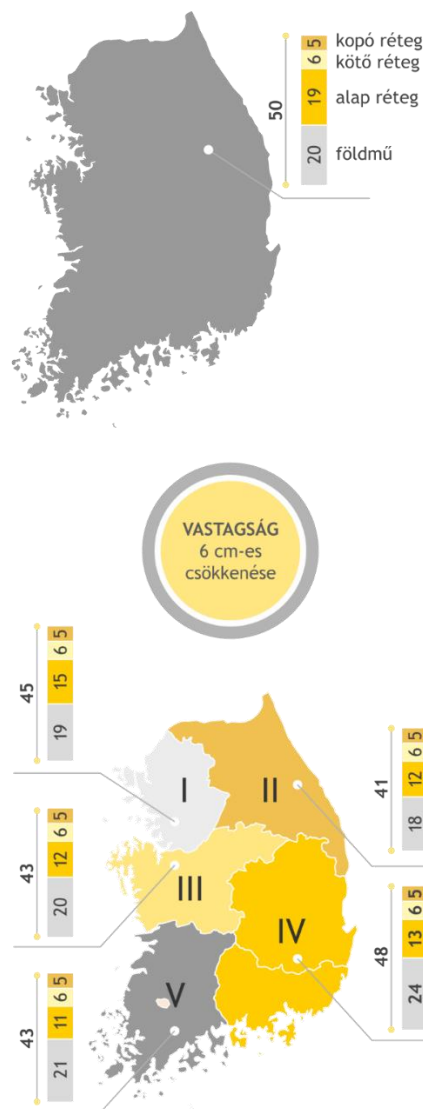
A burkolat típusának megválasztásához a forgalom nagyságát, az altalaj tulajdonságokat, az éghajlati, építhetőségi, közlekedés gazdaságossági, teljesítményi és fenntartási menedzsment tulajdonságokat kell figyelembe venni.

A jelenlegi módszer fő pályaszerkezet méretezési protokollja nem sokban különbözik az AASHTO módszertől. Azonban – az utóbbival ellentétben – a KMEPD számításba veszi az útszakasz területi elhelyezkedését is. A következőkben a KMEPD méretezés rövid bemutatása tekinthető meg kiemelve az AASHO módszerrel szembeni különbségeket.

3.1. A KOREAI MECHANISZTIKUS-EMPIRIKUS PÁLYASZERKEZET MÉRETEZÉSI ELJÁRÁS (KMEPD)

2011-ben az AASHTO módszer hiányosságainak leküzdésére bemutatták koreai mechanisztikus-empirikus pályaszerkezetméretezési módszert (KMEPD). Az AASHTO tervezési módszer nem volt megfelelő a koreai körülményekre, miáltal nagy mennyiségű anyag került feleslegesen beépítésre. A koreai autópálya vállalat (Korea Expressway Corporation) szerint a regionális tényezőnek köszönhetően minden építőipari ágazat esetében a burkolat vastagsága 6 cm-rel csökkent (1. ábra).

A KMEPD alapján a Korea Expressway Corporation nyilvánosságra hozott egy koreai pályaszerkezet kutatói programot (KPRP) is. A KPRP és a KMEPD fő jellemzője a hazai adatok alkalmazása az empirikus tervezéshez. Az AASHTO módszer az AASHO út-teszt során használt anyagokon és terhelési feltételeken alapul, így nem volt alkalmas a koreai állapotokra. A KPRP ezzel szemben figyelembe veszi a hazai gyártású anyagokat (pl. cement, bitumen, aggregátumok és talaj), valamint a forgalmi és az éghajlati jellemzőket is (1. táblázat). Emellett a módszer számszerűsítette a forgalom nagyságát, ami alapján kialakítható a saját pályaszerkezet-hiba modell (failure model).



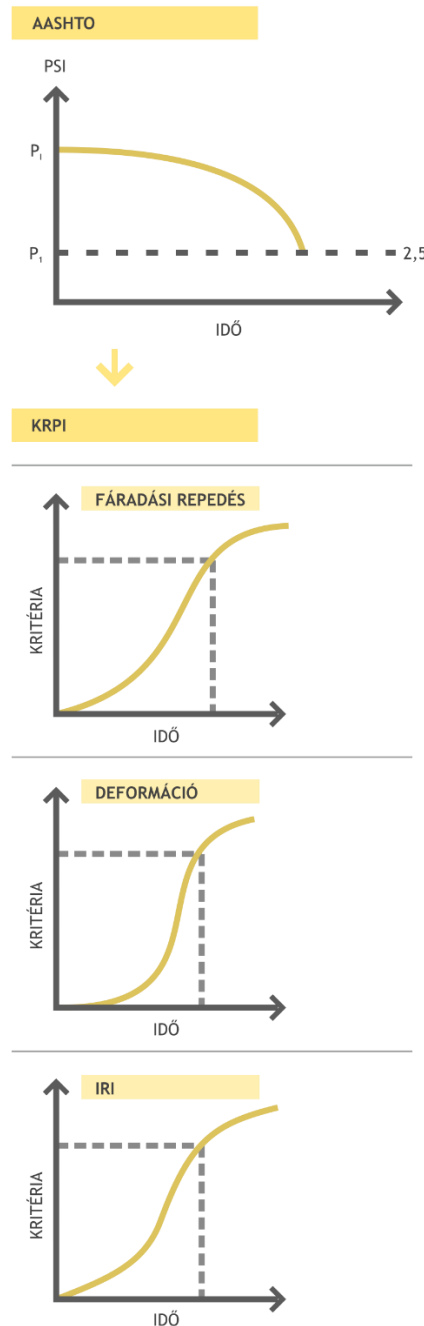
1. ábra: Pályaszerkezet szükséges rétegei és azok vastagsága AASHTO alapján (balra) és KMEPD alapján (jobbra) a regionális jellemzőktől függően. [Korea Ministry of Land, 2011]

A KPRP eljárás a forgalmat olyan járműtípusokba osztotta, ami tükrözi az út rangját, valamint az időbeli és a szezonális hatásokat. Az AASHTO az ESAL (egységtengely) módszert alkalmazza a forgalmi terhelésre. Ez a különböző tengelyterhelések burkolatra gyakorolt eltérő hatásainak elhanyagolását okozta, pedig akár ugyan az a tengelyterhelés rongáló hatása is eltérő lehet különböző éghajlati viszonyok mellett. Jelentős az a tény is, hogy Dél-Korea forgalma meghaladta az AASHO-nál fellépő forgalom nagyságát. Ezzel szemben a KPRP extrapolációs módszert használ a kalibráláshoz, de ez hibákat eredményezett mely akadályozta a pontos tervezést.

A PSI (Pavement Serviceability Index) helyett ez a program új hiba-modellt alkalmaz, amelyben az idő változóként jelenik meg. Ez a hiba-modell minden egyes pályaszerkezeten tapasztalható elváltozásra (fáradási repedés, deformáció, egyenetlenség) különböző időszekvenciát alkalmaz a hiba szintjének leírására.

A PSI a burkolat hibákat funkcionális meghibásodásként határozza meg a felhasználó szempontjából. Mivel ez magában foglal emberi tényezőt is, így a PSI nem annyira objektív, hisz ugyan az a meghibásodás más szintű hibaként is értékelhető lehet. (Például sok esetben előfordultak nyomvályúk

vagy repedések, amelyek láthatók PSI = 2.5 érték elérése előtt.) Mivel a KPRP-ben a hibákat az idő függvényeként írják le (2. ábra), így a program képes megkülönböztetni a rendellenességeket, mely lehet strukturális hiba vagy funkcionális meghibásodás is. A 2. ábra bemutatja a különbségeket a két módszer hiba kritériuma között.

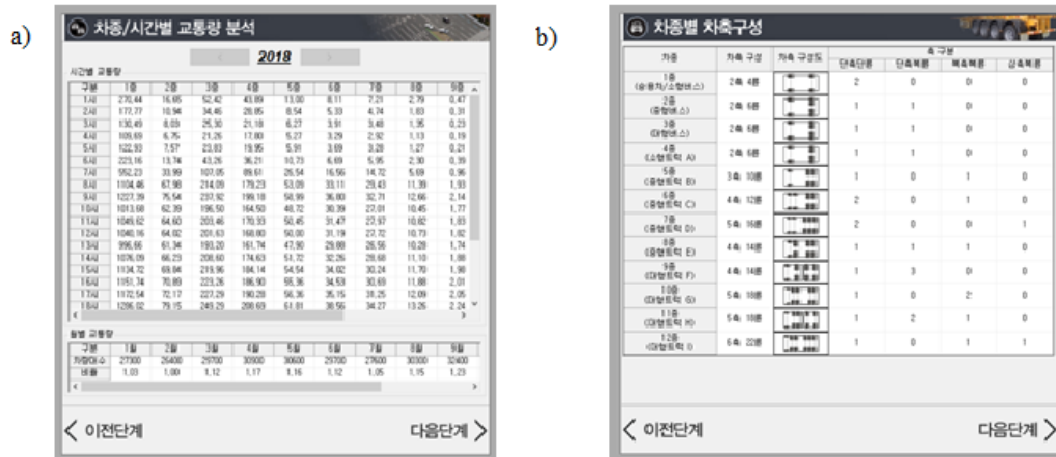


2. ábra: AASHTO és KMEPD hibakritérium összehasonlítása

A korábbi tervezési eljárás nem tesz különbséget az utak fontossága (kategóriája) között és nagyban támaszkodik a tervező tapasztalatára, mely szubjektív tervezéshez vezethetett. A módszer alapján mind a regionális, mind a gyorsforgalmú utak azonos pályaszerkezeti vastagsággal építendők, így a feleslegesen beépített anyagok mennyisége miatt extra-költség jelenik meg. Ezért a KMEPD módszer a méretezéshez megkülönbözteti az úthálózatokat azok rangja szerint, mint első-, másod-, és harmadrendű (3. táblázat).

3.2. ASZFALT PÁLYASZERKEZET MÉRETEZÉSI MÓDSZERE

Az aszfalt pályaszerkezet strukturális tervezési folyamata a 3. ábrán bemutatott inputokat használja a teljesítmény elemzéséhez és a pályaszerkezet teljesítmény-indexéhez (repedés, maradandó alakváltozások, IRI). A rendszer szintén ellenőrzi, hogy ez az élettartam alatt megfelel-e a szabványnak.



3. ábra: Forgalmelosztási elemzés a) idő szerint és b) járműtípus alapján, KPRP képernyőfelvétel

Az aszfalt pályaszerkezetek 4 csoportra oszthatók, a kötőanyag típusa, építési mód, funkció és elhelyezkedés alapján. Kötőanyag-szerint további kisebb csoportok különböztethetők meg, mint hagyományos aszfaltkeverék, polimerrel modifikált aszfalt, gumival vagy műgyantával modifikált „semi-blended” aszfalt, valamint öntött „guss” aszfalt. Szintén megkülönböztethetjük a hengerelt „rolled” és a „full depth” aszfaltokat, ahol az alsó alapréteg is aszfaltkeverékből épül.

A forgalmi terhelés 12 járműtípust különböztet meg a tengelyek (egyes, tandem, tridem tengely) alapján. A kategórián belül a forgalmak tovább osztályozandók havi és órai forgalomra a szerkezeti elemzéshez. Mivel a terhelési gyakoriság eltérő lehet a forgalom sebességétől függően, ez óvatosságot igényel a tervezés során.

Az aszfaltburkolat kialakításánál az éghajlati viszony az anyag-tulajdonságok megváltozásának becslésére szolgál. Ez a becslés magában foglalja a hőhatást, a rugalmassági modulust, az altalaj típusát és a talaj víztartalmát, valamint annak változását.

KMEPD és KPRP a rugalmas lemezelméletet alkalmazza, ami a rugalmasság hatását használja a különböző tengelytávolságok és típusok mérlegelésére. Emellett figyelembe veszi a burkolat szerkezetének nemlinearitását és a feszültségeket a rétegek együttdolgozásával. A rugalmassági modulus becslési modell kiszámításához a határértéknél fellépő feszültségeket és a deformációállapotot használják. A pályaszerkezet viselkedése a határértéknél;

Az rétegeknél

- Húzó/hajlító igénybevételek (fáradási repedések)
- Függőleges nyomófeszültségek (az aszfaltkeverék és az altalaj maradandó alakváltozása)

1. táblázat: KMEPD és a korábbi eljárás bemeneteinek összehasonlítása [Korea Ministry of Land, 2011]

Input	KMEPD		Előző méretezési eljárás	
	Aszfalt	Beton	Aszfalt	Beton
Anyagi tulajdonság	Dinamikus modulus (E*)	Hajlítás (R), Hasítás (S), Nyomószilárdság (S), Rugalmassági modulus (E), Hőtágulási együttható, Zsugorodási együttható	Réteg együttható (ai)	Rugalmassági modulus (Ec) Szakító szilárdság (Sc)

Altalaj anyagi tulajdonság	Reziliens modulus (MR)	Altalaj reakció dinamikusan modulusa	Altalaj szilárdsága (SSV)	Ágyazási tényező (k)
Környezeti állapot	Burkolat belső hőmérséklete, Altalaj víztartalom-változása	Betonlemez hőmérsékletének változása, Altalaj víztartalom-változása	Vízvezetési együttható (m)	Vízvezetési együttható (m)
Forgalom	Tengelysúly megoszlása járműtípus szerint	Tengelysúly megoszlása járműtípus szerint, Tengely hossza	Egységtengely (ESAL)	Egységtengely (ESAL)

Teljesítmény elemzés tartalmazza a felülről lefelé terjedő termikus repedések, az alulról felfelé terjedő fáradási repedések, a maradandó alakváltozások és az egyenetlenség becslését. Ez a becslési modell a laboratóriumi vizsgálat és a helyszíni vizsgálatok (termikus és fáradási repedések és maradandó alakváltozás) eredményeit használja fel.

A laboratóriumi és helyszíni adatok összehasonlítása nyomon követhető a függvény teljesítményelemzéséhez. Ha a repedések halmozott aránya (1. egyenlet) és a KPRP által kiszámított deformáció meghaladja az irányértéket, akkor az átmeneti funkció beállítása újra megtörténik. Az egyenetlenség paramétere a Nemzetközi Egyenetlenségi Indexet (IRI) követi.

$$\text{Repedés (\%)} = BU(\%) + \frac{0,3 \cdot TD(\%)}{3,6 \cdot 1000} \times 100 \tag{1}$$

ahol:

BU(%) - (bottom-up) fáradási repedések aránya

TD(%) - (top-down) termikus repedések aránya

3.3. FORGALOM

A tervezési folyamat során a forgalom DB terhelésként írható le. DB: doro-ban trailer, ami a Dél-Koreai méretezés alapjául szolgáló félpótkocsit jelenti. Az AASHTO útmutató alapján ez a HS félpótkocsi-terhelésére hivatkozik (HS, highway semitrailer, a nyergesvontató vontatmánya). Az általános árufuvarozás hatására komoly alakváltozások jelentek meg országsszerte az autópályahálózaton a nagy mértékű tehergépjárműforgalom miatt.

Dél-Koreát sajátos járműkarakterisztika jellemezi, például a félpótkocsi teljes hosszúság-szélesség méretei Koreában 16,7 m – 2,5 m, míg Amerikában 17,76 m – 2,59 m. Ezért, 1977-ben a DB-24 hozzáadásával módosították a forgalmi terhelés meghatározását. Ez a kategória az AASHTO-ban korábban nem szerepelt. Így jelenleg megkülönböztethető DB-13.5, DB-18 és DB-24 kategória. (Összehasonlításként, az AASHTO HS-20 kategória 32,4 t, a DB-24 pedig 43,2 tonna.)

A KMEPD forgalmi adatként az átlagos éves napi forgalom nagyságát (Annual Average Daily Truck Traffic, AADT) használja. Az élettartam alatt a tervezett úton áthaladó forgalom teljes számát havonta és óránként mérik és sorolják be, figyelembe véve a tengely típusát és annak elosztását. A tervezett forgalmi nagyságot a 2. és 3. táblázatba foglalt értékek segítségével a 2. egyenlet alapján határozzák meg,

$$AADT_{DD,DL} = DD \times DL \times AADT \tag{2}$$

ahol:

DD - irányszorzó

DL - sávszorzó

AADT - az átlagos éves napi forgalom

Nemzeti út Regionális út 40,35~0,45

2. táblázat: DD és DL értékei árkatóriánként [MOLIT, 2011]

DD	Típus	Sáv	DL
0,5~0,55	Gyorsforgalmi út	4	0,35~0,45
		3	0,45~0,55
		2	0,70~0,90
	Nemzeti út Regionális út	4	0,35~0,45
		3	0,45~0,55
		2	0,70~0,90

3. táblázat: Útkategóriák és azok forgalma [MOLIT, 2011]

Osztály	Út típus	Tervezési forgalom
1	Nemzeti gyorsforgalmi út	>150 000
	Nemzeti út	≥35 000
2	Nemzeti gyorsforgalmi út	<150 000
	Nemzeti út	≥7000 <35 000
	Regionális út Egyéb út	≥7000
3	Nemzeti út Regionális út Egyéb út	<7 000

3.4. ÉGHAJLATI VISZONYOK

A nyári időszak alatt az aszfalt felületi hőmérséklete 60 °C-ra is emelkedhet, a téli hónapokban azonban az akár -20 °C alá is süllyedhet. Így megjelentek olyan erőfeszítések, amelyek a bitumen minőségének javítására irányultak, az éghajlati változások hatásának csökkentésére. A pályaszerkezet kialakításánál figyelembe lettek véve tehát a klimatikus hatás tényezői, mint a burkolat hőmérséklete, az altalaj víztartalma és a fagyási index.

Az aszfaltburkolat anyagi tulajdonsága jelentősen függ a külső hőmérséklettől és a csapadékviszonyoktól. A csapadék mennyisége és a felszín alatti víz magas szintje a nyári időszakban a mechanikai hatások következtében a pályaszerkezet meghibásodásához vezet. A téli időszakban a fagyás segíti elő a burkolat repedésképződését. A tervezési szinttől függetlenül minden klimatikus bemenetet a KPRP-ből kell venni, és az adatbázisban megtalálható becslési egyenletekkel kell kiszámítani.

A KPRP az ország 76 meteorológiai állomásának 10 éves adatait gyűjtötte össze az adatbázis létrehozásához. Ez tartalmazza a havi maximum és legalacsonyabb hőmérsékletet, átlaghőmérsékletet és a csapadékmennyiségeket. Minden egyes állomás légköri hőmérséklete alapján, valamint a KPRP burkolat felületének és belső hőmérsékletének a becslési-modellje szerint, a hőmérséklet-eloszlás idő, nap, hónap és szezon szerint is meghatározható.

Az altalaj víztartalmának megváltozása szintén hatást gyakorol a teljesítményre a felület rugalmassági modulusának megváltoztatásával. A nyári esős évszakban a víztartalom az átlag felé emelkedik, ami gyengíti az altalaj modulusát. A téli időszakban, a kevés csapadékmennyiség, valamint mivel a légköri hőmérséklet tartósan 0 °C alatt van, az altalaj modulusa az átlagosnál magasabb lesz. Így, a víztartalom az altalaj modulusának befolyásoló tényezőként való alkalmazása érdekében a KPRP elkészítette az altalaj becslés-modellt (4. táblázat).

4. táblázat: Altalaj-víz-tartalom becslésmodellje [KPRP, 2011; MOLIT, 2011]

Rész	Altalaj-víz-tartalom becslési modell (w)
Felső régiók	$w = 21,84699 + 0,09598 \times \text{temp} + 0,00064287 \times \text{prec} + 0,9130 \times P_{200}$
Alsó régiók	$w = 23,54759 + 0,15216 \times \text{temp} + 0,00070721 \times \text{prec} + 0,17990 \times P_{200}$
* temp: hőmérséklet (°C), prec: éves csapadék (mm), P ₂₀₀ : havi átlagos csapadék (mm)	

A modell tehát a hőmérséklettől, az éves és a havi átlagos csapadékmennyiség értékeitől függ. Felső régiók az I., II., III., alsó régiók pedig a IV. és az V. régiókat jelölik az 1. ábra alapján.

3.5. ALTALAJ ÉS ADALÉKANYAG

Az AASHTO tervezés korlátozza a rétegtényezőket (layer coefficient), ami az anyag relatív szilárdságát reprezentálja. Ez egy összetett paraméter, amely egyszerre szolgálja a használhatóságot és a merevséget. Az AASHTO alapján mechanikus vizsgálatot kell végezni az érték mérésére. Az altalaj tervezése során a KPRP rugalmassági moduluszt használ alpbemenetként. Ezt az inputot a rugalmassági modulus meghatározási modell adja meg mind az altalaj mind az alapréteg esetén. Az altalaj modulusát a nyomó feszültség, a deviator feszültségek és a víztartalom határozza meg. Az alapréteg modulusát a szemcsés anyagok tulajdonságai befolyásolják. Az talaj rugalmassági modulus meghatározási modellje kibővül tehát a következőképpen (ANH, et al., 2011):

$$E_{opt} = k_1 + k_2 * \theta^{k_2} * \sigma_d^{k_3} * 10^{k_w(w-w_{opt})} \tag{3}$$

ahol:

E_{opt} - a rugalmassági modulus az optimális víztartalom mellett (MPa)

θ - a nyomó feszültség (= $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) (kPa)

σ_d - a deviator feszültség (= $\sigma_1 - \sigma_3$) (kPa)

k_1, k_2, k_3 - a modell együtthatói

w_{opt} - az optimális víztartalom (%)

w - a valós víztartalom (%)

k_w - a víztartalom hatását leíró ágyazási tényező, ami -0.1417 durva szemcsés, -0,0574 finom szemcsés altalaj esetén

A k_1, k_2, k_3 értékek a triaxiális tömörítési tesztből származnak.

Alapréteg esetén a rugalmassági modulus helyett a Poisson-tényező a bemeneti adat, bár ez nem befolyásolja komolyan a burkolat reakcióját. Ennek meghatározása viszonylag nehéz az anyagvizsgálatokból. A KMEPD útmutatók az érték kiválasztását egy adatkészletből teszik lehetővé, például a finom szemcsés talaj értéke 0,25 és az alaprétegé pedig 0,15.

3.6. ASZFALTKEVERÉK ANYAGTULAJDONSÁGA

Az aszfaltkeverék tulajdonságainak bemeneti adatai a dinamikus modulus és Poisson-tényező. Mivel a Poisson-tényező szerkezeti reakcióra gyakorolt hatása elhanyagolható, ezért az érték felvehető a KPRP adatkészletéből. Az útkategória első osztálya esetén mindenképp el kell végezni a dinamikus modulus vizsgálatot, de a második osztály kihagyhatja azt és elég a becslési egyenletet (4. egyenlet) felhasználni az aggregátum és aszfalt kötőanyag típus szerint (MOLIT, 2011) (LEE, 2007), (SON, et al., 2013). Ezzel jelentős költségeket tudnak megtakarítani.

$$\log|E^*| = 1,249937 + 0,029232(P_{200}) - 0,001767(P_{200})^2 - 0,00284(P_4) - 0,086097(V_a) - \frac{0,802208V_{eff}}{V_{eff}+V_a} + \frac{3,871977-0,0021P_4-0,003958P_4-0,000017P^2+0,00547P_{34}}{1+e^{(-0,603313-0,31335\log(f)-0,393532\log(\eta))}} \tag{4}$$

ahol:

- $|E^*|$ - a dinamikus modulus ($\times 10^5$ psi)
- η - kötőanyag viszkozitása ($\times 10^6$ poise)
- f - a terhelés frekvenciája (Hz)
- V_a - az aszfaltkeverék légtartalma
- V_{eff} - az aszfalt kötőanyag hatékony tartalma
- P_i - az i szitán fennmaradt mennyiség (%)

Az aszfalt kötőanyaga a teljesítménytulajdonságok, Performance Grade (PG) alapján választó ki, mely szerint az alap típusok PG58-22, PG64-22, PG76-22.

Felmerült az igény a dinamikus modulus egyenletének pontosítására (CHO, et al., 2010), (KIM, 2004). Az ehhez végzett vizsgálat 5 különböző hőfok (-10, 5, 20, 40, 55 °C) és 6 különböző teher frekvencia (0,1, 0,5, 1, 5, 10, 25 Hz) esetét tanulmányozta a helyi adottságok figyelembevételére. A becslés számításba veszi a pályaszerkezet méretezés változóit, mint a vizsgálati hőmérséklet, terhelési frekvencia, aszfalt kötőanyag viszkozitása, adalékanyag osztályának megoszlása és az aszfaltkeverék térfogati tulajdonságai. Az így kapott egyenlet:

$$\log|E^*| = 6,9402 + 0,0018(P_{0,075}) - 0,0039(P_{4,76})^2 - 0,0878(V_a) - \frac{1,3343V_{eff}}{V_{eff}+V_a} + \frac{3,6399 - 0,0311P_{4,76} - 0,01055P_{19}}{1 + e^{(-0,0994 - 0,1627\log(f) + 0,1807\log(\eta))}} \quad (5)$$

ahol:

- $|E^*|$ - a dinamikus modulus (MPa)
- η - az aszfalt viszkozitása (160 poise)
- f - a terhelés frekvenciája (Hz)
- V_a - hézagtartalom (%)
- V_{eff} - a térfogat szerinti tényleges aszfalttartalom (%)
- ρ_i - az i mm-es szitán fennmaradt térfogat (%)
- $\rho_{0,075}$ - az 0,075 mm-es szitán átesett térfogat (%)

Az egyenlet tehát hasonló elven kívánja leírni a dinamikus modulus egyenletét, figyelembe véve azonban Dél-Korea éghajlati és helyi tulajdonságait.

4. MEGELŐZŐ BURKOLATGAZDÁLKODÁS

Útgazdálkodási támogatások hiánya miatt, a vezető burkolatgazdálkodási vállalatok és ügynökségek, mint a Koreai Szárazföldi, Közlekedési és Tengerészeti Ügyek Minisztériuma, vagy a helyi önkormányzatok készítettek és alkalmaznak egy úgynevezett PSM útgazdálkodási rendszert (Pavement Management System). Ez főleg megelőző rehabilitációra terjed ki. A cél egy olyan útmutató kifejlesztése a deformációk és repedések elemzésére és értékelésére, valamint a rehabilitációs módszerek kiválasztására, ami a legköltséghatékonyabb megoldást kínálja a pályaszerkezet teljes élettartama alatt. A legtöbb útmutató a jelenlegi pályaszerkezet szerkezeti megerősítését javasolja a minőség javítása érdekében. Mivel a hőmérséklet- és éghajlatváltozás Dél-Koreában jelentős, ezért a rehabilitációs stratégia a konkrét és részletes repedések javítására fókuszál, nem pedig a javítóanyagok fejlesztésére (KIM, et al., 2017).

2009 és 2014 között, Szöul megvizsgálta és meghatározta 5 jellemző repedés esetén a repedéskezelési módszereket. A vizsgált helyszínt 100 m-es, a, b, c, d, e szakaszokra osztva vették fel, összesen 900 m-en. Az ebben a vizsgálatban használt anyagjellemzők az 5. táblázatban láthatók (LEE, 2017).

5. táblázat: Repedéskezelési módszerek jellemzői [LEE, 2017]

Módszer	a	b	c	d	e
Típus	Gumival modifikált aszfalt		Polimerrel modifikált bitumen		
	Sealing	Filling	Sealing	Filling	Filling
Jellemző	Kitűnő adhézió és tartósság	Nincs kipergés Csúszásellenállás adalékanyag szórás után	Alacsony hideg és meleg ellenállás Érzékeny, alacsony hőmérsékletű tapadás	Kitűnő adhézió és tartósság Magas hőmérsékletű építés	Alacsony hideg és meleg ellenállás Érzékeny, alacsony hőmérsékletű tapadás

A 4. ábra a repedésjavító anyag állapotának meghibásodását mutatja. A helyszíni vizsgálat eredménye alapján Szöul a következő egyenletet javasolja a repedésjavító anyag fennmaradó sebességére vonatkozóan (4. ábra):

$$\left(\frac{x_g}{L} xW_g + \frac{z_c}{L} xW_c + \frac{x_a}{L} xW_a + \frac{x_d}{L} xW_d\right) xAADT_{Normalizáltbusz} \tag{6}$$

ahol:

AADT_{Normalizáltbusz} - az átlagos éves napi busz forgalom (mint legrongálóbb járműkategória)

x_g - a jól kitöltött repedés javító anyag

x_c - az újból megrepedt javítóanyag

x_a - a javító anyag kopása

x_d - javítóanyag kipergése



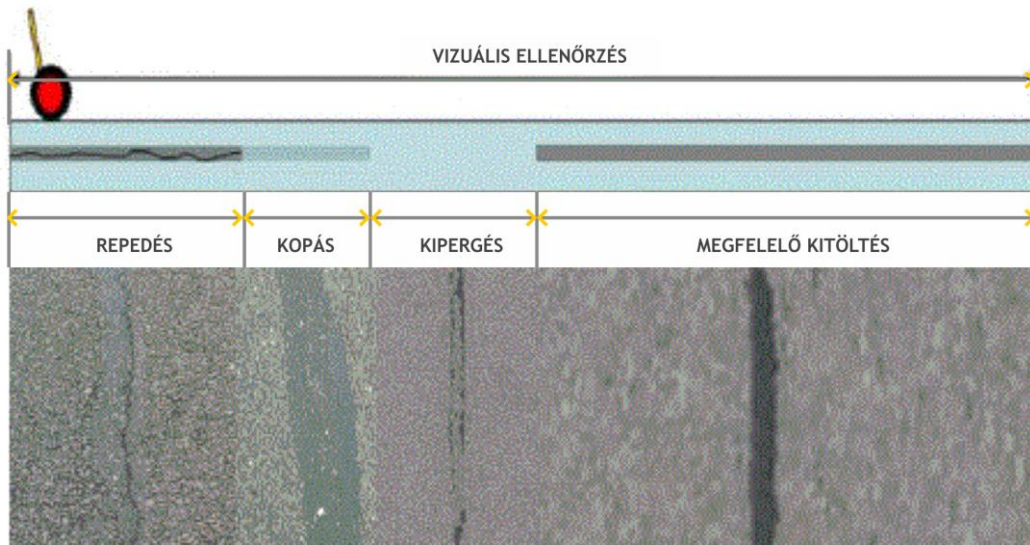
4. ábra: Repedésjavító állapot [SON 2013]

Az eredmény azt mutatja, hogy a repedésjavítási helyszíni teljesítményének értékelésének hatékonyabb módja a javítóanyag fennmaradó állapotának (kipergés repedés vagy kopás) vizsgálata, mint ellenőrizni az anyag tulajdonságait. Így a megelőző PMS-nek, hogy figyelembe vegye a hámlást és a leromlást (amit az aktuális módszerekkel nem lehet értékelni), szüksége van olyan intézkedésekre, melyek szemrevételezéssel tükrözik a minőségi értékelést.

Az egyik vezető PMS módszer a pályaszerkezetméretezésben a BIM (Expressway Building Information Modeling). Tervezéstől a rehabilitációig és felújításig az EX-BIM építés alatt álló felek közötti kommunikáció segítésére szolgál, mivel az építőipari ágazat különböző résztvevői közötti kommunikáció sok esetben kaotikus vagy lehetetlen. Ennek megelőzése miatt, valamint az azonnali javítással kapcsolatos lépések végrehajtása érdekében az EX-BIM alkalmazást már 2011-től használják Dél-Koreában.

Az EX-BIM 3D-s tervezésen alapul, így átfogóbb és könnyebben értelmezhető, mint a 2D-s rajzok a szakmabéliek és a nyilvánosság számára egyaránt. Segíti a horizontális munkamegosztást, így hatékony véleményváltozás érhető el. A BIM használatával történő ellenőrzés, a fenntartási munkák 3D-s

vizualizálása, a technológia a mobileszközökön keresztül történő megosztása és az immateriális képességek adatbányászata is lehetséges (5. ábra).



5. ábra: EX-BIM alkalmazása út-rehabilitációhoz

A megfelelő időben történő megelőző karbantartás révén lehetséges a forgalom okozta károk lelassítása, de a késleltetett karbantartás növeli a kár mértékét és a karbantartási költségeket. Az EX-BIM a kommunikáció aktiválására szolgál, hogy az azonnali javítás elvégezhető a megfelelő időben, így az életciklus költség várhatóan csökken, a pályaszerkezet élettartama pedig nő.

5. ÖSSZEZÉS

A cikk a koreai pályaszerkezetméretezést kívánja bemutatni, kitérve a korábban használt AASHTO és a jelenlegi módszer különbségeire. Az új módszer (KMEPD) figyelembe veszi a területi jellemzőket, valamint módosította a forgalmi terhelés meghatározását. Az empirikus tervezés elvének fontosságát mutatja, hogy az új módszer használatának eredményeként, a fenntartási költségek 650 000 000 euróval csökkentek az utóbbi 5 év során, a burkolat élettartama pedig feltehetően a 1,6-szorosára nőtt. A cikk szintén bemutatja az alsóbb útkategóriákon alkalmazható becslést a dinamikus modulus meghatározására, ami a laboratóriumi vizsgálatok kiváltásával jelentős időt és költségeket takaríthat meg, valamint a PSM pályaszerkezetgazdálkodási rendszerek előnyeit, a BIM-re fókuszálva.

6. IRODALOMJEGYZÉK

AASHTO EXECUTIVE COMMITTEE, 2002. Standard Specifications for Highway Bridges, Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

ANH, T. L., LEE, H. J., PARK, H. M. & KIM, T. W., 2011. Development of Korean pavement design guide for asphalt pavements based on the Mechanistic-Empirical design principle. The Baltic journal of road and bridge engineering, 6(3), pp. 169-176.

CHO, Y., PARK, D. & HWANG, S., 2010. A predictive equation for dynamic modulus of asphalt mixtures used in Korea. Construction and Building Materials, 24. kötet, pp. 513-519.

KIM, H. B. & KIM, N. H., 2007. Application of reliability-based safety factors to mechanistic-empirical flexible pavement design. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 7. kötet, pp. 2104-2116.

KIM, J. W., 2004. History of Korean pavement design. Journal of Korean society of road engineers, 6(4), pp. 57-65.

KIM, Y. M., JEON, K. D., LEE, K. H. & IM, J. H., 2017. Development and Evaluation of Cold-applied Crack Sealant for Pavement Maintenance. *International Journal of Highway Engineering*, 19(2), pp. 45-53.

Korea Ministry of Land, T. a. M. A., 2011. hely nélk.: Korea Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.

KOREA MINISTRY OF LAND, T. A. M. A., 2015. Standard Specification of pavement design. hely nélk.: ismeretlen szerző

LEE, K., 2007. Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures for Development of Korean Pavement Design Guide. *Journal of Testing and Evaluation*, 35(2), pp. 143-150.

LEE, S., 2017. Field Performance Evaluation of Preventive Maintenance Methods. *International Journal of Highway Engineering*, 19(2), pp. 103-112.

MOLIT, 2011. Design strategy of pavement structure, Republic of Korea: Korea Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.

MOLIT, 2015. Standard Specification of pavement design, Republic of Korea: Korea Ministry of Land Transportation and Maritime Affairs.

SON, H. J. és mtsai., 2013. A Study for Determining the Rehabilitation Method Group using NHPCI on Asphalt Concrete Pavement of National Highway. *International Journal of Highway Engineering*, 15(2), pp. 1-9.