



Az analitikus német útpályaszerkezet méretezési eljárás ismertetése

Tóth Csaba¹

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútépítési Tanszék

E-mail: toth.csaba@epito.bme.hu

KIVONAT

Az aszfaltburkolatú útpályaszerkezet méretezés és megerősítés területén a jelenleg érvényes hazai méretezési elvek mára meglehetősen elavultak, a méretezési módszerek fejlődését szabályozásunk a vonatkozó útügyi műszaki előírás 2005-ös kiadása után már nem követte nyomon.

A magasabb teljesítőképességű aszfaltkeverékeknek, a jobb teherbírású alaprétegeknek a pályaszerkezet teljesítményére gyakorolt hatásának figyelembe vehetősége a méretezés során azonban a nemzetközi gyakorlatban is aktuális probléma. A cikk a német kollégák által az alternatív méretezés gyakorlati megvalósíthatóságára adott műszaki megoldást tekinti át.

Tekintettel arra, hogy a korabeli német szabályozás nemcsak a magyar típus-pályaszerkezetek elvi alapjainak kilencvenes évek környéki kidolgozására volt domináns hatással, hanem szakmánk azt követően is ezer szállal kapcsolódik Németországhoz, a német eljárás elméleti alapjainak megismerése a magyar mérnökök számára is értékes lehet.

Dr. Tóth Csaba

A Magyar Mérnöki Kamara, a Közlekedéstudományi Egyesület, a Magyar Útügyi Társaság Útpályaszerkezetek Szakbizottság tagja, jelenleg az BME Út és Vasútépítési Tanszék docense. Korábban a Csongrád Megyei Állami Közútkezelő Kht., illetve az Állami Közúti Műszaki és Információs Kht. osztályvezetőjeként a magyar útügyi adminisztrációban dolgozott. Később a Strabag Konzern mérnökeként részt vett az épülő hazai országos közúthálózat minőségellenőrzésében, valamint a Konzern nemzetközi és hazai kutatásaiban. Közlekedési építőmérnöki szakértőként, tervezőként, illetve műszaki ellenőrként közreműködött számos hazai burkolat-megerősítési projektben. Kutatási területe: hajlékony útpályaszerkezetek igénybevétele, méretezése, teherbíró-képessége, megerősítése. Publikációinak száma: több mint 50.

1. BEVEZETÉS

Annak indoklása nem szükséges, hogy a hiányzó úthálózati elemek kiépítésének folytatása, továbbá a meglévő hálózat megerősítése, illetve felújítása miért kiemelt nemzetgazdasági érdek, azonban a rendelkezésre álló források korlátozott volta indokolná, hogy ezen fejlesztések és beavatkozások tervezése a lehetséges legkorszerűbb módszerekkel, optimális költséggel történjen, elősegítve ezzel a hatékonyabb, alacsonyabb költségű és/vagy magasabb szolgáltatási színvonalú megoldások kidolgozhatóságát.

Sajnálatos azonban, hogy az útpályaszerkezet méretezés és megerősítés területén a kilencvenes évek elején lezajlott korszerűsítést követően érdemi fejlődés – mostanáig – nem történt. A magyar méretezési elvek mára meglehetősen elavultak, a technológia fejlődését a szabályozásunk csak kismértékben – szinte csak az európai jogharmonizációs nyomás miatt – követte nyomon. A magasabb teljesítőképességű aszfaltkeverékek, a jobb teherbírású alaprétegeknek a pályaszerkezet egészének

teljesítményére gyakorolt hatása a méretezés során egzakt műszaki módszerekkel, a jelenlegi keretek között nem mutatható ki, így független műszaki-gazdasági elemzések nem végezhetőek el. A szakmánkban már széles körben elterjedt anyagok és technológiák a jelenleg érvényes szabályozás keretén belül még nem kezelhetők, így például:

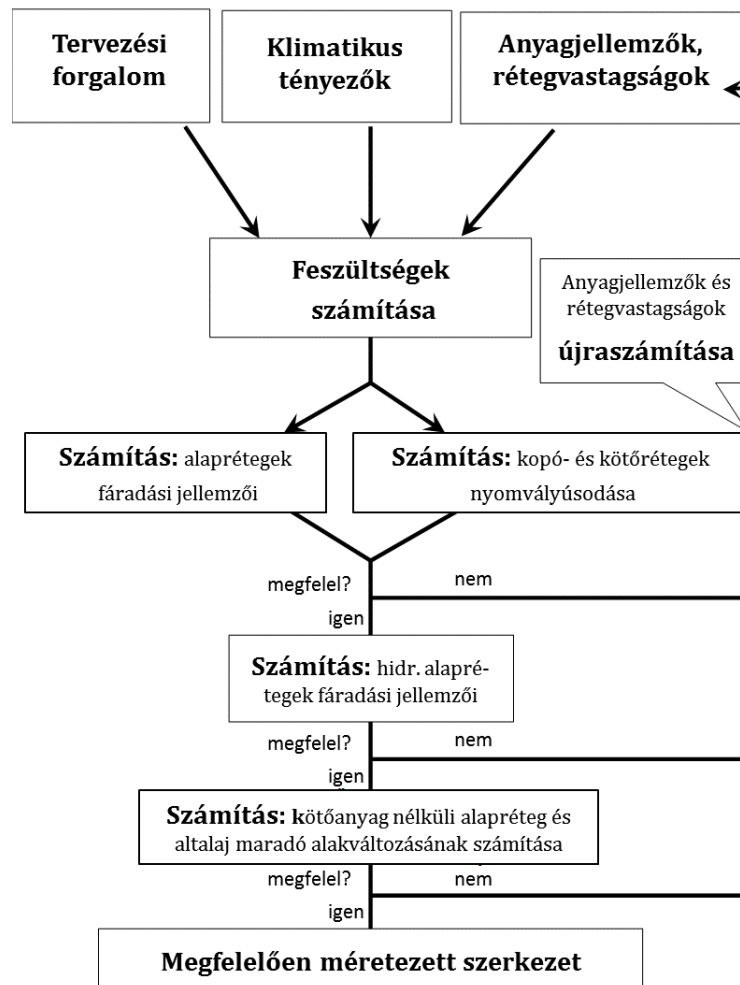
- a modifikált bitumenek, nagy modulusú aszfaltok, illetve az aszfaltgranulátum anyagi tulajdonságainak figyelembe vétele,
- az aszfaltrácsok, -hálók, illetve a remixált rétegek tekintetbe vétele a megerősítés során,
- helyi vagy alternatív anyagok felhasználhatósága,
- a széles határok között mozgó forgalmi terhelési osztályok helyett a valós forgalmi terhelés alkalmazása.

Visszatekintve az elmúlt negyedszázadra, akár az is állítható, hogy a tervezői mozgástér és kreativitás vonatkozásban a szakmában visszalépés történt az azt megelőző időszakhoz képest, hiszen amíg a 70-es, 80-as évben alkalmazott ún. egyenérték vastagságon alapuló méretezési elvek – lásd HUMU – bizonyos fokú mérnöki mozgásteret tettek lehetővé, addig napjaink típus-pályaszerkezetei alapvetően korlátozzák azt, sőt a fentiek alapján nem túlzás azt állítani, hogy gátjai az innovatív fejlődésnek. A kialakult tervező gyakorlat szinte csak egy-két pályaszerkezet variációt használ, a helyi környezeti vagy földrajzi adottságokra illetve a későbbi kivitelezői műszaki képességre és kapacitásra tekintet nélkül. Ennek gazdaságtalan volta további magyarázatot nem igényel.

A fenti gondolatmenetben megfogalmazott problémákkal azonban nem vagyunk egyedül, a fejlett műszaki világ más országában is keresik a megnyugtató válaszokat ezekre a kérdésekre. Tekintettel arra, hogy a korabeli német szabályozás nemcsak a magyar típus-pályaszerkezetek elvi alapjainak kilencvenes évek környéki kidolgozására volt domináns hatással, hanem szakmánk azt követően is ezer szállal kapcsolódik Németországhoz, érdekes és értékes lehet megismerni a német kollégák által az alternatív méretezés gyakorlati megvalósíthatóságára adott első választ.

2. Az „RDO – ASPHALT 09” ISMERTETÉSE

Noha a német útpályaszerkezet méretezési gyakorlat („Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO 12)”) – a magyarhoz hasonlóan (ÚME, 2005) – típuspályaszerkezet kiválasztáson alapul, azonban az aktuális német szabályozásban megjelent új előírás („Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO – Asphalt 09)”) jelentős forgalmi terhelés esetén, 100 millió egység tengely felett – egy meglehetősen komplex eljárás keretében – ún. analitikus méretezési eljárás lehetőségét teremti meg. Az aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek ezen egyedi méretezési folyamatát az 1. ábra mutatja be.



1. ábra: Az RDO – Asphalt 09 folyamat ábrája

A méretezés lépései az alábbiak szerint foglalhatóak össze:

- a forgalmi terhelésből és a klimatikus viszonyokból – hőmérsékleti gradiensek és azok előfordulási gyakorisága – származó bemenő paraméterek definiálása,
- a szerkezeti modell meghatározása a rétegrend, az anyagjellemzők és a rétegvastagságok kiindulási értékeinek meghatározásával, ahol a rétegvastagságok kiindulási értékeinek kiválasztása a német katalógusrendszer (RStO 12) szerint megfelelő forgalmi terhelésre ajánlott rétegvastagságok szerint javasolt,
- feszültségek, alakváltozások számítása a pályaszerkezet kritikus pontjaiban,
- az aszfaltrétegek, alaprétegek, földmű megfelelőségének igazolása.

Ha a számítások valamelyik eredménye nem megfelelő, a kérdéses réteg(ek) vastagságának és anyagi jellemzőinek változtatása szükséges, figyelembe véve a fagyvédelem biztosításához szükséges öszvastagságot is. Ezután a számításokat meg kell ismételni mindaddig, amíg minden ellenőrzés eredménye megfelelő nem lesz.

A pályaszerkezeti rétegek analitikus méretezéséhez aktuális forgalmi, környezeti és anyagi paraméterek meghatározása szükséges, továbbá a méretezés során az egyedileg meghatározott input paramétereket a számításhoz kell csatolni.

2.1. FOGALMI TERHELÉS

A forgalmi terhelést nem a nemzetközi gyakorlatban, illetve hazánkban is jól ismert és általánosan használt 10 tonnás egységtengely terhelés dimenziójában kell megadni, hanem azt a járműtengelyek

áthaladási számában kell meghatározni az adott súlyú tengelyek előfordulási gyakorisága alapján. A forgalmi terhelés figyelembe vétele ebben az esetben nem a 10 tonnás egységtengelyek összegeként, hanem 2 tonnás tengelyterhelési lépcsőnként meghatározott terhelési osztályok alapján történik. Az 1. táblázat a különböző funkciójú autópályák vonatkozásban mutatja ez egyes tengelyterhelési osztályok megoszlását.

1. táblázat: Tengelyterhelési osztályok és a hozzájuk rendelt gyakoriságok

	tengely terhelési osztályok (statikus) (tonna)										
	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	>20
	adott tengelyterhelési osztály gyakoriság (%)										
autópálya távolsági forgalom ¹	2,8	21,5	26,5	30,7	11,7	4,9	1,7	0,3	0,01	0,0007	0,0001
autópálya vegyes forgalom ¹	3,5	24,9	27,5	26,3	11,1	4,7	1,7	0,3	0,03	0,003	
autópálya város közeli forgalom ¹	4,0	36,8	29,4	17,1	7,5	3,9	1,14	0,14	0,003		

ahol:

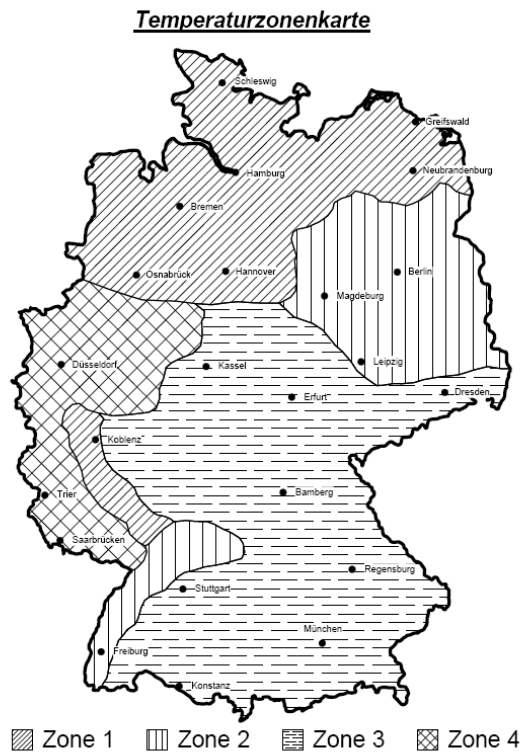
- 1) a „Richtlinien zur Anlage von Landstraßen RAL” illetve a „Richtlinien zur Anlage von Autobahnen RAA” szerint

A forgalmi terhelés meghatározásához, ha lehetséges, tengelysúlymérési adatokat, egyéb esetekben fogalomszámlálási adatokat kell felhasználni. Ha a forgalmi terhelés rövid szakaszonként változik – pl. nagy csomópontsűrűség esetén – technológiailag elfogadható hosszúságú szakaszokat kell képezni, amelyeken belül a méretezés az előforduló legnagyobb forgalomra történik.

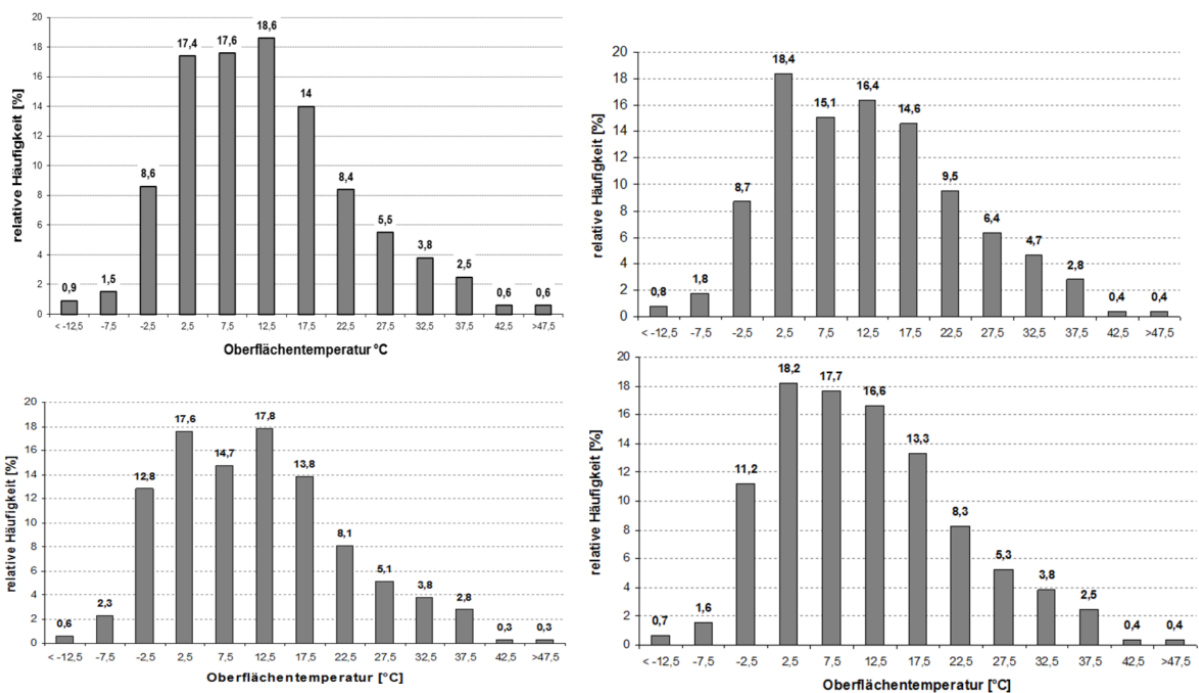
2.2. KLIMATIKUS TÉNYEZŐK

Az aszfalt útpályaszerkezetekben ébredő feszültségek és alakváltozások különösen nagy mértékben függenek a pályaszerkezet hőmérsékletétől, ennek köszönhetően a fáradás szempontjából történő méretezés a hőmérséklet-változás leírásának nehézségei miatt a nemzetközi gyakorlatban elsődlegesen az ún. ekvivalens hőmérsékleten történik (Pethő, 2008). A német eljárás e tekintetben is előremutató, a forgalmi terhelés újszerű figyelembe vétele mellett a másik jelentős eleme az aszfaltrétegek hőmérsékleti gradiensének beépítése az eljárásba. Németországban a burkolat felületi hőmérséklete jellemzően -15 és +50 °C között változik. Az eljárás során ez a hőmérsékleti intervallum 13 darab, egyenként 5°C-os osztályközzel kerül figyelembe vételre, majd rész-intervallumonként kerül meghatározásra a hőmérsékletek alapján a pályaszerkezet teherbírása.

Az eljárás ezen része Kayser munkáján alapul, aki doktori munkájában (Kayser, 2007) Németországot négy klimatikus zónára osztotta a 2. ábrán láthatóak szerint, majd zónánként megadta a burkolat felületi hőmérsékletének gyakorisági hisztogramjait (3. ábra).



2. ábra: Klimatikus zónák Németországban



3. ábra: Klimatikus zónához tartozó gyakorisági hisztogramok

Az így megkapható felületi hőmérsékletek alapján adott mélységben már a hőmérsékleti viszonyok is – korábbi német eredmények (Speth, 85; Hess, 98) alapján – prognosztizálhatók az alábbi képlet segítségével:

$$y = a * \ln(0,01 * x + 1,0) + T \tag{1}$$

ahol:

y - aszfalthőmérséklet „x” mélységben [°C]

x - mélység [mm]

T - felületi hőmérséklet [°C]

a - hőmérséklettől függő paraméter, az alábbi táblázat szerint [-]

Hőmérséklet	<-10	<-5	< 0	< 5	< 10	< 15	< 20	< 25	< 30	< 35	< 40	< 45	> 45
Paraméter	6,5	4,5	2,5	0,7	0,1	0,3	0,4	-1,6	-4,0	-6,2	-8,5	-10,5	-12,0

Az ekvivalens hőmérséklet alkalmazását az eljárás az egyes hőmérsékleti intervallumok előfordulási gyakoriságának figyelembe vételével kerüli ki és ennek köszönhetően az egyes hőmérsékleti rész-intervallumként a teherbírás számíthatóvá és kombinálhatóvá válik az egyes forgalmi terhelések előfordulási gyakoriságával.

2.3. ANYAGMODELLEK

Az útpályaszerkezet viselkedésének leírására az eljárás lineárisan rugalmas modellt használ, amelyben az egyik legfontosabb paraméter az aszfaltrétegek hőmérsékletfüggő merevségének megadása. Az aszfaltrétegek merevségértékeinek figyelembe vétele szintén egy német doktori értekezés eredményein (Kiehne, 2007) alapul.

A normál és a modifikált bitumenekkel gyártott aszfaltkeverékek anyagi paramétereit nem lehet egy általános összefüggéssel leírni, azok meghatározását laboratóriumi vizsgálatokra alapozva javasolt megtenni. A méretezés során figyelembe vett anyagjellemzőket a kivitelezés során a burkolatból fűrt mintákon ellenőrizni, és a megfelelőséget igazolni kell.

A szabályozás tájékoztató jelleggel – kopó, kötő, alaprétegekre – az alábbi merevségértékeket javasolja figyelembe venni a méretezés során:

2. táblázat: Tájékoztató kopóréteg merevségek

Hőmérséklet	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Merevség	26319	2664	22196	19172	16255	13443	10729	8111	5581	3425	2119	1332	850	550	360

3. táblázat: Tájékoztató kötőréteg merevségek

Hőmérséklet	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Merevség	30473	29449	27876	25502	22214	18913	15729	12655	9686	6817	4124	2402	1424	858	525

4. táblázat: Tájékoztató alapréteg merevségek

Hőmérséklet	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Merevség	26720	24464	21103	17853	15109	12811	10725	8637	6481	4377	2592	1425	1011	1003	327

A méretezés során az aszfaltrétegeket jellemzően 1-6 cm vastagságú rész-rétegekre kell felosztani olyan módon, hogy a bontás lehetővé tegye a rétegek modulusának a hőmérsékleti gradiensek figyelembe vételével való számítását.

Az aszfaltrétegek esetében a fáradással szembeni ellenálló képességet a legmagasabb hajlítófeszültség helyén, azaz az aszfalt alapréteg alsó síkján kell ellenőrizni, az alábbi összefüggés segítségével:

$$zulN = \frac{SF}{F} * a * \epsilon^k \tag{2}$$

ahol:

- zulN - megengedett tengelyáthaladás [-]
- a - anyagparaméter fáradásvizsgálatból [-]
- ϵ - számított megnyúlás [-]
- k - hőmérséklettől függő paraméter [-]
- SF - Shift-faktor [-]
- F - biztonsági tényező [-]

Az aszfalrétegek méretezése során biztosítani kell, hogy a rétegekben ne alakuljanak ki fáradási hálós repedések a tervezési élettartam alatt. Ennek biztosítása arra a feltételezésre épül, miszerint amíg egy adott hajlítófeszültséghez tartozó teher ismétlési száma egy bizonyos (kritikus) szint alatt marad, az aszfalrétegekben repedések nem keletkeznek, és amikor a teherismétlések száma meghaladja a kritikus értéket, azt követően alakulnak ki a repedések az aszfalrétegekben.

Fontos megjegyezni, hogy a különböző megnyúlásokhoz különböző kritikus teherismétlési számok tartoznak és az egyes megnyúlásokat a különböző súlyú tengelyek különböző hőmérsékleten való áthaladásai okozzák. A német szabályozásban ez jellemzően a 11 darab teherosztály és a 13 hőmérsékleti rész-intervallum szorzataként **143 darab** különböző terhelési állapot figyelembevételét jelenti.

A módszer azzal a széles körben elfogadott felevéssel él, hogy a különböző terhelések által létrehozott megnyúlások a megengedett teherismétlési szám alapján a Miner-féle hipotézis szerint összegezhetőek. A terhelési állapotok vizsgálata során az aszfalréteg alsó síkjában az adott forgalmi terhelés és a hőmérsékleti értékek alapján számított feszültségek okozta megnyúlások mellett, az 5°C alatti hőmérsékletek esetén a kriogén feszültségek hatása is tekintetbevételre került.

A különböző terhelési állapotokban várható (vorhN) teherismétlési szám meghatározása az egyes tengelysúly-osztályközök és a különböző hőmérsékleti intervallumok előfordulási gyakoriságának kombinációjából számítható. Az eredmény megfelelő, ha a tervezési élettartam alatt előforduló összes várható és megengedett teherismétlési számok (zulN) hányadosainak összege kisebb, mint 1, azaz:

$$\sum MINER = \sum_{i=1}^n \frac{vorhNi}{zulNi} \leq 1 \tag{3}$$

ahol:

- vorhN - a teherismétlések várható száma a tervezési élettartam alatt [-]
- zulN - a megengedett teherismétlések száma a tervezési élettartam alatt [-]
- n - figyelembe vett terhelési szintek [-]

3. MÉRETEZÉSI PÉLDA

A prognosztizált forgalmi terhelés pontos meghatározástól eltekintve, tételezzük fel, hogy egy 30 évre tervezett 6 sávós, több mint 3,75 m sávszélességű autópálya esetén a várható forgalommegoszlás az alábbi táblázat szerint alakul, azaz az 1. táblázatban szereplő gyakorisági értékeket felhasználva a 11 különböző terhelési osztályra (LK_i) külön-külön becsülhető a várható tengely áthaladási szám az 5. táblázatban láthatóak szerint.

5. táblázat: Prognosztizált tengely áthaladások

Tengelyterhelési osztály jele	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	LK6	LK7	LK8	LK9	LK10	LK11
-------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

Mértékadó terhelés (t)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Prognosztizált tengelyáthaladás [Mio]	7921608	59886587	73884423	8697929	32648318	13696828	4614150	582209	35150	1953	279
Mindösszesen : 278 969 154 tengelyáthaladás											

Felhasználva az 5. táblázatban szereplő forgalmi adatokat, ellenőrizzük le az alábbi autópálya pályaszerkezetét:

- 4 cm kopóréteg
- 8 cm kötőréteg
- 21 cm alapréteg
- 57 cm védőréteg ($E_{v2}=45\text{MPa}$)
- Földműtűkör ($E_{v2}=45\text{MPa}$)

A 2. ábra segítségével meghatározva a vonatkozó klimatikus zónát és használva az ehhez tartozó gyakorisági hisztogramot, meghatározható a burkolatfelület hőmérséklet eloszlása, majd modell építhető, amely során az aszfalt rétegeket további rész-rétegekre osztjuk fel és hőmérsékleti osztályonként adott mélységre vonatkoztatva – ha szükséges iterálva – meghatározzuk a rétegek prognosztizált merevségét.

6. táblázat: A merevségi értékek alakulása a pályaszerkezetben

Felületi hőmérséklet [°C]													
	-12,5	-7,5	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5
[mm]	Aszfaltrétegek merevsége [MPa] / alap és védő rétegek rétegmodulusa [MPa]												
10	23393	20540	17629	14817	12071	9401	6825	4415	2740	1725	1102	713	467
10	23089	20292	17497	14781	12066	9387	6807	4479	2837	1818	1182	776	512
10	22797	20067	17375	14748	12062	9373	6790	4539	2930	1908	1261	838	558
10	22517	19859	17264	14718	12058	9361	6774	4595	3019	1995	1338	900	604
10	27909	25964	23277	20377	17283	14110	11070	8581	6247	4036	2577	1646	1044
10	27740	25800	23164	20347	17279	14098	11054	8643	6396	4223	2738	1770	1132
10	27577	25643	23057	20318	17275	14086	11039	8700	6537	4407	2899	1896	1222
10	27418	25491	22958	20291	17271	14075	11025	8755	6669	4588	3059	2023	1314
10	27263	25345	22864	20265	17268	14065	11012	8806	6795	4767	3219	2152	1407
10	27112	25205	22774	20241	17265	14056	10999	8855	6914	4943	3379	2281	1501
10	26964	25068	22690	20218	17261	14046	10988	8901	7027	5114	3539	2412	1598
10	26820	24936	22610	20196	17258	14038	10976	8945	7135	5277	3699	2544	1695
20	19156	17117	15318	13653	11723	9585	7420	5977	4713	3484	2467	1646	1126
20	18809	16903	15213	13627	11719	9574	7405	6034	4850	3674	2681	1830	1223
20	18494	16708	15117	13603	11716	9565	7392	6087	4977	3853	2890	2020	1338
20	18206	16529	15028	13580	11713	9556	7380	6137	5096	4023	3092	2214	1470
20	17941	16364	14946	13559	11710	9547	7368	6183	5208	4185	3289	2409	1613
20	17697	16211	14870	13540	11708	9540	7357	6226	5313	4338	3478	2603	1765
20	17470	16069	14798	13522	11705	9532	7347	6266	5413	4484	3662	2796	1924
20	17258	15936	14730	13504	11703	9525	7338	6305	5507	4623	3839	2987	2088
20	17061	15811	14667	13488	11701	9519	7328	6341	5596	4757	4011	3175	2255
10	16921	15723	14622	13476	11699	9514	7322	6367	5661	4853	4135	3313	2382
10	16831	15666	14592	13468	11698	9511	7318	6384	5702	4915	4217	3404	2466

10	16744	15610	14564	13461	11697	9508	7314	6401	5743	4976	4297	3494	2551
570	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
-/-	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45

Ebből a 13 különböző hőmérsékleti állapotból fejlesztett pályaszerkezet rétegmodelljeiből igénybevételi állapotokat számítunk. Terhelésre ehhez a referencia tengelyterheléseket vesszünk mind a 11 tengelyterhelési osztályból. Így tehát a 13 réteg modellből és a 11 terhelési osztályból, tehát (13*11=143) különböző igénybevételi állapotot kell vizsgálnunk. Az igénybevétel kiszámításához a többrétegű rugalmas lemezelméletet alkalmazzuk, ennek alkalmazásához rendszerint számítógépes program szükséges, amely minden kombinációhoz tartozó hőmérsékletből és terhelésből a kiválasztott pontokra megadja a számított feszültséget és nyúlást.

A 7. táblázat mutatja a vízszintes nyúlásokat az aszfalt alapréteg alsó síkján – hajlítási húzófeszültség – minden hőmérsékleti állapotra a referencia tengelyterhelést jelentő „LK5” tengelyterhelési osztály esetén. Hasonló módon adódnak az eredmények az 1-4. és 6-11. tengelyterhelési osztályok esetén is, melyeket külön nem foglaltunk táblázatba.

7. táblázat: A terhelés hatására ébredő megnyúlások a pályaszerkezet alsó síkjában az LK5. terhelési osztályban

Hőmérséklet	-12,5	-7,5	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5
Megnyúlás 330 mm mélységben	2,7756 5E-05	2,9905 4E-05	3,2343 2E-05	3,5290 1E-05	4,0242 4E-05	4,8155 2E-05	6,0292 9E-05	7,0610 8E-05	8,2103 8E-05	9,8488 8E-05	1,1863 7E-04	1,481 4E-04	1,9581 3E-04

A +5 °C alatti hőmérséklet alatti esetekben minden 2. terhelésre a kriogén húzófeszültségek alapján számított kriogén szakító nyúlás értékét is figyelembe kell venni a forgalmi terhelésből meghatározott nyúlás mellett. A példában alkalmazott aszfalt alaprétegnek a felszínen lévő -12,5 °C-os értékéből kiindulva az alsó szálban becsült -3,1 °C-os hőmérséklet esetén a kriogén nyúlás mértéke:

$$\epsilon_k = 0,03855\% = 3,855 * 10^{-5} \quad (4)$$

A -12,5 °C-os felszíni hőmérséklet és az 5-ös tengelyterhelési osztály (10 t) esetén a teljes nyúlás:

$$\epsilon = 2,77565 * 10^{-5} + 3,855 * 10^{-5} = 6,63 * 10^{-5} = 0,0663\% \quad (5)$$

Minden így, az aszfalt alapréteg alján kiszámított nyúláshoz az alábbiak szerint meghatározható megengedett tengelyáthaladás tartozik:

$$zulN_i = 1500/2,1 * 2,8283 * 0,0663^{-4,194} = 176998546 \quad (6)$$

A várható teherismétlés szám az LK5-ös tengelyterhelési osztályban, a használati idő alatt a felszínen -12,5°C-os hőmérsékleti állapot előfordulási gyakorisága alapján számítható. A fentiek szerint a 30 éves élettartamra meghatározott terhelés mértéke 278 969 154 tengelyáthaladás, használva a forgalmi terhelésre illetve burkolat hőmérsékletre meghatározott megfelelő gyakorisági hisztogramokat, kapjuk:

- LK5-ös tengelyterhelési osztály gyakorisági előfordulása 11,7032% ,
- -12,5 °C -os hőmérsékleti osztály előfordulása 0,6%.

Ebből adódik, hogy a várható terhelés:

$$vorhN_i = 278969154 * 0,117032 * 0,006 = 195890 \text{ tengely} \quad (7)$$

Mivel csak minden második tengelyáthaladást kell figyelembe venni a kriogén nyúláskor, ezért a számításban itt csak:

$vorhN_i=0,50*195890$ tengelyáthaladást kell figyelembe venni.

Ezen hőmérsékleti kombináció figyelembe vétele Miner hipotézise alapján az alábbiak szerint történik:

$$vorhN_i = 0,50 * 195890 / 176998546 = 5,53 * 10^{-4} \quad (8)$$

Mivel azonban csak minden második teherváltozáshoz rendeltük hozzá a kriogén szakító nyúlást, ezért az 5-ös (10 t) tengelyterhelési osztály referencia tengelyterhelési kombinációnak és a felszínen -12,5°C-os hőmérsékleti állapothoz még emellett szükséges meghatározni a Miner hipotézis szerint többletfárasztó hatást a kriogén nyúlás nélkül. A nyúlás ekkor csak a közlekedési teherből adódik (lásd. 7. táblázat):

$$\epsilon = 2,77565 * 10^{-5} = 0,0277565\% \quad (9)$$

Így a referencia tengelyterhelésből és a hőmérsékleti viszonyokból az aszfalt alapréteg alsó szálához rendelt megengedett tengelyáthaladás:

$$zulN_i = 1500 / 2,1 * 2,8283 * 0,0277565^{-4,194} = 68222222460 \text{ tengely} \quad (10)$$

Ebből az LK5-ös (10 t) tengelyterhelési osztályból a referencia tengelyterhelési kombináció és a felszínen -12,5°C-os hőmérsékleti viszonyban a kriogén nyúlás figyelmen kívül hagyásával egy fáradási állapotról vonatkozó hányadost tudunk számítani Miner hipotézise szerint:

$$\frac{vorN_i}{zulN_i} = 0,50 * 195890 / 68222222460 = 1,44 * 10^{-5} \quad (11)$$

Itt is csak $195890*0,5$ teherváltozást kell a vorN számításához venni.

A -7,5°C-os felszíni hőmérsékletre a fenti eljárást követve a megengedhető tengelyáthaladás értéke az alábbiak szerint alakul:

$zulN_i=1500/2,1*2,8283*0,06^{-4,194}=269048821$ tengely áthaladás,

ahol is a teljes megnyúlás a forgalmi terhelésből származó (0,0299%)-os (7. táblázat alapján) illetve a kriogén feszültségekből levezetett (0,30%)-os értékek összegeként adódik.

A várható tengelyterhelés az LK5-ös tengelyterhelési osztály esetén, a használati időtartam alatti -7,5°C-os hőmérséklet előfordulási gyakoriságát figyelembe véve adódik:

$vorN_i=700851$ tengely áthaladás

Ebből az LK5-ös (10 t) tengelyterhelési osztályból a referencia tengelyterhelési kombináció és a felszínen -7,5°C-os hőmérsékleti viszonyban a kriogén nyúlást figyelembe véve megint csak minden 2. teherváltozásnál a Miner-féle részhányados:

$$vorhN_i / zulN_i = 0,50 * 700851 / 269048821 = 1,302 * 10^{-3} \quad (12)$$

A továbbiakban – hasonlóan a fentiekhez – a kriogén feszültségek nélküli, pusztán a forgalmi terhelésből származó igénybevétel kiszámolása szükséges.

Ezt követően minden hányadost minden kombinációra – az LK1 – LK11-es tengelyterhelési osztály referencia tengelyterhelésére és a burkolat felszínén előforduló 13 hőmérsékleti tartományra (-12,5°C-tól +47,5°C-ig) – ki kell számítani és összegezni. Ezt az összegzést elvégezve kapjuk:

$\sum \text{MINER} = 0,91 < 1,0$ vagyis a pályaszerkezet fáradási méretezésre megfelel.

Amennyiben a fáradási kritérium nem teljesül, akkor a számításokat megváltoztatott paraméterekkel el kell végezni. Ehhez egy vagy több aszfaltréteg vastagságát javasolt megváltoztatni, vagy egy más anyagminőséget kell választani.

4. AZ INFORMATIKAI HÁTÉRTÁMOGATÁS: PADES TO

A számítások kézi elvégzése rendkívül összetett és bonyolult, ezért az eljárás végrehajtása során az erre a célra kifejlesztett program alkalmazása ajánlott. A Pavement Design Tool (PaDesTo) szoftver a német RDO Asphalt 09 analitikus pályaszerkezet-méretezési és megerősítés-méretezési előírás alapján készült. A szoftver a szabványban előírt analitikus számítások elvégzésére készült, a szabványban lévő állandók, paraméterek és anyagjellemzők beépített funkciókként a tervező rendelkezésére állnak. Emellett a legtöbb input adat változtatható, megadható egyedileg is, illetve több csatlakozási pont található a programban a normál utakra vonatkozó RStO 01 és RStO 12 valamint az analitikus RDO Asphalt 09 szabvány között.

4.1. FORGALMI TERHELÉS

A méretezési forgalom számítása alapesetben a vonatkozó RDO előírás alapján történik, az előzőekben bemutatott módon. A program beépítve tartalmazza az 1-22 tonna közötti tengelysúly-eloszlást a szabványból, a tengelyenkénti abroncsszám, a kontakt felület és az abroncsnyomás értékeit. Ezeket a tervező egyszerűen hozzárendelheti az aktuális feladathoz. A tervezési forgalom meghatározható a hagyományosan a vonatkozó RStO előírások szerint is. Ekkor ezekhez hozzárendelhetőek az egyes tengelysúly-osztályközökhöz tartozó gyakoriságok az RDO Asphalt 09 előírás szerint. A tengelysúlyok eloszlása egyedileg is változtatható, s emellett a szoftver képes különleges járművek és egyedi kombinációk kezelésére is.

A forgalomnövekedést tekintve a beépített, szabvány szerinti funkciók mellett egyedi értékek is megadhatóak, és forgalomnövekedési scenáriók is vizsgálhatóak, továbbá terhelési osztályonként változtatható forgalomnövekedési szorzók is alkalmazhatóak.

4.2. KLIMATIKUS JELLEMZŐK

A szoftver kezeli a korábban bemutatott klimatikus zónákat, beépítve tartalmazza az azokra megállapított hőmérséklet-eloszlásokat, így azok a méretezés során egyszerűen hozzárendelhetőek a számításokhoz, továbbá kezeli a program a hőmérsékletek mélység-menti eloszlását is, illetve emellett a hőmérséklet eloszlásait egyedileg is meg lehet adni.

A fagyvédő réteg méretezése az RStO 12 alapján is történhet, mely ezután megadható manuálisan a méretezendő pályaszerkezethez.

4.3. PÁLYASZERKEZETEK

A számításokhoz kiindulási pályaszerkezetet kell megadni, mely választható RStO szerinti katalógusból, illetve megadható manuálisan is. A modell szerkezet megadható több aszfaltréteg, egy hidraulikus és egy vagy két kötőanyag nélküli réteggel, valamint a földművel, illetve fagyvédő réteggel.

A többrétegű rendszer modellje az egyes rétegek vastagságának, valamint az egyes rétegek esetén az alábbi jellemzők megadásával definiálható:

- aszfaltrétegek: az anyagállandók kiválaszthatóak adatbázisból, mely tartalmazza a Francken-Verstraeten összefüggést, valamint a fáradási összefüggések input adatait is, három előre definiált aszfaltkeverék-csoport esetében. Az új anyagok mellett megadhatóak a meglévő rétegek jellemzői is, laboratóriumi vizsgálatok alapján, továbbá emellett definiálhatóak speciális vagy modifikált kötőanyagok is, laboratóriumi vizsgálatok eredményeivel.

- hidraulikus rétegek: a rétegvastagság mellett a rétegek modulusa, illetve a ráépített rétegek típusa.
- kötőanyag nélküli alaprétegek: a földmű teherbírása E_{v2}

szükséges, a hozzá tartozó modulust ezután a réteg vastagságának figyelembe vételével számítja.

- földmű: a teherbírás E_{v2} modulusa megadandó, mely alapértelmezésben 45MN/m^2

4.4. SZÁMÍTÁS ÉS KIÉRTÉKELÉS

A program becsli a tervezési élettartam végén az aszfaltrétegek és hidraulikus rétegek fáradási állapotát, emellett prognosztizálja és grafikusán ábrázolja a hátralevő élettartamot. Az eredmények alapján:

- a különböző változatok rangsorolhatók a változatok nyomvályúsodási érzékenysége alapján,
- opcionálisan adható becslés a nyomképződésre, feltéve, hogy a szükséges adatokat a felhasználó az adatbázisba elmenti.

Eredményként az egyes megadott variációkra számított tönkremeneteli valószínűségeket ábrán is megjeleníti a program.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkra alapvető nemzetgazdasági érdekké vált, hogy mielőbb sor kerüljön olyan hazai útpályaszerkezet méretezési eljárás kimunkálására és mielőbbi bevezetésre, amely alkalmas az új illetve a meglévő pályaszerkezetek felújítás-technológiai javaslatainak kidolgozására, az alternatívák „műszaki-gazdasági összevetésére”, és képes kezelni az anyagi tulajdonságokban rejlő lehetőségeket. Ennek megvalósításához azonban sajnos még ideális körülmények között – tekintettel például meteorológiai adatgyűjtésre és feldolgozásra, helyi/alternatív anyagokkal kapcsolatos információgyűjtésre, az elméleti megfontolások laboratóriumi/helyszíni igazolásának szükségességére, stb.- hosszú évekre lenne szükség. Viszonyításként érdemes mérlegelni, hogy a német szabályozás kidolgozása mintegy 8 évig tartott.

Ha a rendelkezésre álló idő és források ugyan szűkösek is, az adatgyűjtést elkezdni és az alkalmazási stratégiát kidolgozni az alábbiak figyelembe vételével mielőbb szükséges lenne:

- a jelenleg érvényes szabályozások áttekintése a pályaszerkezet méretezéssel, a pályaszerkezetbe beépíthető anyagokkal kapcsolatban illetve az ellentmondások feltárása,
- korszerű, mechanikai alapú pályaszerkezet méretezési eljárás mielőbbi kidolgozása, amely a típus-pályaszerkezetekhez képest jelentősen megnöveli a tervező mozgásterét és képes a lehetséges technológiai változatokat kezelni, energiatakarékossági és környezetvédelmi szempontok figyelembevétele mellett,
- ajánlatkészítés során alternatív pályaszerkezetek beadási lehetőségének kidolgozása, különösen jogi szempontból,
- az érintettek (megrendelő, tervezők, kivitelezők, stb.) tájékoztatásának, oktatásának biztosítása.

Sok hazai szakember meggyőződése, hogy mára az útpályaszerkezetekkel kapcsolatos főbb szakmai kérdések olyan akkut problémákká értek, amelyek hazai megoldása mielőbb szükséges műszaki feladat és alapvető nemzetgazdasági érdek is egyben.

6. IRODALOMJEGYZÉK

„Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen” (RStO 12)

Dr. Pethő László, „Aszfaltburkolatú pályaszerkezet hőmérsékletének változása. Közúti és Mélyépítési Szemle 58. évfolyam, 12. szám.

Kayser, S. „Berücksichtigung klimatischer Bedingungen bei der rechnerischen Dimensionierung von Oberbauten für Verkehrsflächen”, Dissertation, TU Dresden, 2007.

Speth, „Versuchstrecke Hilpoltstein, Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen Heft 95”, Kirschbaum-Verlag, Bonn, Bad Godesberg, 1985.

Hess, „Kalibrierung von Verhaltensmodellen für das Straßenerhaltungsmanagement”, Diplomarbeit, Universität Hannover, 1998.

KIEHNE, „Rechnerische Dimensionierung von Verkehrsflächenbefestigungen in Asphaltbauweise – Entwicklung und Umsetzung eines Verfahrens“, Manuskript zur Dissertation TU Dresden (unveröffentlicht), Bearbeitungsstand, 2007.