

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar

Út és Vasútépítési Tanszék

TDK dolgozat

**Aszfaltkeverékek optimális bitumentartalmának
meghatározása a pályaszerkezetben betöltött funkciója
alapján**

Készítette: Kovács Nóra

Konzulensek: Dr. Tóth Csaba

Soós Zoltán

2016.október

Tartalom

1	Bevezetés	1
1.1	Az útpálya szerkezeti aszfaltrétegeket érő terhelések	1
1.2	Teljesítmény-alapú vizsgálatok jelentősége a keveréktervezésben.....	6
1.2.1	Hidegviselkedés	8
1.2.2	Merevség és fáradási ellenállás	8
1.2.3	Maradó alakváltozás.....	10
1.3	Kiindulás.....	11
2	A kutatás célja és a feladat ismertetése	13
3	Irodalmi áttekintés	13
4	Laboratóriumi vizsgálatok	15
4.1	Keverék, próbatest készítés	15
4.2	Próbatestek kódolásai	19
4.3	A keverék tömörödése, tömörödési görbék a bitumentartalom függvényében.....	21
5	A plasztikus deformáció vizsgálatok	22
5.1	Dinamikus keréknyomképződés vizsgálat.....	22
5.2	Triaxiális vizsgálatok.....	23
5.2.1	Nyílt rendszerű triaxiális vizsgálat.....	24
5.2.2	Zárt rendszerű triaxiális vizsgálat	26
5.2.3	Hveem-féle módszer	26
5.2.4	Smith-féle triaxiális eljárás.....	28
5.2.5	Ismételt terhelésű, triaxiális összenyomódási vizsgálat	30
6	Laboratóriumi vizsgálatok eredményei.....	32
6.1	Kiskerekes nyomvályú vizsgálatok eredményei.....	32
6.2	Triaxiális vizsgálatok eredményei	34
6.3	A kiskerekes nyomvályú és triaxiális vizsgálati eredmények összehasonlítása.....	38
7	Optimális bitumentartalom meghatározása.....	41
8	Összefoglalás	43

Ábrajegyzék

1. ábra: A kerékterher eloszlása [Tóth-Primusz-Szentpéteri, 2015].....	1
2. ábra: A rugalmas féltér feszültségeloszlása és süllyedése körtárcsa alakú teher alatt [Primusz, 2012].....	2
3. ábra: A kerékterher terjedése a pályaszerkezetben [Kisgyörgy, 2014]	3
4. ábra: Hajlékony és merev pályaszerkezetek behajlási vonala [Kisgyörgy, 2014]	3
5. ábra: A Boltzmann-féle szuperpozíciós elv szemléltetése [Tóth, 2010].....	4
6. ábra: A Huet és a Huet-Sayegh modell [Tóth, 2010].....	5
7. ábra: A húzószilárdsági tartalék meghatározása [Blab, 2015]	8
8. ábra: egy AC32 alapréteg fáradási egyenesei a kötőanyag tartalom függvényében [Blab, 2015]...9	
9. ábra: Forgalmi dugó az autópályákon [veol.hu].....	11
10. ábra: Az elkészült köváz	15
11. ábra: Szabványos szitasor a BME Pályaszerkezeti Laboratóriumában.....	16
12. ábra: Zsirátorral tömörített próbatest helyzete és terhelése.....	18
13. ábra: Elkészült zsirátoros próbatestek	20
14. ábra: Elkészült és begipszelt lap próbatest	21
15. ábra: A zsirátoros próbatestek magasságainak alakulása	21
16. ábra: Dinamikus keréknyomvizsgáló berendezés	23
17. ábra: Mohr-Coulomb törési feltétel [Nemesdy et al, 2000]	25
18. ábra: Aszfal próbateges triaxiális vizsgálata (Drezda): feszültség – nyíróerő ábra	26
19. ábra: Hveem stabilométer.....	27
20. ábra: Hveem-féle kohézióméter	28
21. ábra: Smith-féle stabilométer [Ávár – Szentpéteri, 2010].....	29
22. ábra: Smith-féle értékelő grafikon [Ávár – Szentpéteri, 2010].....	30
23. ábra: Triaxiális vizsgálóberendezés	31
24. ábra: Triaxiális vizsgálat feszültségadatai a) szinuszos tengelyirányú terhelés b) blokk-impulzusok, mint tengelyirányú terhelés [Blab, 2015]	32
25. ábra: A fajlagos nyommélységek alakulása	33
26. ábra: Hajlásszögek a kötőanyag tartalom függvényében	34
27. ábra: Tönkrement próbatest triaxiális vizsgálat után (4%).....	35
28. ábra: Vákuum triaxiális vizsgálat során kapott kúszásgörbe	35
29. ábra: Lineáris regresszió.....	37
30. ábra: Kúszási sebességek a bitumentartalom függvényében.....	38
31. ábra: Fajlagos összenyomódás értékek kiskerekes és triaxiális vizsgálat esetén (3,4%)	39
32. ábra: Fajlagos összenyomódás értékek kiskeres és triaxiális vizsgálat esetén (3,6%).....	39
33. ábra: Fajlagos összenyomódás értékek kiskeres és triaxiális vizsgálat esetén (3,8%).....	40
34. ábra: Fajlagos összenyomódás értékek kiskeres és triaxiális vizsgálat esetén (4,2%).....	40
35. ábra: Keréknyom hajlásszöge és a kúszási sebesség összefüggése.....	41
36. ábra: Kúszási sebességek a bitumentartalom függvényében.....	41
37. ábra: Ronald Blab kúszási sebesség eredményei	42

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Az egyes paraméterek fontossága a kopó-, kötő-, illetve alaprétegekben [Blab, 2015]....	7
2. táblázat: Összefüggés a nyomosodás aránya és az aszfalttulajdonságok között [Sieler, 2010].....	10
3. táblázat: Bitumentartalmakhoz tartozó jelölések	16
4. táblázat: A keverék adagolásának adatai.....	17
5. táblázat: Innoteszt Kft. által készített típusvizsgálat adatai.....	19
6. táblázat: Zsirátoros próbatestek jelölései	19
7. táblázat: Keréknyomképződés próbatestek jelölései.....	20
8. táblázat: Aszfaltpróbatestek minőségére vonatkozó követelmények Hveem-féle triaxiális vizsgálatokhoz [Ávár – Szentpéteri, 2010]	28
9. táblázat: Fajlagos nyommélységek 10000 ciklus után	33
10. táblázat: Kúszási sebesség adatok	38
11. táblázat: Az Innoteszt Kft. típusvizsgálata szerinti bitumentartalom.....	42
12. táblázat: Az egyes paraméterek fontossága a kopó-, kötő-, illetve alaprétegekben [Blab, 2015]	44

Összefoglalás

Az elmúlt évtizedekben rohamosan nőtt az útpályaszerkezetek forgalom, illetve legfőképpen a tehergépjármű forgalom okozta igénybevételei. A szakma ezáltal folyamatosan arra törekszik, hogy a beépített aszfaltok viselkedését, a benne ébredő feszültségeket és terheket a lehető legpontosabban szimulálhassa, majd ezen adatok felhasználásával pontosítsa a méretezési eljárást, ezzel elkerülve és csökkentve a pályaszerkezet plasztikus deformációját. TDK dolgozatom célkitűzése, a jelenlegi aszfaltkeverék tervezési eljárásának mechanikai alapokra való helyezése és vizsgálata volt. A legelterjedtebb módszerekkel összehasonlítva a mechanikai elvű tervezés során lehetőség nyílik az adott pályaszerkezeti rétegek anyagait úgy megtervezni, elsősorban a kötőanyagtartalmat úgy meghatározni, hogy azon terheléssel szembeni ellenálló képességet vizsgáljuk, amelyet az adott réteg valóban kap. Ehhez egy AC 22 kötő típusú aszfaltbeton keveréket választottam, melyet 5 különböző bitumentartalom mellett tanulmányoztam fundamentális vizsgálati módszerekkel. Ezek alapján egy optimális bitumentartalmat határoztam meg, s a végén összehasonlítottam az eltérő kötőanyag tartalmú próbatestek empirikus vizsgálati eredményeivel. Ezzel kívánom igazolni, hogy a kötőanyag tartalom mechanikai és empirikus alapon meghatározott értéke között különbség van, és vélhetően az alap-, kötő-, és kopórétegek keveréktervezése hatékonyabb, ha a pályaszerkezetben betöltött funkciója alapján történik, ezzel növelve az aszfaltbeton szerkezet teljesítményét, élettartamát.

A tanulmány első részében bemutatásra kerülnek a fundamentális vizsgálatok előnyei, hogyan alakulnak az erők a pályaszerkezetben, mik vezethetnek a plasztikus deformációkhoz, valamint hol, milyen ellenálló képesség kell a pályaszerkezetben.

A dolgozat második részében ismertetem, hogy kutató munkám során milyen próbatestek készültek, és részletezem az általam elvégzett plasztikus deformációs vizsgálatokat.

Az utolsó részekben a laboratóriumi vizsgálati eredményeket, és az optimális bitumentartalom meghatározását mutatom be.

Véleményem szerint igen fontos a beépített aszfalt pályaszerkezetek deformációs hajlamainak csökkentése, hiszen ezzel javíthatunk az utazás minőségén, elkerülhetőek a közúti balesetek, valamint sem gazdaságossági, sem esztétikai szempontból nem elhanyagolható.

Abstract

Recent years the traffic of pavements rapidly increased, especially the traffic by heavy vehicles. The profession is continually pursue to simulate more accurate the behavior of the asphalt and the stresses awakening in it, using these datas to specify the designing methods to avoid and reduce plastic deformation of pavements. The goal of my TDK essay was to give mechanical base and to test the existing pavement design. Compared to the most widely used methods the mechanically-based design gives possibility to design the materials of structural layers, in particular to determine the binder content according to resistance against the load that the layer actually get. I choosed an AC 22 binder layer mixture that I tested with 5 different binder content with fundamental methods. According to the method I determined the optimal binder content than compered the specimens with different binder content's empirical and fundamental test results. In this way I would like to confirm that there is a difference between the mechanical-based and empirical-based results and that would be more effective the design of the base, binder and wearing courses according to its actual functions in the pavement, icreasing the life and the performance of the asphalt concrete with it.

The first part of the essay is about to summarise the advantages of the fundamental experiences, how the forces acting in the pavement, what are the facts that lead to the plastic deformation and in different layers what resistance ability is essential.

In the second part I am presenting the specimens and the fulfilled plastic deformation tests.

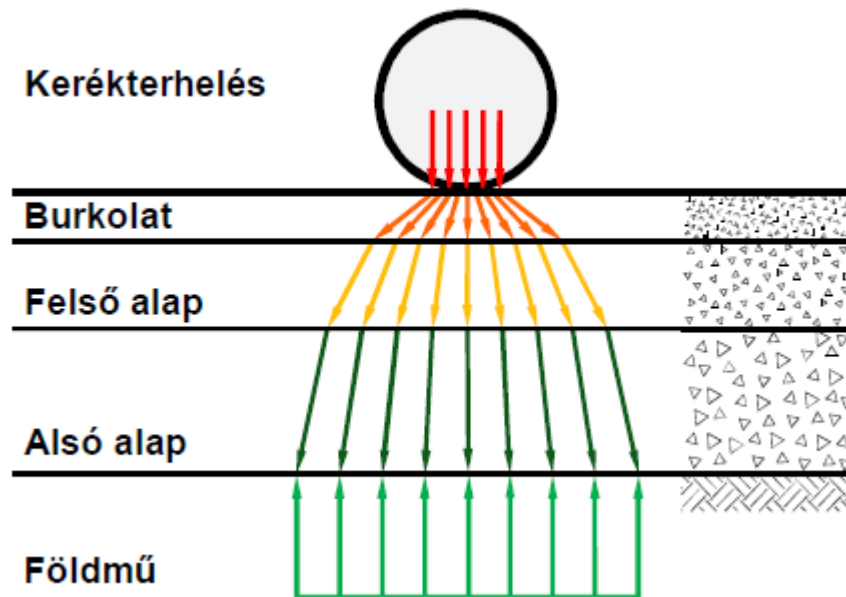
In the last part I am showing the results and determining the optimal binder content.

In my opinion it is vital to decrease the plastic deformation of pavements to improve the quality of trasportation and to avoid the traffic accidents. More over not a negligible aspect economically and aesthetically.

1 Bevezetés

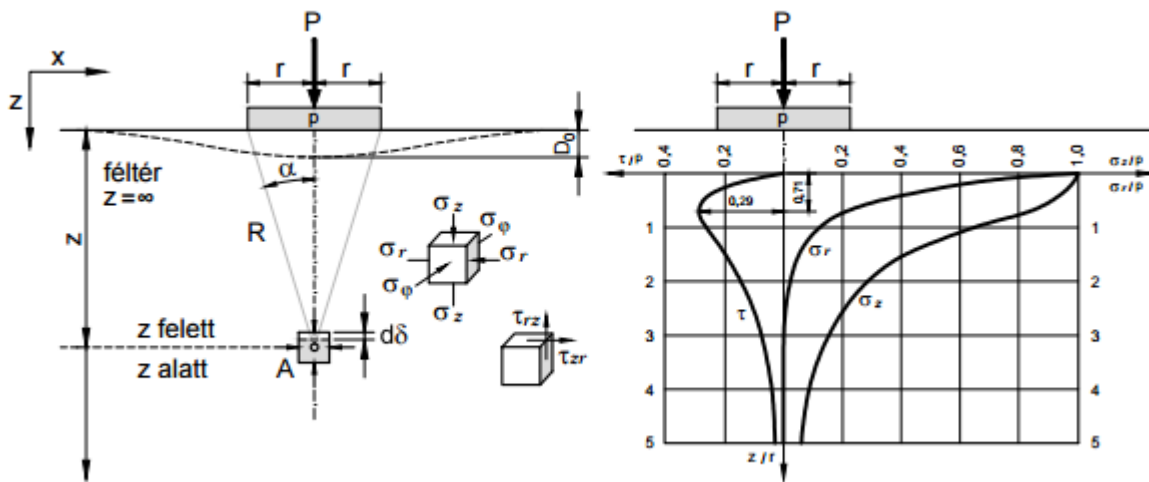
1.1 Az útpálya szerkezeti aszfaltrétegeket érő terhelések

Az 1. ábra a nyomófeszültségek terjedését mutatja egy pályaszerkezetben kerékterhelés hatására.



1. ábra: A kerékterhelés eloszlása [Tóth-Primusz-Szentpéteri, 2015]

A beépítendő pályaszerkezetnek egyidejűleg kell ellenállnia a forgalmi és klimatikus terheknek. A forgalomból származó hatások lehetnek függőleges statikus, illetve dinamikus terhek, mint az ütések és rezgések, valamint jelenthetnek vízszintes erőhatásokat is, mint a fékezés és gyorsítás. A klimatikus hatások a hőmérséklet, a sugárzások vagy víztartalom változásából származtathatóak. A pályaszerkezet legfontosabb feladata a forgalomból származó terhek olyan mértékűre csökkentése, amit a földmű tartósan elvisel, illetve a terhek átadása a földműre.



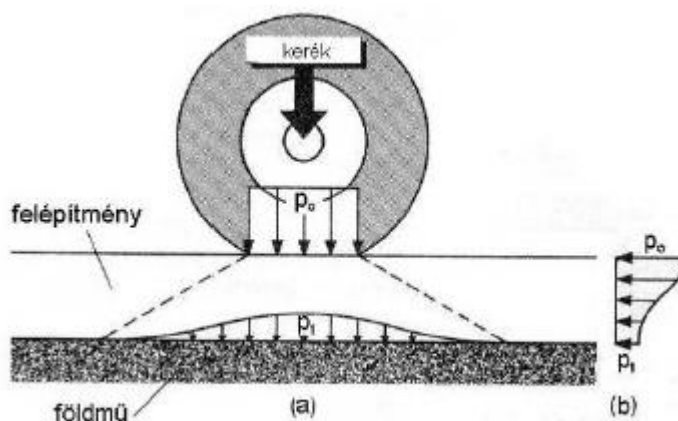
2. ábra: A rugalmas féltér feszültségeloszlása és süllyedése körtárcsa alakú teher alatt [Primusz, 2012]

A beépített pályaszerkezetre három feszültség hat:

1. vízszintes nyírófeszültség
2. vízszintes húzó-/nyomófeszültség.
3. függőleges nyomófeszültség

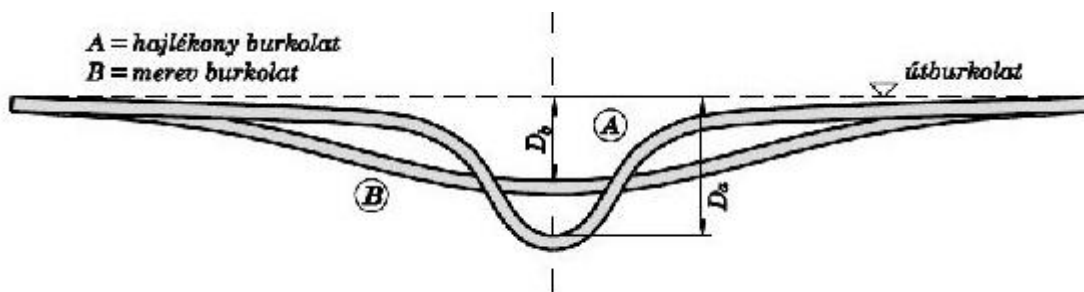
Az úton haladó járművek mivel nem csak egyenletes sebességgel haladnak, hanem a forgalmi helyzetből adódóan fékezésre és gyorsításra kényszerülnek. Ennek következménye a pályaszerkezetben kialakuló vízszintes nyírófeszültségek. Mivel a halmozott nyírási igénybevétel 4-8 cm mélységben a legnagyobb, ezért különös jelentősége van a kopó- és kötőréteg tapadásának. [Tóth-Primusz-Szentszéki, 2015] A gyakorlatban leggyakrabban nem pontszerű terheléssel találkozunk, hanem valamilyen zárt alakú (kör, négyzet, téglalap, sokszög stb.) alaptest adja át a terhelést az általajnak. Az első ábrán látható, hogy a σ_z – az A pontban fellépő feszültség – és a σ_r – a vízszintes irányú radiális feszültség – értéke a teher alatt a legnagyobb, s attól lefelé rohamosan csökken, míg a τ nyírófeszültség értéke $\mu = 0,5$ esetén $z = 0,71 \times r$ mélységben mutat maximumot. [Primusz, 2012]

A kerékterhekből keletkező nyomófeszültség nagyjából 45° -os szögben terjed lefelé. [Kisgyörgy, 2014] Ahogy a nyomófeszültség az alsóbb rétegeket eléri, fokozatosabb csökken hatása, hiszen növekszik a terhelést felvevő felület nagysága.



3. ábra: A kerékterhelés terjedése a pályaszerkezetben [Kisgyörgy, 2014]

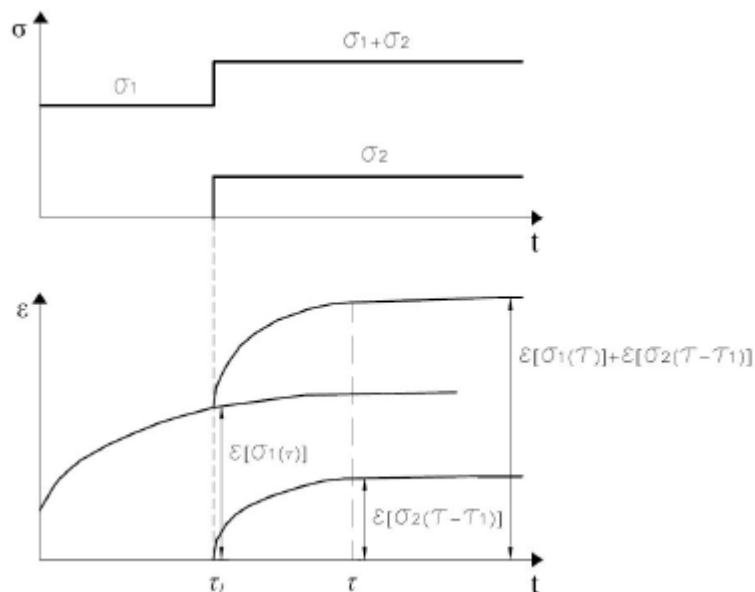
A kopóréteg feladata a klimatikus hatások elviselése, a súrlódás és egyéb felületi jellemzők biztosítása. A járművek kerekei alatt a szerkezet behajlik, behajlási vonal a kerekkel együtt mozog, így egy kerék elhaladásakor a hajlítófeszültségek kétszer változnak ellenkező előjelűre. Az alaprétegben a periodikusan ismétlődő húzófeszültségek – megnyúlások – fáradást okoznak. A tönkremenetel akkor következik be, amikor az alsó aszfaltréteg fokozatosan csökkenő fáradási szilárdsága már a terhelésekből eredő, ismétlődő húzófeszültségek szintje alá süllyed. [Kisgyörgy, 2014] Ekkor keletkeznek az alulról felfelé terjedő fáradási repedések, melyek elérve a kopóréteget összefüggő, hálós repedéseket eredményeznek. Mivel a hajlékony pályaszerkezetek kisebb felületen adják át a terhelést a földmüre, mint a merev pályaszerkezetek, a behajlási vonaluk is feltűnően eltérő. Megfigyelhető, hogy a hajlékony pályaszerkezetben lényegesen nagyobb hajlítófeszültségek keletkeznek, mint egy merevben, hiszen a keletkező húzófeszültség mértéke a hajlítás sugarától függ, s minél kisebb ez a sugár, annál nagyobb a kialakuló feszültség. [Kisgyörgy, 2014]



4. ábra: Hajlékony és merev pályaszerkezetek behajlási vonala [Kisgyörgy, 2014]

Mivel az aszfalt szabad mozgása korlátozott, hőmérsékletváltozás hatására termikus feszültségek ébrednek, majd halmozódnak fel az anyagban. Az aszfaltburkolatok mechanikai tulajdonságai hőmérséklet függő paraméterek. Ha csökken a hőmérséklet, nő a merevség és a teherbírás, de relaxációs tulajdonsága redukálódik. Amikor a húzófeszültség eléri az anyag húzószilárdságát, termikus repedések jelennek meg. Nyári, nagy meleg esetén ez a jelenség fordítottan igaz. A magas hőmérsékletnek köszönhetően az aszfalt relaxációja rendkívül gyors, ezzel szemben a járműteher alatt alakváltozás jelensége megfigyelhető, mely nyomvályúsodáshoz vezethet.

Pályaszerkezet-méretezés során, a vizsgálatok és számítások pontosságát alapvetően befolyásolja, hogy az anyagok várható viselkedése milyen megbízhatósággal becsülhető. [Tóth, 2010] Aszfaltbeton pályaszerkezet esetén ezek nagymértékben a függenek a terhelés jellegétől, valamint a vizsgálati hőmérséklettől, így viszkoelasztikus anyagnak tekinthetők. Az évek során, ezen elméleten alapulva több anyagmodell született, mint például a Boltzmann-féle szuperpozíciós elv, ahol a feszültség vagy a deformáció hosszabb-rövidebb megszakításokkal, különböző időpontokban hat a próbatestre.



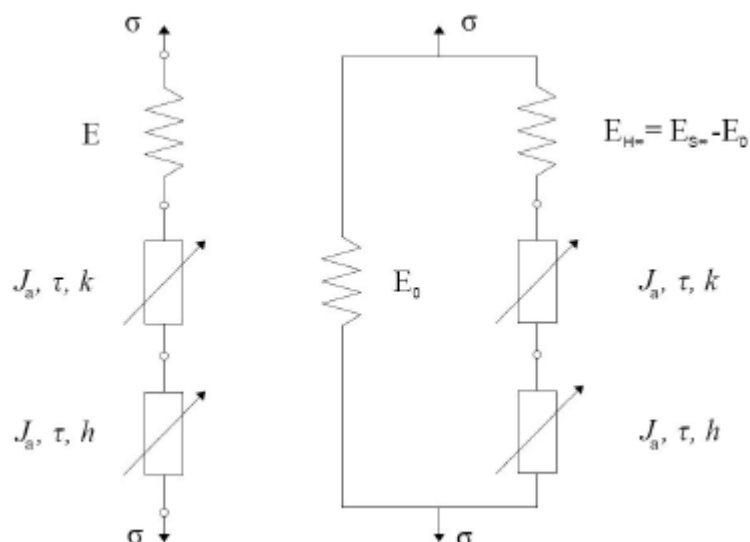
5. ábra: A Boltzmann-féle szuperpozíciós elv szemléltetése [Tóth, 2010]

Ezen anyagok esetén számolnunk kell a kúszás és a feszültség-relaxáció megjelenésével, melyek időfüggő paraméterek. A kúszás során konstans feszültséggerjesztés mellett mérjük az idő előrehaladtával fellépő alakváltozást. [Tóth, 2010] Relaxációs vizsgálat esetén állandó deformáció gerjesztés mellett mérjük a feszültség csökkenést az idő függvényében. A vizsgálatok eredményei

alapján a kúszási érzékenység, valamint a relaxációs modulus meghatározhatóak. A lineáris viszkoelasztikus anyagok viselkedése két feltétellel jellemezhetjük:

- a feszültség bármely időpontban arányos a deformációval
- érvényes a Boltzmann-féle szuperpozíciós elv. [Tóth, 2010]

Szabványos vizsgálatok esetén élhetünk a lineáris viszkoelasztikusság feltételével, mivel ezen előírások kidolgozása során ügyeltek arra, hogy a terhelési idő, szintek, illetve a vizsgálati hőmérsékletek megjelölése úgy legyen megválasztva, hogy a keverék lehetőleg lineáris viszkoelasztikus tartományon belül maradjon, de javasolt a mérési eredmények ellenőrzése. Rugalmas viselkedésűnek akkor tekintjük az anyagot, ha a rá működő terhelés megszüntetése után az előzőleg keletkezett alakváltozások megszűnnek, a test visszanyeri eredeti, nyugalmi állapothoz tartozó alakját. [Primusz, 2012] A Hooke-törvény alapján egy rugalmas test alakváltozása arányos az erővel, mely ezt az alakváltozást okozza. A viszkoelasztikus anyagok reológiai viselkedésének leírására alkották meg anyagmodelleket, melyek a Hooke és Newton törvényeknek megfelelő rugók és viszkózus dugattyúkból állnak. Ezekkel meghatározható a feszültség hatására létrejövő deformáció, illetve a deformációt létrehozó feszültség. A kellően pontos modellezéshez azonban összetett modellekre van szükség. Ilyenek a Maxwell vagy Kelvin-Voigt, a Burgers és a Huet-Sayegh modell. Ezeket az anyagra kényszerített fizikai hatás gerjesztésével vizsgálják, mely lehet terhelés vagy deformáció gerjesztés.



6. ábra: A Huet és a Huet-Sayegh modell [Tóth, 2010]

Míg a bitumen mechanikai viselkedése dinamikus gerjesztés esetén a Huet-féle modellel széles hőmérsékleti és frekvenciaspektrumban jól leírható, addig az aszfaltkeverékek esetében a modell – főként alacsony frekvenciáknál és magas hőmérsékletnél - nem jellemzi megfelelően a valóságot. [Tóth, 2010] Oka, hogy a modell esetén a komplex modulus a nullához tart, azonban kísérletek bizonyítják, hogy aszfaltkeverékek esetén ez az érték egy nullától nagyobb értékhez tart a keverék kővázából adódóan. Két évvel később Sayegh olyan összetett modellt készített, ahol figyelembe vette, hogy a bitumennel szemben a hőmérséklet növekedésével a kőváz teherviselő szerepe megmarad.

A modellek bár mindenképp pontosabban írják le az egyes pályaszerkezet anyagainak viselkedését, de túl komplexek a mindennapi használathoz és bonyolult számításokat igényelnek, így a szakma inkább közvetlenül próbálja szimulálni a valóságot vizsgálatok segítségével.

1.2 Teljesítmény-alapú vizsgálatok jelentősége a keveréktervezésben

Az útpályaszerkezeteknek növekvő forgalmi és klimatikus terheket kell elviselniük, minél hosszabb élettartamon át, és a jövőben csak még több terhelési növekedésre számíthatunk. A pályaszerkezet kiterjesztett élettartamának biztosítása érdekében anyagainak, legfőképp a bitumenes anyagok optimalizálása az évek során egyre fontosabbá vált, nem csak az élettartam növelése, de az életciklus költségeinek csökkentése miatt is. Ennek fényében az elmúlt időszak legjelentősebb kutatási területének a beépített rétegek hosszú távú viselkedésének vizsgálata és becslése bizonyult. Aszfaltburkolatok tekintetében a kulcsfontosságú paraméterek a fáradási ellenállás, az alacsony hőmérsékleten bekövetkező termikus repedéseknek való ellenálló képesség, a komplex merevségi modulus, valamint a maradó alakváltozással szembeni ellenálló képesség magas hőmérsékleten. Ezen viselkedési formák bővebb megismerésére teljesítmény-alapú vizsgálati módszereket integráltak az európai szabványokba. [Blab, 2015]

A tanulmány elkészítése során a fundamentális szemléletet választottam, hiszen így a pályaszerkezetben betöltött funkciója alapján vizsgálhattam anyagomat, majd összehasonlítottam az eredményeket az empirikus szemlélettel. Időhiányra való tekintettel a főbb anyagi tényezők közül a magas hőmérsékleten történő maradó alakváltozással szembeni ellenálló képességet fejtem ki dolgozatomban, de a kép teljessége érdekében fontosnak tartom röviden összefoglalni a paraméterek fundamentális vizsgálatait és alkalmazásukat a keveréktervezésben.

A kopóréteg feladata a közvetlen időjárási és jármű igénybevételek elviselése, így megkülönböztetett fontosságú rétegnek számít. Elengedhetetlen, hogy nedves időben is megfelelő csúszásellenállást biztosítson, és ne alakuljon ki a megengedettnél nagyobb nyomvályú a felületén.

A kötőréteg funkciója a jármű igénybevételek, mint a fátörés és nyírás viselése, valamint a tehereloszlás és a kopóréteghez való kapcsolódás. A nyári nagy meleg napokon hőmérséklete alig néhány Celsius fokkal alacsonyabb a kopórétegénél, így ahol fékezési vagy gyorsítási hatások vannak a nyírófeszültséggel szembeni ellenállásának és hajlító-húzó feszültséggel szembeni ellenálló képességének is megfelelőnek kell lennie.

A felső alapréteg alapvető funkciója a kellő stabilitás és szilárdság mellett a hajlító igénybevételek felvétele és a vízszigetelés, míg az alsó alaprétegre a többivel szemben már kisebb mértékű terhelések érkeznek, de megfelelő merevség és alacsony repedés érzékenység szükséges.

A bemutatottaknak megfelelően az egyes rétegeknek más-más igénybevételeknek kell ellenállniuk, az egyes tönkremeneteli módokhoz az alábbi táblázat szerint rendelhetőek vizsgálatok rétegenként:

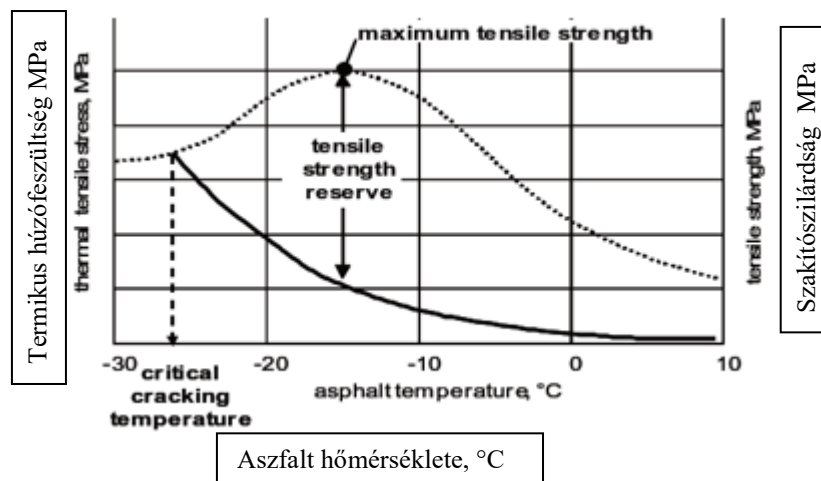
Aszfaltréteg	Merevség	Fátörés	Alacsony hőmérsékleten való viselkedés	Maradó alakváltozás
Kopóréteg	x	(x)	x	x
Kötőréteg	x	(x)	x	x
Alapréteg	x	x	(x)	(x)

1. táblázat: Az egyes paraméterek fontossága a kopó-, kötő-, illetve alaprétegekben [Blab, 2015]

A 1. táblázatban látható, hogy merevség mind a három rétegben fontos szerepet tölt be, míg a fátörés csak az alaprétegben számottevő, ezzel ellentétben az alacsony hőmérsékleten bekövetkező termikus repedések és a maradó alakváltozás csak a felsőbb, kopó-, és kötőrétegben okoz főbb problémát.

1.2.1 Hidegviselkedés

A termikus repedések hőmérsékletingadozás sorozata hatására jelennek meg a pályaszerkezetben jellemzően a hőmérséklet hirtelen lecsökkenésekor, ahol a hőmérsékletváltozás és forgalmi terhelés okozta feszültségkombináció meghaladja az anyag húzószilárdságát s a keréknyomok közelében, hosszirányban, felszínről induló repedések kialakulását eredményezi. Az alkalmazott vizsgálati módszerek a TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test), ahol a két végén befogott próbatestet folyamatosan csökkenő hőmérsékletnek vetik alá, valamint az UTST (Uniaxial Tensile Strength Test), mely során a termikus zsugorodás miatti feszültségeket a húzószilárdsággal hasonlítják össze. E két vizsgálat eredményei alapján a húzószilárdsági tartalék számítható, mely a termikus repedés hagyományos paramétere.



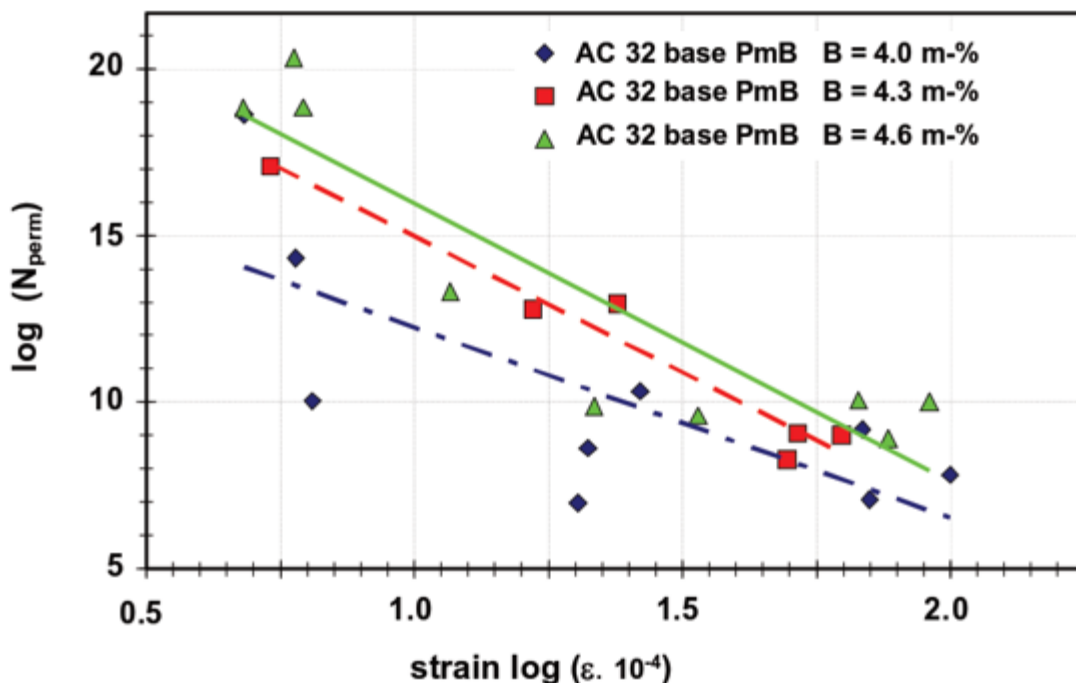
7. ábra: A húzószilárdsági tartalék meghatározása [Blab, 2015]

A hidegviselkedés nagymértékben függ a kötőanyagtól, míg a kötőanyagtartalomtól és a szemeloszlástól kevésbé, keverékenként megállapítható egy optimális bitumentartalom a legkisebb elérhető repedési hőmérséklethez, mely felhasználható a keveréktervezés folyamatában.

1.2.2 Merevség és fáradási ellenállás

Ez a témakör az elmúlt évtizedekben az egyik legnagyobb terjedelmű kutatási terület. A szabványos vizsgálat célja az anyag merevségének meghatározása a komplex modulus időbeli leírásával, illetve a fáradási ellenállás definiálása a megengedhető teherismétlések számának függvényében. A merevség a legnagyobb alakváltozás hányadosaként adódik, amely az anyag viszkoelasztikus tulajdonságai miatt időben egy fázisszöggel egymástól eltolva jelentkeznek. A hagyományos kutatások a fáradási tönkremenetellel foglalkoznak a legtöbbet, ahol kis terhelések nagyszámú

ismétlése mellett alulról felfelé terjedő repedések keletkeznek a vizsgálati próbatesten, holott ez nem mindig felel meg a valóságnak, hiszen a fáradási repedések mellett felülről lefelé terjedő, termikus repedések is megjelenhetnek az aszfaltrétegekben. Numerikus szerkezeti modellekkel a hőmérséklet-, és frekvenciafüggő anyagi viselkedést leíró eredmények alapján számíthatóak a termikus eredetű és kerekteher okozta feszültségek és alakváltozások. A fáradási ellenállás ismételt terhelési vizsgálatokkal értékelhető, melyek lehetnek feszültség, vagy alakváltozás vezéreltek. Eredményükként kaphatóak a fáradási görbék, melyek alapján megállapítható a teherismétlések megengedett száma. Ezek a görbék a mestergörbékkel együtt alkotják a mechanikai alapú méretezési eljárások főbb input paramétereit. Míg a laboratóriumi vizsgálatok során a próbatestekben egytengelyű feszültség és alakváltozás állapot alakul ki, a valós életben ezek háromdimenziósak, így az élettartam pontos becsléséhez ezek között összefüggést kell felállítani, melyre alkalmasak az úgynevezett „shift – faktorok”. Ezek empirikus alapon vagy szilárdsági hipotézis alapján teremtik meg a laborvizsgálatok alapján kapott megengedett teherismétlések és a valós fáradási tönkremenetel közötti kapcsolatot. Bár ezek a vizsgálatok igen idő-, és költségigényesek, alapvető információkat nyerhetünk általuk az optimális kötőanyag tartalomra vonatkozóan.



8. ábra: egy AC32 alapréteg fáradási egyenesei a kötőanyag tartalom függvényében [Blab, 2015]

Az alábbi ábra szerint az adott megnyúláshoz tartozó megengedett ismétlésszám látványosan nő a kötőanyag tartalom növekedésével, mely olyan alapréteget eredményez, amely a Marshall- féle

keveréktervezéshez képest mintegy 0,5 m%-kal több kötőanyagot tartalmaz, ezzel megnövelve a pályaszerkezet fáradási élettartamát.

1.2.3 Maradó alakváltozás

Az aszfaltbeton plasztikus deformációját befolyásoló tényezők régóta ismertek. A deformációs hajlamot növeli:

- a bitumentartalom növelése
- a kisebb viszkozitású bitumen
- a bitumenkitöltöttség
- a szabad hézag csökkentése
- a gömbölyű szemcsék arányának növelése

A tulajdonságok és a nyomosodás közötti korrelációt az alábbi táblázat tartalmazza:

Megnevezés	Korrelációs együttható
Bitumen tartalom	0,673
Szabad hézag	0,483
Hézagok kitöltöttsége	0,530
HVEEM stabilitás	0,490
Zúzott anyag tartalom	0,229

2. táblázat: *Összefüggés a nyomosodás aránya és az aszfalttulajdonságok között [Sieler, 2010]*

A táblázat egyértelműen rámutat arra, hogy a nyomosodási hajlamra legfőképp a bitumentartalom változása hat. Tapasztalati tény, hogy a paraméter emelkedésével a maradó alakváltozások mérete is növekedni fog. Ezen folyamat teljes körű megértéséhez, olyan vizsgálatokra van szükség, melyek képesek előállítani a valós feszültségállapotokat és terhelési viszonyokat. A maradó alakváltozások a melegaszfaltok anyagi paramétereivel és a terhelés hatására létrejövő deviátor feszültségekkel magyarázható, ennek tekintetében megállapítható, hogy a kopó-, és kötőrétegek erre a legérzékenyebbek. Vizsgálati módszerként a szabvány a triaxiális nyomóvizsgálatot is tartalmazza, s lehetőséget ad konstans vagy dinamikusan változó oldalnyomás alkalmazására is, javasolható mindkét esetben a szinuszos terhelés. A pályaszerkezet rétegeiben létrejövő maradó alakváltozások becslésére a Francken által megfogalmazott összefüggés alkalmazható, mely triaxiális nyomóvizsgálatokon és lineárisan rugalmas elméleten alapul, ezáltal a szükséges feszültségek és

alakváltozások lineárisan rugalmas modellek segítségével számíthatóak. A plasztikus alakváltozási modulus több hőmérsékleten, frekvencián és teherkombinációval meghatározható triaxiális vizsgálati eredmények alapján, hézagtartalom, kúszási görbe vagy a komplex merevségi modulus segítségével, így felhasználhatóak numerikus modellek készítése során is. A triaxiális nyomóvizsgálat továbbá lehetővé teszi a deformációs ellenálló képesség szempontjából releváns optimális kötőanyag tartalom definiálását is, mely alapján megállapítható, hogy a bitumentartalom és típusa jelentősen befolyásolja az anyag maradó alakváltozásának hajlamát. Ronald Blab vizsgálataira irányult, miszerint létezik egy optimális bitumentartalom, ahol a kúszássebességi ráta minimális, és ez az optimum akár 0,1-0,3 m%-kal alacsonyabb, mint a Marshall-féle keveréktervezés során használt érték. [Blab, 2015]

1.3 Kiindulás

Az évek során a tranzitforgalom növekedésével folyamatosan nőtt a gyorsforgalmi utak terhelése, a közúti szállítás a teljes szállítási teljesítmény kb. 70%-át bonyolítja le, szemben a vasúti szállítás 18%-ával. A nehézgépjármű forgalom a főutakra és autópályákra terelődött, de a fenntartásra és a fejlesztésre fordított összegek reálértékben nem követték a forgalmi növekedést.



9. ábra: Forgalmi dugó az autópályákon [veol.hu]

A világon a burkolt utak esetében az aszfalt a legszélesebb körben alkalmazott burkolattípus, így Magyarországon sincs ez másképp, az aszfaltburkolatú pályaszerkezetek részaránya a domináns,

mivel beépítésük és karbantartásuk egyszerű, a terítés és a tömörítés a rendelkezésre álló gépekkel gyorsan elvégezhető, így a beépítés után 1-2 órával a burkolat átadható a forgalomnak.

Napjainkban az útpályaszerkezetekkel szemben támasztott legnagyobb elvárás így nem meglepő módon a növekvő terhelés és a klimatikus viszonyoknak való ellenállás. A beruházási és fenntartási költségek, valamint az esetlegesen kialakult károk csökkentésének érdekében egyre fontosabbá vált a pályaszerkezet elemeinek optimalizálása, mint például az aszfaltrétegek kötőanyagtartalma, a hidraulikus kötőanyagú alaprétegek beton-cement tartalma vagy a szemcsés alaprétegek és földművek teherbírása és anyagai, ezzel biztosítva a hajlékony, illetve félmerev pályaszerkezetek megnövekedett élettartamát. Hazánkban a mérsékelt éghajlatnak köszönhetően az aszfaltburkolatú pályaszerkezeteknek -20°C illetve $+70^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleti intervallum között megfelelő fizikai és mechanikai tulajdonságokkal kell rendelkezniük, amik a kötőanyag révén a hőmérséklet függvényében jelentősen befolyásolhatóak. TDK dolgozatomban a legnagyobb közúthálózati problémával, a melegaszfaltok egyik kulcsfontosságú teljesítményi paraméterével foglalkoztam, a maradó alakváltozással szembeni ellenállással, másnéven a keréknyomképződéssel. A nyomvályú a tengelyre merőleges irányban mért deformáció. Hatása kiemelt forgalombiztonsági jelentőséggel bír, hiszen akadályozza a gépjárművek szabad közlekedését és a vízelvezetést. A járművet érő vízszintes erőhatás, ami a kormányozhatóságot rontja – ún. sín-effektus, valamint a nyomvályúban összegyűlő csapadék hatására bekövetkező vízen csúszás – aquaplaning.

A keréknyomvályú kialakulásának okai az utántömörödés, a kopás, valamint a plasztikus deformáció, ezek közül az utóbbival foglalkozom a tanulmány során, mely nagy és lassú terhelések hatására, magas hőmérsékletnek kitett anyagokban jelentkezik. Az aszfalt viszkoelasztikus anyag, ezért valamilyen mértékű maradó alakváltozást mindig szenved a kerékterhelések hatására. A deformációk kialakulásának okai a nehéz járművek terheléséből adódó hatásai mellett a forgalom lefolyása, az útszakasz adottsága, klimatikus hatások, valamint az aszfaltkeverékek jellemzői. Az aszfalt bitumen és adalékanyag keveréke, de elsősorban a bitumen, mint viszkoelasztikus kötőanyag játszik kulcsfontosságú szerepet a keverék mechanikai tulajdonságaiban. A bitumen fizikai tulajdonságai hőmérséklet függőek, így a merevségi modulusa is változik eltérő hőmérséklet, valamint az időtartam hatására. Az aszfaltok nyomvályú képződési hajlama ellen tudatos anyagtervezéssel hatékonyan lehet védekezni.

Európa szerte az aszfalt fáradási élettartamát veszik figyelembe a méretezési eljárás során, de az így tervezett burkolatokon gyakorta a megnövekedett igénybevételek miatt nyomvályúk alakulnak ki,

melyek veszélyeztetik a biztonságos közúti közlekedést. Megfelelő keveréktervezéssel és minőség ellenőrzéssel a deformációk kialakulása megelőzhető.

2 A kutatás célja és a feladat ismertetése

Európa szerte az aszfalt fáradási élettartamát veszik figyelembe a méretezési eljárás során, de az így tervezett burkolatokon gyakorta megnövekedett igénybevételek miatt nyomvályúk alakulnak ki, melyek veszélyeztetik a biztonságos közúti közlekedést. Megfelelő keveréktervezéssel és minőség ellenőrzéssel a deformációk kialakulása megelőzhető.

Tanulmányom során egy AC 22 kötő aszfaltbetont vizsgáltam 5 különböző bitumentartalommal, melyből a legkisebb 3,4%, a legnagyobb 4,2% volt. TDK dolgozatom célkitűzése így a kiválasztott AC 22 típusú aszfaltbeton keverék alakváltozási ellenállásának értékelése empirikus és fundamentális vizsgálatokkal, majd a deformációs ellenálló képesség szempontjából egy optimális bitumentartalom meghatározása volt, így segítve a keveréktervezést, ezzel pontosabban becsülhető és kedvezőbb legyen a beépített pályaszerkezet teljesítménye. Miután a próbatestek elkészültek a magas hőmérsékleten létrejövő maradó alakváltozások vizsgálatára, ahogy azt az **MSZ EN 12697-25** nemzetközi szabvány tartalmazza triaxiális nyomóvizsgálatot (Triaxial Cyclic Compression Test, TCCT), melyek a teljesítményalapú eredményeket adták, valamint dinamikus keréknyomképződés vizsgálatot (Wheel Tracking Test, WTT) alkalmaztam, ezáltal teljesítményelvű eredmények is rendelkezésemre álltak. Az irodalmi áttekintést követően a Budapesti Műszaki- és Gazdaságtudományi Egyetem Pályaszerkezeti Laboratóriumában végzett vizsgálataim eredményeit elemzem, összehasonlítom, majd az eredmények alapján meghatározom a keverékre vonatkozó optimális bitumentartalmat.

3 Irodalmi áttekintés

A motorizáció fejlődése és a forgalom jellegének változása, valamint a beruházási, fenntartási költségek csökkentése érdekében elengedhetetlen az aszfaltburkolatok elemeinek, anyagainak optimalizálása. [Füleki, 2013]

Az elmúlt időszakban a teljesítményalapú vizsgálatok kifejlesztése és gyakorlati alkalmazásuk, valamint felhasználásuk a leromlási modellek felépítéséhez nagy hangsúlyt kapott. Míg a teljesítmény-elvű vagy empirikus vizsgálatok olyan anyagi paraméterekre fókuszálnak, amelyek

tapasztalati úton összefüggésbe hozhatóak a teljesítménnyel, a teljesítmény-alapú vizsgálatok magukat a teljesítményt befolyásoló fundamentális jellemzőkre fókuszálnak.

Az évek során többen is vizsgáldtak a témában. Kutatásom kiindulási alapja Ronald Blab, a Bécsi Műszaki Egyetem Építőmérnöki kar dékánjának egy 2015-ös cikke, *a Teljesítményalapú aszfaltkeverékek és burkolattervezés* volt, melyben kifejtette a teljesítményalapú vizsgálatok jelentőségét a keveréktervezés során és megismertetett az optimális bitumentartalom fogalmával.

Számos külföldi kutató foglalkozott még ezzel a témával, de dolgozatom megírás közben inkább a hazai szakirodalmakban, előző diplomamunkákban és TDK dolgozatokban mélyedtem el.

Dr. Füleki Péter *Aszfaltbeton keverékek fundamentális alakváltozási jellemzőinek kapcsolata a bitumenek teljesítményalapú paramétereivel* című 2013-ban írt disszertációja során vizsgáldott a témához kapcsolódóan a győri Széchenyi István Egyetemen. Kutatásának célja a különböző bitumenek elsősorban teljesítményalapú reológiai paramétereit és az aszfaltbeton keverék fundamentális alakváltozási ellenállási jellemzői közötti kapcsolatok feltárása és igazolása volt, és a disszertáció során feltárta az aszfaltbeton keverékek nyomképződési jellemzőit és a kúszási paraméterek közötti összefüggéseket, így segítve az keverékek teljesítményalapú értékelését.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen is születtek hasonló témakörben kutatások az elmúlt években. Ávár Vivien és Dr. Szentpéteri Ibolya 2010-ben írt TDK dolgozatuk során céljuk az volt, hogy a keréknyom vizsgálatok és az ismételt terhelésű összenyomódási eljárások eredményei között korrelációt vizsgáljanak, illetve ezen kapcsolat alaposabb elemzése *Plasztikus deformációs hajlam meghatározása kúszás, valamint vákuum triaxiális vizsgálatok segítségével* címmel.

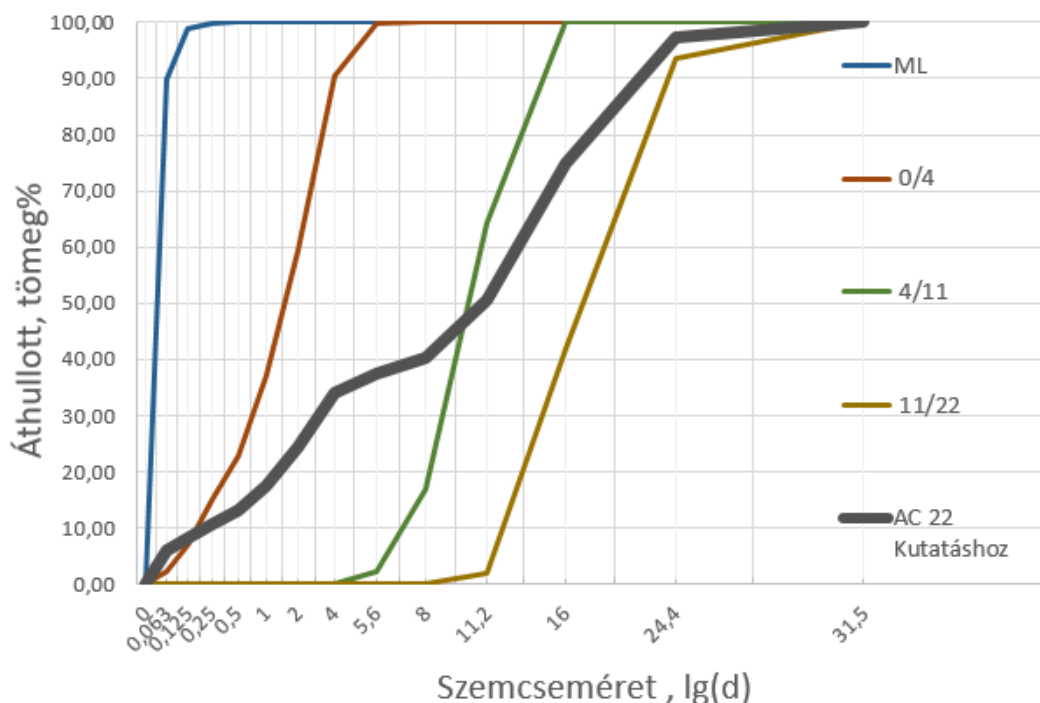
Sieler Tamás 2010-ben írta diplomamunkáját *Az aszfaltkeverék összetételének és plasztikus deformációs hajlamának vizsgálata kopóréteg keverékek esetén* címmel. Vizsgálatait során kimutatta, hogy magasabb bitumentartalom mellett kiugróan nagy nyommélység jelentkezett, ezeket összevetve a tömörödési görbékkel megállapította, hogy egyértelmű a kapcsolat, hiszen ezek a próbatestek nem tudtak kellően betömörödni, melyet a hézagtartalom is igazolt.

Az aszfalttechnológia sajátosságainak megértésében elsősorban Dr.Nemesdy Ervin-Dr.Ambrus Kálmán-Dr.Pallós Imre-Dr.Török Kálmán *Az aszfaltkeverékek mechanikai, és fizikai tulajdonságainak laboratóriumi vizsgálatai* című 2000-es publikáció volt segítségemre.

4 Laboratóriumi vizsgálatok

4.1 Keverék, próbatest készítés

Vizsgálati anyagom egy AC 22 kötőrétegi aszfaltbeton volt, kötőanyagként B50/70 típusú közép-kemény bitument választottam. A keverékhez szükséges kőanyagot az Innoteszt Minőségvizsgáló, Technológiai és Fejlesztési Kft. biztosította, így a keverékem megtervezéséhez rendelkezésemre állt mészköliszt, 0/4, 4/11 és 11/22 frakciójú kőanyag. A keveréktervezés folyamatát az **ÚT 2-3.301-1** Útügyi Műszaki Előírásnak megfelelően készítettem.



10. ábra: Az elkészült kőváz

A szemeloszlást **MSZ EN 13108-1:2006** szabványos szitasorral vizsgáltam, majd megterveztem az **ÚT 2-3.301-1** Útügyi Műszaki Előírás szerint a kővázat, és a keverékterv alapján bemértem a megfelelő anyagmennyiségeket az öt különböző bitumentartalomhoz.



11. ábra: Szabványos szitasor a BME Pályaszerkezeti Laboratóriumában

A bitumentartalmakhoz tartozó próbatetek jelölései a következőképp alakultak:

Bitumentartalom	Jelölése
3,4 %	DD
3,6 %	DB
3,8%	DA
4 %	DC
4,2 %	DE

3. táblázat: Bitumentartalmakhoz tartozó jelölések

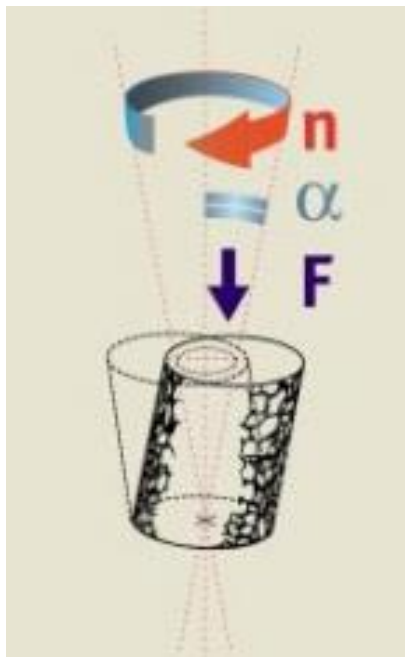
Az elkészült kőváz a 10.ábrán látható, míg az adagolás az 4.táblázatban található.

Szítaméret (mm)	Áthullott tömegszázalék				Követelmény		AC 22
	ML	0/4	4/11	11/22	AC 22		kutatáshoz
31,5	100,00	100,00	100,00	100,00	100		100
24,4	100,00	100,00	100,00	93,48	90	97	
16	100,00	100,00	100,00	41,76	-		75
11,2	100,00	100,00	64,20	1,88	-		51
8	100,00	100,00	16,97	0,02	-		40
5,6	100,00	99,78	2,31	0,00	-		37
4	100,00	90,46	0,08	0,00	-		34
2	100,00	59,12	0,00	0,00	20	24	
1	100,00	37,01	0,00	0,00	-		17
0,5	100,00	22,86	0,00	0,00	-		13
0,25	99,90	15,05	0,00	0,00	-		11
0,125	98,90	6,84	0,00	0,00	-		8
0,063	89,80	2,30	0,00	0,00	4	6	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-		0
ADAGOLÁS	6	31	20	43	100		100

4. táblázat: A keverék adagolásának adatai

Az elkészített aszfaltkeverékekből bitumentartalmanként 3 db zsirátoros próbatest és 2db lap próbatest készült. A zsirátoros próbatestek 150 fordulattal lettek elkészítve, melyekre a triaxiális vizsgálatok során volt szükségem. A lap próbatestek a dinamikus keréknyom vizsgálatához készültek.

A zsirátoros tömörítés egyre elterjedtebb Európában is. Triaxiális vizsgálataimhoz 120 fordulatszámmon 150 mm szélességű zsirátoros próbatesteket készítettem. Maga az eszköz gyúró tömörítő elven működik, amely során az elkészült próbatestre egy statikus, függőleges erő hat, így a művelet elvégzéséhez szükséges energia biztosított. A berendezés α szögben kitérített forgómozgást végez a gyúró tömörítéshez kellő mozgásviszonyok érdekében. A zsirátoros eszköz lényege, hogy a valós pályaszerkezetbe beépített anyag erő- és mozgásviszonyait legpontosabban tudja szimulálni, hiszen ezzel a módszerrel jól közelíthető az úthengerrel való tömörítés, ezzel szemben a Marshall-döngölő kalapácsszerű mozgást végez.



12. ábra: Zsirátorral tömörített próbatest helyzete és terhelése

A sablonba bemért keverékre 600 kPa nagyságú erő hat, majd, mint fent említettem a készülék a kelyhet a megadott dőlésszögbe állítja és 30 fordulat/perces sebességgel forgatva, imbolygó mozgást végezve tömörít. Az állandó normál irányú nyomás mellett, így ciklikus nyírás is létre jön, ezzel a szemcsék elrendeződését lehetővé téve.

A harmadik féle próbatestem a lap próbatest volt. Az elkészült keveréket derékszögű formába töltöttem, majd tömörítettem, vastagságukat az oldalak középpontjában megmértem, és a négy oldal átlagából kaptam a vastagságát. Ez után kettévágtam és gipsszel kiöntöttem a széleiket.

Testsűrűség vizsgálatok nem készültek. Az Innoteszt Minőségvizsgáló, Technológiai és Fejlesztési Kft. által készült Marhall-féle tervezés során kapott testsűrűség eredményt elfogadtam, hiszen az ő összetételüket vettem alapul a dolgozatom során elkészített keveréknél is.

Előírt keverékterv		Száma: Ü /0033/01/13	
Megrendelő (keverőtelep): EuroAszfalt Kft. Megrendelő azonosítója: /		Keverőgép típusa:	
Aszfalt típusa: AC 22 kötő 50/70		Igénybevételi kategória:	
Beépítés helye: EuroAszfalt Kft		Beépítés azonosítója:	
Kapcsolódó dokumentumok azonosítói:		A kapcsolódó dokumentumok a következő helyen vannak irattározva: Innoteszt KFT. Mobil Nagylabor	
Típusvizsgálat jele: Ü /0033/13 Iktatószám: 13/Ü /0072.2230			
Egyebek: Tanúsító szervezet: Magyar Aszfaltipari Egyesülés (HAPA)			
Felhasznált alapanyagok			
Ásványi anyagok	Megnevezés (szabványos)	Származási hely	Összetétel (m%)
	ML	Tatabánya	6
	NZ 0/4	Iszkaszentgyörgy	31
	NZ 4/11	Iszkaszentgyörgy	20
	NZ 11/22	Iszkaszentgyörgy	43
Kötőanyag	Megnevezés (szabványos)	Származási hely	Kötőanyagtartalom (m%)
	50/70	OMV	3,8
Adalékszerke	Megnevezés (szabványos)		Adagolás aránya (m%)
Aszfaltkeverék előírt paraméterei:			
Megjegyzés:	Oldható kötőanyag tartalom	S (m%)	3,8
	0,063 mm szitán átesett	T (m%)	8,0
	Jellemző finom szitán átesett () (m%)		11
	2,0 mm-es szitán átesett (m%)		25
	D/2 (11,2 mm) nyílásméretű szitán átesett (m%)		59
	D (22,4 mm) nyílásméretű szitán átesett (m%)		96
	ITSR (%)		73,4
Szabad hézagterfogat	Vm (térf%)	5,4	

5. táblázat: Innoteszt Kft. által készített típusvizsgálat adatai

4.2 Próbatestek kódolásai

Az így elkészült próbatesteim az alábbi jelöléseket kapták:

Bitumen tartalom	Zsirátoros próbatestek jelölései		
3,4%	DDG1	DDG2	DDG3
3,6%	DBG1	DBG2	DBG3
3,8%	DAG1	DAG2	DAG3
4,0%	DCG1	DCG2	DCG3
4,2%	DEG1	DEG2	DEG3

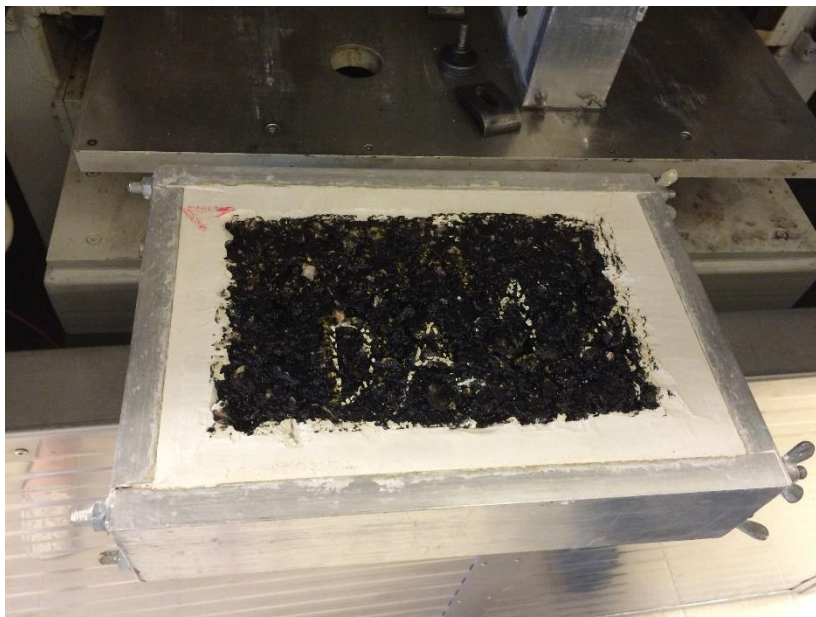
6. táblázat: Zsirátoros próbatestek jelölései



13. ábra: Elkészült zsirátoros próbatestek

Bitumen tartalom	Keréknymképződés próbatestek jelölései	
3,4%	DDW1	DDW2
3,6%	DBW1	DBW2
3,8%	DAW1	DAW2
4,0%	DCW1	DCW2
4,2%	DEW1	DEW2

7. táblázat: Keréknymképződés próbatestek jelölései

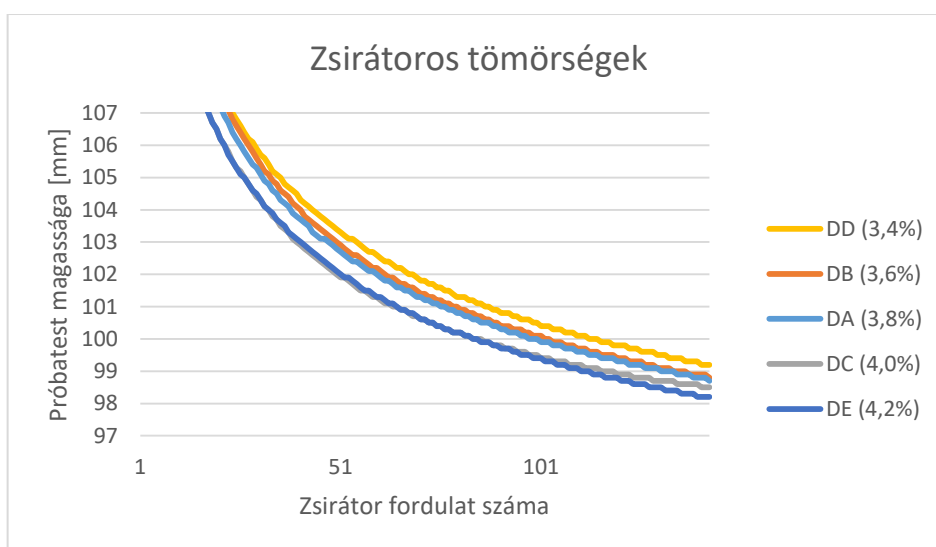


14. ábra: Elkészült és begipszelt lap próbatest

4.3 A keverék tömörödése, tömörödési görbék a bitumentartalom függvényében

Mint már egy fenti fejezetben említettem próbatesteimet zsirátoros tömörítővel készítettem, melyek közül utóbbi útdóval van ellátva, lehetővé téve a tömörödési görbék elkészítését.

Zsirtáros tömörítés esetén az egyes keverékek tömöríthetőségét a fordulatszám függvényében megadott próbatest magasságával szokás jellemezni. Az útdók segítségével Excel fájlban rögzíti a magasság adatokat, melyeket az alábbi diagramon ábrázoltam:



15. ábra: A zsirátoros próbatestek magasságainak alakulása

A diagram alapján látható, hogy a 4,2%-os próbatestek tömörödtek be a legjobban, és ahogy a kötőanyag tartalom csökken, azzal együtt csökkent a próbatestek betömörített magassága is.

5 A plasztikus deformáció vizsgálatok

Tanulmányom célja az aszfaltkeverékem plasztikus tulajdonságainak vizsgálata volt, magába foglalva a tömöríthetőséget és a maradó alakváltozást, valamint a bitumentartalom és ezen tulajdonságok közötti összefüggések kutatása. A dolgozat elkészítése alatt elvégzett vizsgálatok:

- Dinamikus keréknyomképződés vizsgálat
- Triaxiális nyomóvizsgálat

5.1 Dinamikus keréknyomképződés vizsgálat

A vizsgálat megkezdése előtt az elkészült 200×305 mm-es szegmenslapokat 60 °C-os vizsgálati hőmérsékleten kondicionálni kell. A berendezés két darab 200 mm külső átmérőjű, 50 ± 5 mm szélességű és 20 ± 2 mm vastagságú terhelt kerékgumiból áll, mindkettő egy-egy befogott mintán előre-hátra mozog. A próbatest elméleti középpontjától a vizsgálat közben kialakuló keréknyomsáv középvonala maximum 5 mm-re térhet el. Az **MSZ EN 12697-22:2003** számú szabvány 9.3.2 pontja szerint a vizsgálat 700 N-os kerékterheléssel készül, melynek kezdetekor, az első órában hétszer, majd minden 500. terhelési ciklus után a kerék függőleges helyzetét fel kell jegyezni a kerék megállítása nélkül. A vizsgálatot 10000 terhelési ciklusig vagy 20 mm-es nyommélységig kell végezni, azt kell alapul venni, amelyik hamarabb bekövetkezik. [Ávár-Szentpéteri, 2010] Maga a vizsgálat a korszerű berendezésekkel automatikus történik, a deformációt úradók mérik a kerékáthaladás hosszában.

A dinamikus keréknyomképződés vizsgálatokkal kapcsolatos fogalmak:

- terhelési ciklus: a terhelt kerék áthaladása a nyom és keresztmetszetén kétszer (oda-vissza)
- keréknyom: a vizsgált minta felületén a terhelőkerékkel bejárt felületen látható és mérhető benyomódás
- keréknyom-mélység: a vizsgált keresztmetszetben és kerékáthaladási számnál az eredeti felület és a keréknyomban létrejött új felület szintkülönbsége, az átlagos keréknyom-mélység az adott kerékáthaladási számnál a több keresztmetszetben mért keréknyom-mélységek átlaga
- fajlagos deformáció: az átlagos keréknyom-mélység és a próbatest vastagságának hányadosa %-ban kifejezve [Nemesdy et al, 2000]

Az átlagos nyommélységet a ciklusszám függvényében ábrázoljuk, megkapjuk a keréknyom-képződési görbét, mely hajlásszöge az alábbi képlettel számítható:

$$WTS = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{5}$$

Ahol:

WTS a keréknyom-képződési görbe hajlásszöge

d_{10000} a nyommélység a 10000. ciklus után

d_{5000} a nyommélység az 5000. ciklus után

A hajlásszög középértéke a két próbatest hajlásszögének átlaga. [MSZ EN 12697-22]



16. ábra: Dinamikus keréknyomvizsgáló berendezés

A fenti ábrán látható a berendezés, az azonos kötőanyag tartalommal készült próbatestekkel a begipszelt formában. A próbatestek előzetesen együtt készültek, utólag lettek kettévágvva.

5.2 Triaxiális vizsgálatok

Először a talajmechanikában alkalmaztak triaxiális vizsgálatokat azzal a céllal, hogy a talajok, illetve kőzetek szilárdságát a mintavételi hely körülményeinek megfelelően szimulálva vizsgálhassák. A

vizsgálatok száma nagymértékben függ a kapott minta homogenitásától és az adatok szórásától. 1968-ban Hoek és Franklin egy triaxiális cellát fejlesztett ki, hogy gyorsítsák az eredetileg lassú és drága eljárást. A cella csak a palástnyomást biztosítja, a hajlítófeszültség minimalizálása érdekében két darab kúpos nyomótest közvetíti a tengelyirányú terhelést. A henger alakú próbatest alatt és fölött szűrők helyezkednek el, a cella fontos eleme egy szintetikus gumimembrán, melyet a mintára helyeznek, ezzel meggátolva, hogy a palástnyomást biztosító olaj vagy víz a próbatestbe hatoljon vagy szivároгjon. Különbözö méretű próbatestek befogadására alkalmas cellák léteznek, de az első verzió 38 mm átmérőjű mintákhoz készült, ahol a magasság átmérő arány 2:1 volt. Az eredményeket τ - σ diagrammon ábrázoljuk, a Mohr-Coulomb törési feltételnek megfelelően határozhatjuk meg a belső súrlódási szöget, valamint a kohéziót. [Görög, 2015]

A geotechnikából ismert eljárás alapján fejlesztették ki az aszfaltkeverékeknél használatos triaxiális vizsgálatot is. Egyetemünkön először 1979-ben kezdett foglalkozni ezen vizsgálattal Dr. Nemesdy Ervin. 1980. januárjában jelent meg Aszfaltok statikus triaxiális vizsgálatának elméleti alapjai című dolgozata és ezzel egy időben szerezte be a tanszék az SBEL amerikai berendezést.

A triaxiális vizsgálatok célja az aszfaltkeverékek szilárdsági jellemzőinek – kohézió, belső súrlódási szög és a rugalmassági modulus- meghatározása, melyek felhasználhatóak az útpályaszerkezetek méretezése és a keverék tervezés során. A σ_1 függőleges feszültséget törésig növelik, a $\sigma_2 = \sigma_3$ főfeszültségek azonosak, ez megakadályozza az anyag oldalkitérését. A hengeres próbatest függőleges vagy hidraulikával működtetett erővel terhelik. Alapvetően 4 változata van: zárt rendszerű, nyílt rendszerű, a tengelyirányú nyomóerő lehet statikus, illetve dinamikus mind a két rendszer esetén.

A lent ismertetett vizsgálatokhoz felhasznált forrás Ávár Vivien és Szentpéteri Ibolya 2010-es Tudományos Diákköri Konferenciára készített dolgozata volt. A tanszéken hasonló témakörben ez a munka mértékadó kutatás volt, valamint jól összefoglalt és érthető.

5.2.1 Nyílt rendszerű triaxiális vizsgálat

Ebben az esetben a cella folyadék nyomása szabályozott, így bonyolultabb berendezés szükséges, hiszen a tengelyirányú nyomóerő növelésével a növekvő oldalnyomást vissza kell szabályozni. A $\sigma_3 = \sigma_2$ főfeszültség azonosak, mivel a próbatestre ható oldalterhelés körszimmetrikus, ez nyílt rendszerű vizsgálatnál a beállított értékű állandó nyomófeszültség, melyet a cella oldalfala és a próbatest oldalfala között terhelési lépcsőkben a levegő által okozott nyomás segítségével hozzák létre. Ezzel egy időben a próbatestre függőleges erő hat, melyet a minta tökre menetelég fokozatosan

növelnek. A $\sigma_1 - \sigma_3$ többletfeszültséget deviátor feszültségeknek nevezzük, amely az oldalnyomásból keletkező feszültség és az adott irányból ható feszültség különbségeként jön létre. A törési határállapot feltétele a Coulomb- Mohr törési elmélet alapján:

$$\tau_t \geq C + \sigma_t \times \operatorname{tg} \varphi$$

Ahol:

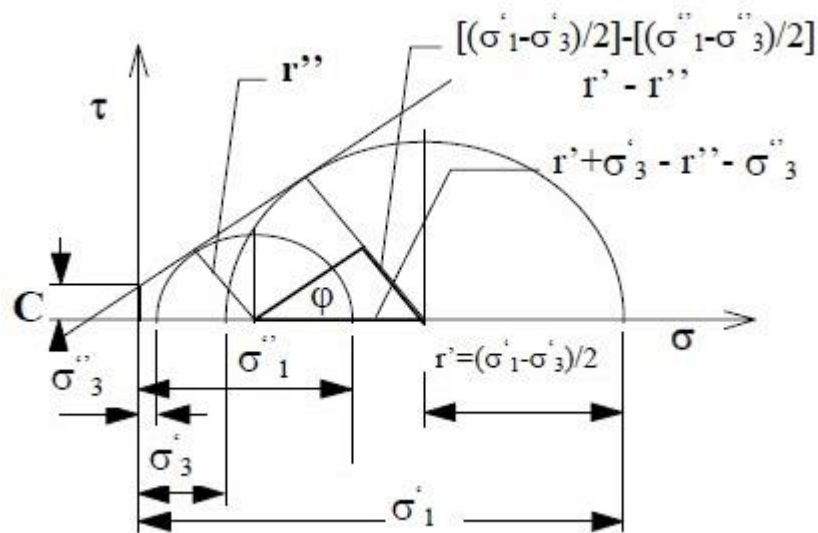
τ_t a nyírófeszültség [kPa]

C a kohézió [kPa]

σ_t a ferde csúszólapra ható normális irányú feszültség [kPa]

φ a belső súrlódási szög [rad]

Egy „beállított σ_3 oldalnyomással legalább három próbatestet megvizsgálva, - törésig növelve a σ_1 feszültséget ($F_{\text{törés}}$), - az átlagos értékkel megrajzolható a $\sigma_1' - \sigma_3' = r'$ sugarú Mohr-kör. Egy másik beállított σ_3 oldalnyomással is elvégezve újabb 3 próbatesten a vizsgálatot, megszerkezhető a másik $\sigma_1'' - \sigma_3'' = r''$ sugarú Mohr-kör is, és a két feszültségkörre fektetett érintő egyenes is, mely a függőleges τ ordinátán kimetszi a C kohéziót és iránytangensének szöge a φ° belső súrlódási szög.

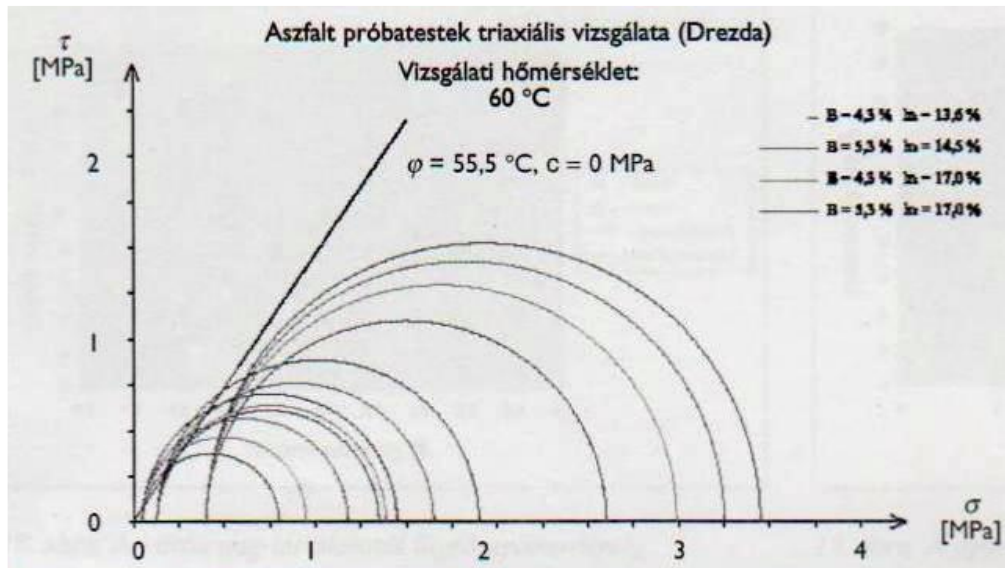


17. ábra: Mohr-Coulomb törési feltétel [Nemesdy et al, 2000]

Általában 3 különböző oldalnyomással végzik el a vizsgálatokat (legalább 9 próbatest vizsgálata) és így a 3 Mohr-körre közelítően szerkeszhető, számítható regressziós érintő egyenes adja az aszfaltkeverék megbízhatóbb C [N/mm^2] és φ° vizsgálati eredményét.

5.2.2 Zárt rendszerű triaxiális vizsgálat

Ez a legegyszerűbb formája a triaxiális vizsgálatnak, a radiális oldalnyomást biztosító folyadékot nem szabályozzák, mert a függőleges nyomóerő növelésével a próbatest hordósodása következtében az is növekszik. A függőleges feszültség értékét feszültséglépcsőkkel fokozatosan emelik és leolvassák a hozzá tartozó oldalnyomást.



18. ábra: Aszfalt próbatestek triaxiális vizsgálata (Drezda): feszültség – nyíróerő ábra

A feszültség adatok alapján a Mohr körök és a hozzájuk tartozó Mohr-Coulomb egyenes így megszerkeszthető.

5.2.3 Hveem-féle módszer

A vizsgálat célja az aszfaltok szilárdságának meghatározása volt, melyet a 60-70-es években főleg tudományos kutatásoknál használtak külföldön.

Olyan keverékek esetén alkalmazható, melyekben a kőanyag nem haladja meg a 25,4 mm-es szemnagyságot, de a kötőanyag lehet kisebb vagy nagyobb viszkozitású is.

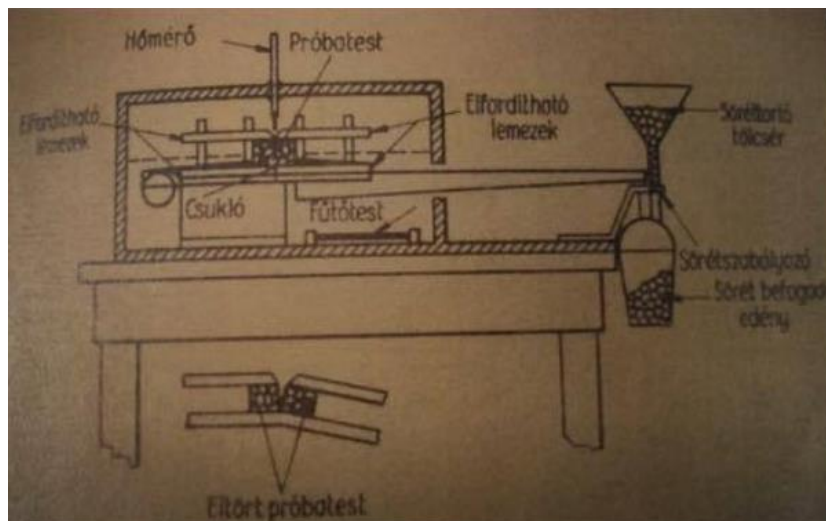
A bemutatott eljárás két részből tevődik össze, melyeket 101,6 mm átmérőjű és 63,5 mm magas henger alakú próbatesteken végeznek el. Az első részvizsgálat első lépéseként a próbatestek stabilitását vizsgálják a Hveem-féle stabilométerrel, ahol a vizsgálati hőmérséklet 60°C. Ezután a próbatest nyomócellába kerül, melynek oldala rugalmas, rásimul a vizsgálati test palástjára. A

cellafalat olaj vagy glicerin-víz veszi körül. A testre $28,2 \text{ kp/cm}^2$ nagyságú függőleges nyomást helyeznek, a berendezéshez kapcsolódó manométerről olvassák le a folyadékban előálló oldalirányú nyomás értékét, végezetül megállapítják a próbatest térfogatának függőleges és oldalirányú nyomás hatására bekövetkezett változását, továbbá meghatározzák a testsűrűségét, vízáteresztő képességét, duzzadását és hézagtartalmát.



19. ábra: Hveem stabilométer

A másik részvizsgálat a Hveem-féle kohéziómérrel történik. A mérés megkezdése előtt a próbatestet 60 °C -on kondicionálják.



20. ábra: Hveem-féle kohéziómérő

A stabilitás, kohéziós érték, a duzzadás és a szabad hézagtartalom értékei alapján az aszfaltkeveréket a tervezési forgalom (nehéz, közepes, könnyű) szerinti osztályokba sorolják. [Ferenczy; 1968]

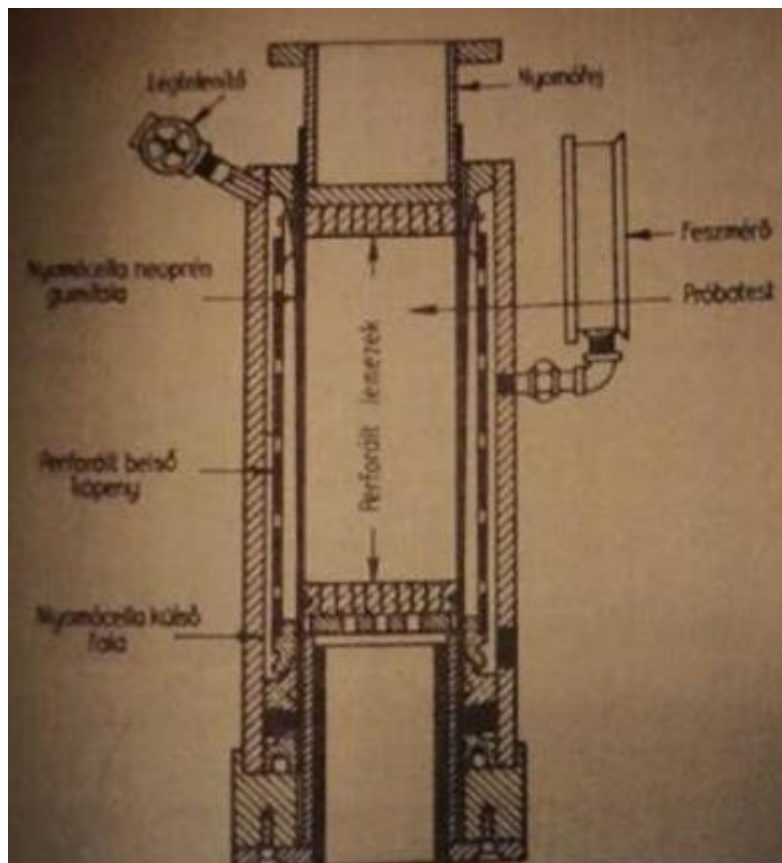
Jellemzők	Forgalom					
	nehéz		közepes		könnyű	
Stabilitási érték min.	35	-	35	-	35	-
Kohéziós érték min.	50	-	50	-	50	-
Duzzadás, mm max.	-	0,76	-	0,76	-	0,76
Szabad hézagtartalom V%	4	-	4	-	4	-

8. táblázat: Aszfaltpróbatestek minőségére vonatkozó követelmények Hveem-féle triaxiális vizsgálatokhoz [Ávár – Szentpéteri, 2010]

5.2.4 Smith-féle triaxiális eljárás

A vizsgálat az aszfaltok szilárdsági tulajdonságainak meghatározását szolgálja, elsősorban keveréktervezésnél és kutatásoknál alkalmazták.

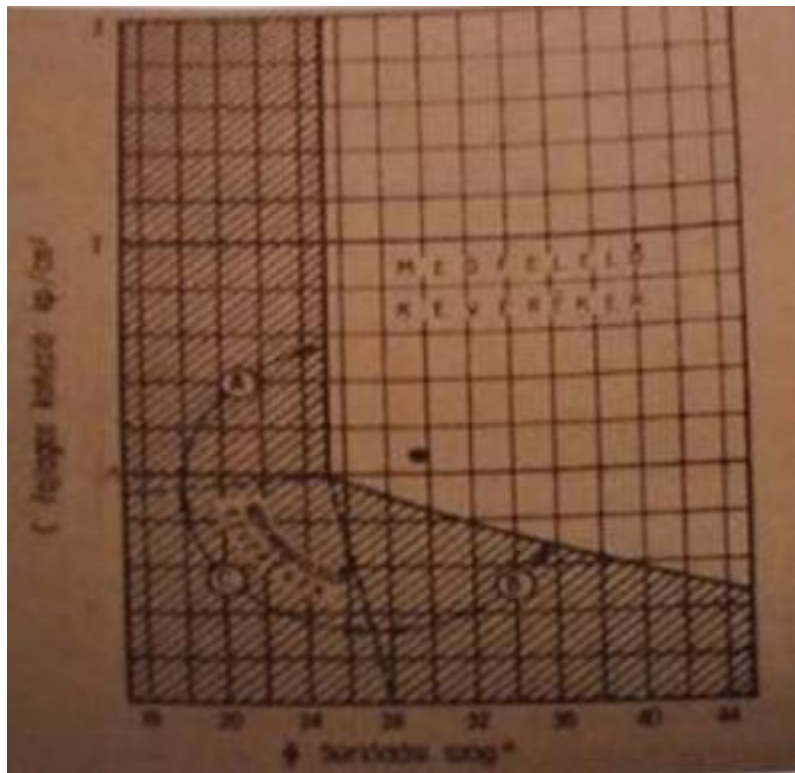
Az Hveem-féle eljárással ellentétben a nagyobb viszkozitású kötőanyaggal készült keverékek esetében használatos. Alkalmazhatóságát tovább csökkenti a maximális szemnagyság korlátozása, mely ez esetben 25,4 mm, illetve a tömör szerkezetű keverék előírása.



21. ábra: Smith-féle stabilométer [Ávár – Szentpéteri, 2010]

A vizsgálatot egy 97 mm átmérőjű és 203,2 mm magas, henger alakú próbatesten végzik. A próbatest testsűrűségének meghatározását követően a próbatestet perforált alaplemezre helyezik, és neoprém gumival veszik körül, majd 1 órán keresztül $24 \pm 1^\circ\text{C}$ -on kondicionálják. Ezután a próbatestet a nyomócellába csúsztatják, melynek fala neoprém gumi, nyomófej és a próbatest felső síkja közé szűrőpapírt és perforált lemezt helyeznek, majd kis kezdeti nyomással rászorítják a lemezeket a próbatest palástjára.

A próbatestre függőleges terhelést adnak $1,5 \text{ kp/cm}^2$ nagyságú lépcsőkben. A terhelési határ $0,7\text{-}10,0 \text{ kp/cm}^2$. A terhelési lépcsőket addig kell állandó értéken tartani, míg 1 perc alatta függőleges irányú összenyomódás értéke nem haladja meg a $0,025 \text{ mm}$ -t. Ezeket az adatokat feljegyzik, s a kapott értékekből görbét szerkesztenek. A koordináta rendszer függőleges tengelyén a függőleges nyomás, a vízszintes tengelyén az oldalnyomás értékeit tüntetik fel.

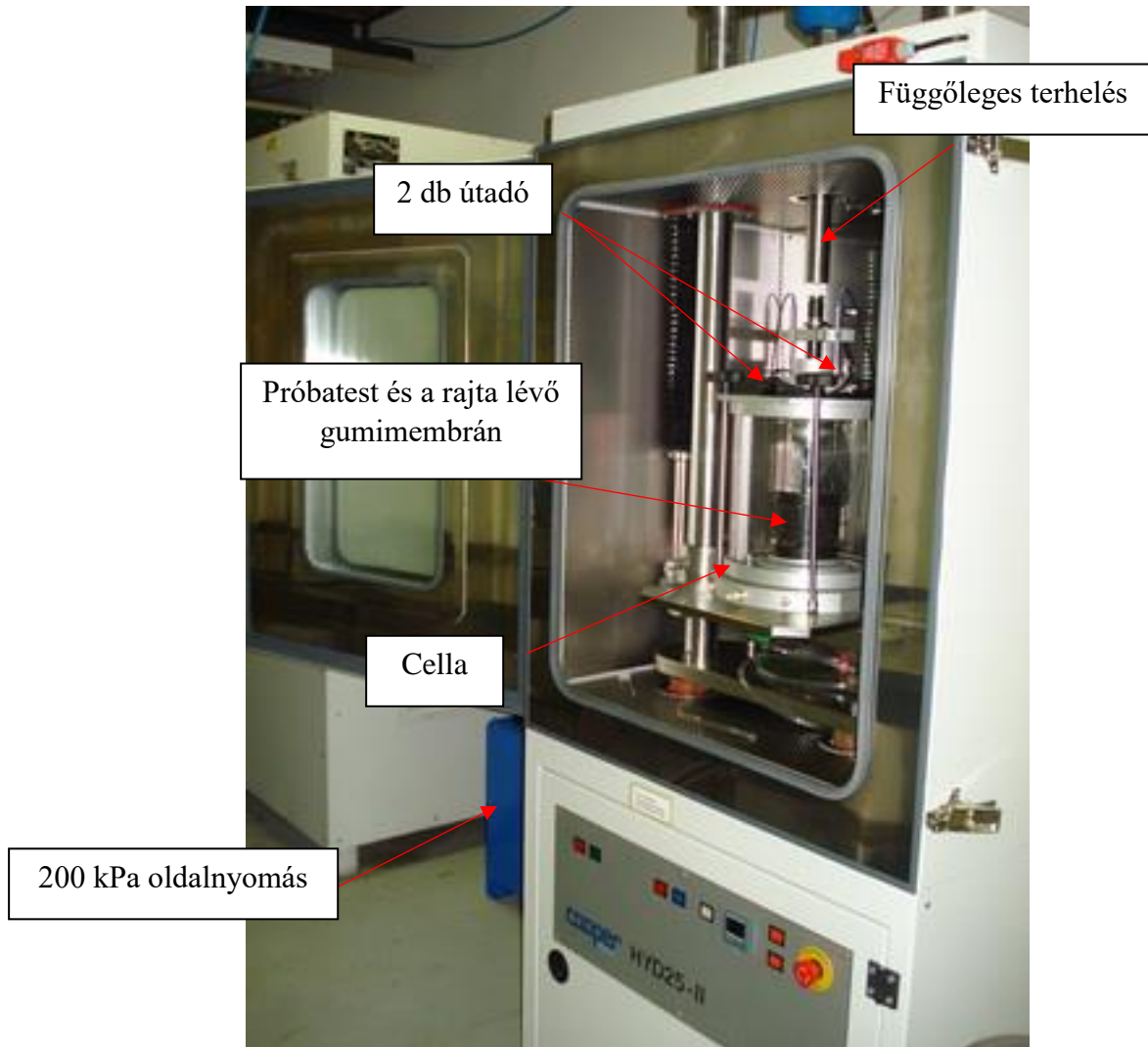


22. ábra: Smith-féle értékelő grafikon [Ávár – Szentpéteri, 2010]

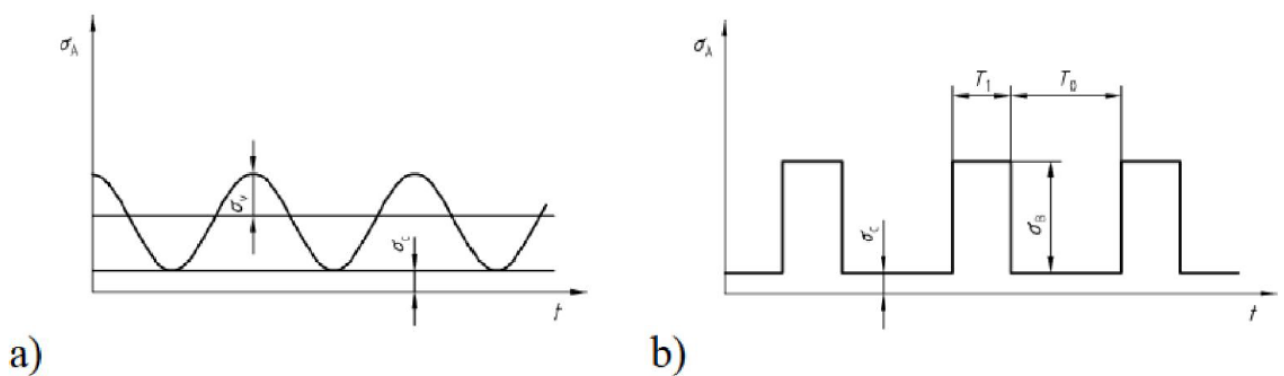
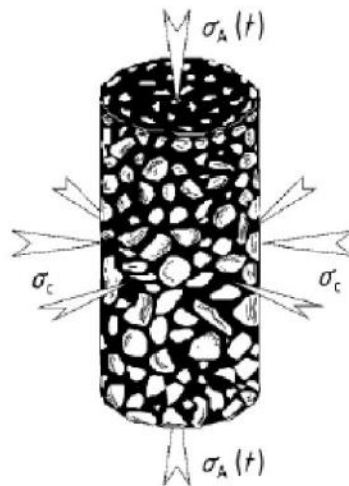
A görbe érintőjét meghosszabbítva elmetszik a függőleges tengelyt, a metszésponti értékből és az érintő tangenséből határozzák meg a keverék belső súrlódási szögét és a kohézióját, ezen értékek és a Smith-féle stabilitásvizsgálati grafikon segítségével minősítik az aszfaltkeveréket. [Ávár – Szentpéteri, 2010]

5.2.5 Ismételt terhelésű, triaxiális összenyomódási vizsgálat

Ezzel az eljárással egy henger alakú aszfalt próbatest maradó alakváltozásával szembeni ellenállását lehet meghatározni. Miután a mintát betemperálták, két, egymással párhuzamos tárcsa közé helyezik azt és ismétlődő függőleges irányú nyomást és oldalirányú cellanyomást helyeznek rá. Az ismétlődő tengely irányú nyomás szinuszos vagy derékszögű terhelési impulzus. A felső tárcsa átmérője 100 mm. A próbatest ismétlődő, tengelyirányú derékszögű terhelési impulzusnak van kitéve, nincs külön oldalirányú megtámasztó nyomás. A vizsgálat alatt a próbatest magasságváltozását folyamatosan mérni kell egy meghatározott számú terhelés után, ebből meghatározható a próbatest teljes tengelyirányú fajlagos alakváltozása a terhelési szám függvényében, melyek kúszásgörbén vannak feltüntetve. Ebből számíthatóak a próbatest kúszási jellemzői. Bár ez a vizsgálat nem alkalmas keréknyomképződés mennyiségi előrejelzésére, lehetővé teszi a különböző keverékek összehasonlítását, elfogadhatóságának ellenőrzését. [MSZ EN 12697-25:2005]



23. ábra: Triaxiális vizsgálóberendezés



24. ábra: Triaxiális vizsgálat feszültségadatai a) szinuszos tengelyirányú terhelés b) blokk-impulzusok, mint tengelyirányú terhelés [Blab, 2015]

6 Laboratóriumi vizsgálatok eredményei

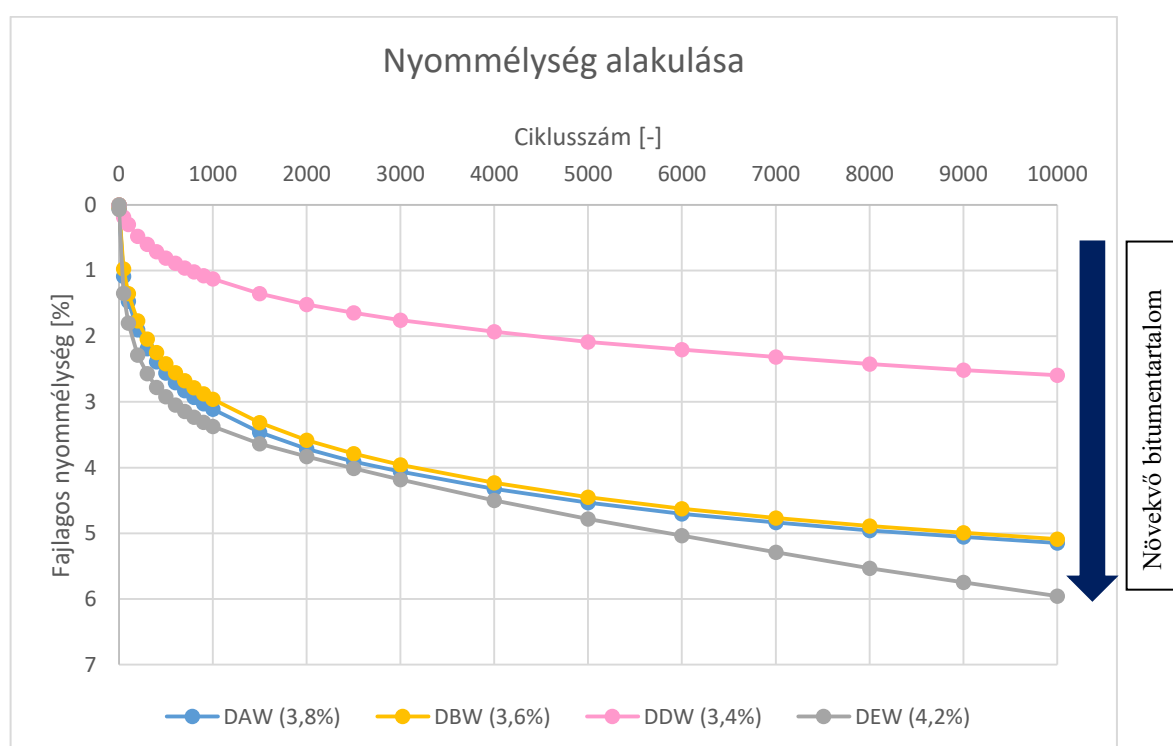
6.1 Kiskerekes nyomvályú vizsgálatok eredményei

A kiskerekes nyomvályú vizsgálatok a BME Út- és Vasútépítési Laboratóriumában készültek, a fenti fejezetben említésre került **MSZ EN 12697-22:2003** számú szabvány szerint. A vizsgálatok 10000 ciklusig tartottak. A mérések párhuzamosan történtek, vagyis egyszerre két, azonos bitumen tartalmú minta került a berendezésbe. A 10000 ciklus után mért fajlagos nyommélységeket az alábbi táblázatban összegeztem:

Kötőanyag tartalom	Fajlagos nyommélység átlaga [%]
3,4%	4,10
3,6%	5,09
3,8%	5,15
4,0%	9,52
4,2%	5,96

9. táblázat: Fajlagos nyommélységek 10000 ciklus után

Végül eredményeimet diagramon ábrázoltam.

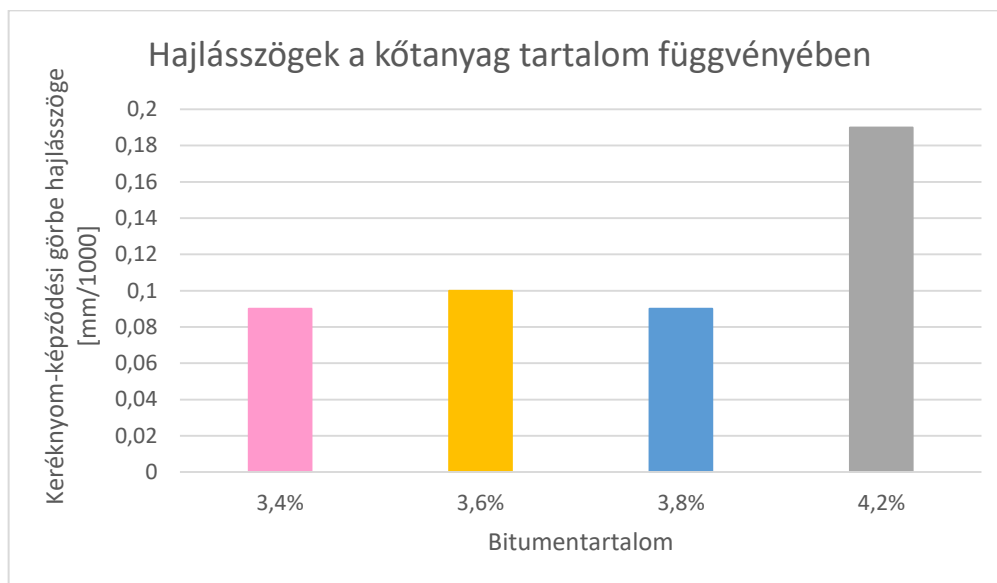


25. ábra: A fajlagos nyommélységek alakulása

A diagramon nem került feltüntetésre a 4%-os kötőanyag tartalomhoz tartozó eredmények. Ennek oka, hogy mind a dinamikus keréknyomnál, mind a további vizsgálatok során kiugró eltérést mutattak a többi adathoz képest, ami valószínűsíthetően a keverék elkészítésének pontatlanságának tudható be.

A 25. ábrán a fajlagos nyommélységeket tüntettem fel a ciklusszám függvényében, melyen jól látszik, hogy a kiskerekes nyomvályú vizsgálat során a legkisebb, azaz a 3,4%-os bitumentartalom adta a legalacsonyabb értéket. A fajlagos nyommélység a deformáció sebességét mutatja, így megállapíthatjuk, hogy a legkisebb bitumentartalmú próbatest deformálódik 10000 ciklus után a

leglassabban. Továbbá elmondható, hogy a bitumentartalom növekedésével növekszik a fajlagos nyommélység, ennek megfelelően a 4,2% adta a legmagasabb értéket.



26. ábra: Hajlásszögek a kötőanyag tartalom függvényében

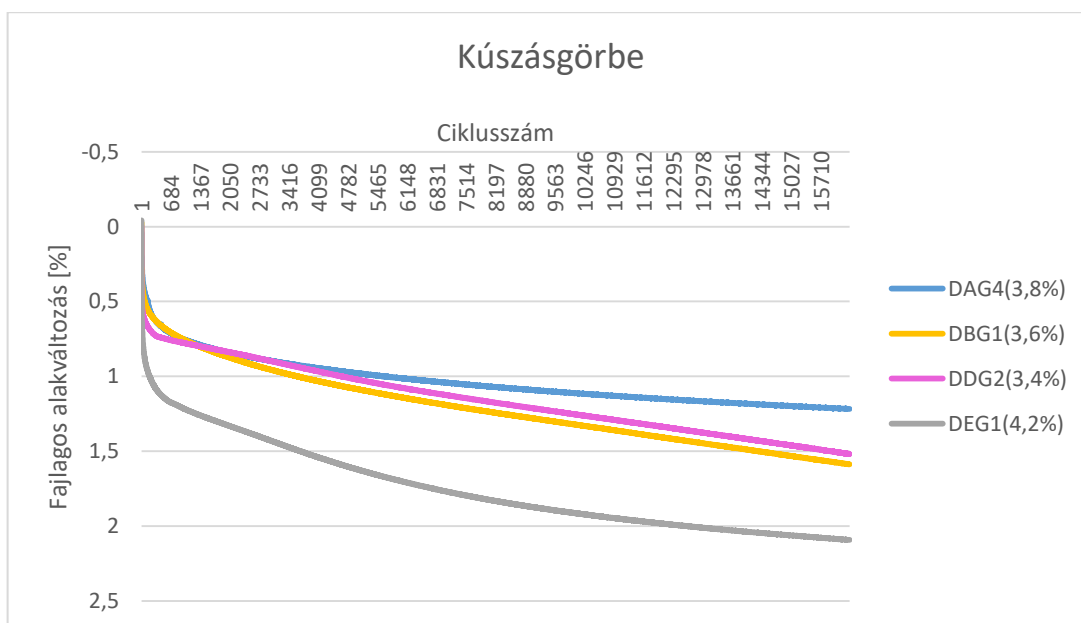
A 26.ábrán a keréknyom-képződési görbe hajlásszögeit tüntettem fel a bitumentartalom függvényében, melyről leolvasható, hogy a 3,4% és 3,8% ugyanolyan meredekséggel rendelkezik.

6.2 Triaxiális vizsgálatok eredményei

A vákuum triaxiális vizsgálatot minden keverék esetén, három próbatesten végeztem el. Az eredmények feltüntetésekor a 4%-os bitumentartalomhoz tartozó adatokat a dinamikus keréknyom eredményeinél már ismertetett ok miatt itt sem került feltüntetésre.



27. ábra: Tönkrement próbatest triaxiális vizsgálat után (4%)



28. ábra: Vákuum triaxiális vizsgálat során kapott kúszásgörbe

A fenti ábrán látható, hogy a triaxiális vizsgálat eredményei szerint a 3,8%-os kötőanyagú próbatestek fajlagos alakváltozása a legkisebb, szemben a kiskerekes nyomvályú vizsgálatnál, ahol a 3,4% adta a legalacsonyabb értéket.

A magas bitumentartalmú minták esetében a nyomvályúsodás hirtelen megnövekedésének mechanikai oka vélhetően a pórusnyomás kialakulása. Azzal, hogy a bitumennel kitöltött hézagokra nyomás jut – azaz kialakul a pórusnyomás – a semleges feszültség megnövekszik.

Ez Terzaghi törvénye szerint a nyírószilárdságot adó hatékony feszültség csökkenését okozza. A jelenség úgy is megfogalmazható, hogy a pórusnyomás által meggátolt további tömörödés miatt, a szemcsék közti belső súrlódás nem tud mobilizálódni, így a maradó alakváltozásokat megakadályozó nyírószilárdság lecsökken. [Sieler, 2010]

A fenti diagram alapján határoztam meg az **MSZ EN 12697-25:2005** szabvány szerinti a kúszási sebességet. Ehhez először minden bitumentartalom esetén meghatároztam a teljes tengelyirányú fajlagos alakváltozást az alábbi szabványban szereplő képlettel:

$$\varepsilon_n = 100 \times \left(\frac{h_0 - h_n}{h_0} \right)$$

Ahol:

ε_n a próbatest teljes tengelyirányú maradó fajlagos alakváltozása n számú terhelés után, százalékban (%)

h_0 a próbatest előterhelése után mért átlagos magasság, milliméterben (mm)

h_n a próbatest n számú terhelés után mért átlagos magassága, milliméterben (mm)

Ezután a kúszási sebességet számoltam ki minden egyen kötőanyag tartalomhoz. Ehhez a kúszásgörbe látszólag lineáris szakaszából a legkisebb négyzetek módszerével, lineáris regresszióval meghatároztam a meredekséget.

$$\varepsilon_n = A_1 + B_1 \times n$$

Ahol:

ε_n a próbatest teljes tengelyirányú maradó fajlagos alakváltozása n számú terhelés után, százalékban (%)

B_1 a látszólag lineáris szakasz meredeksége ($\mu\text{m}/\text{m}/\text{terhelési szám}$) egységben kifejezve

Ebből az f_c kúszási sebesség:

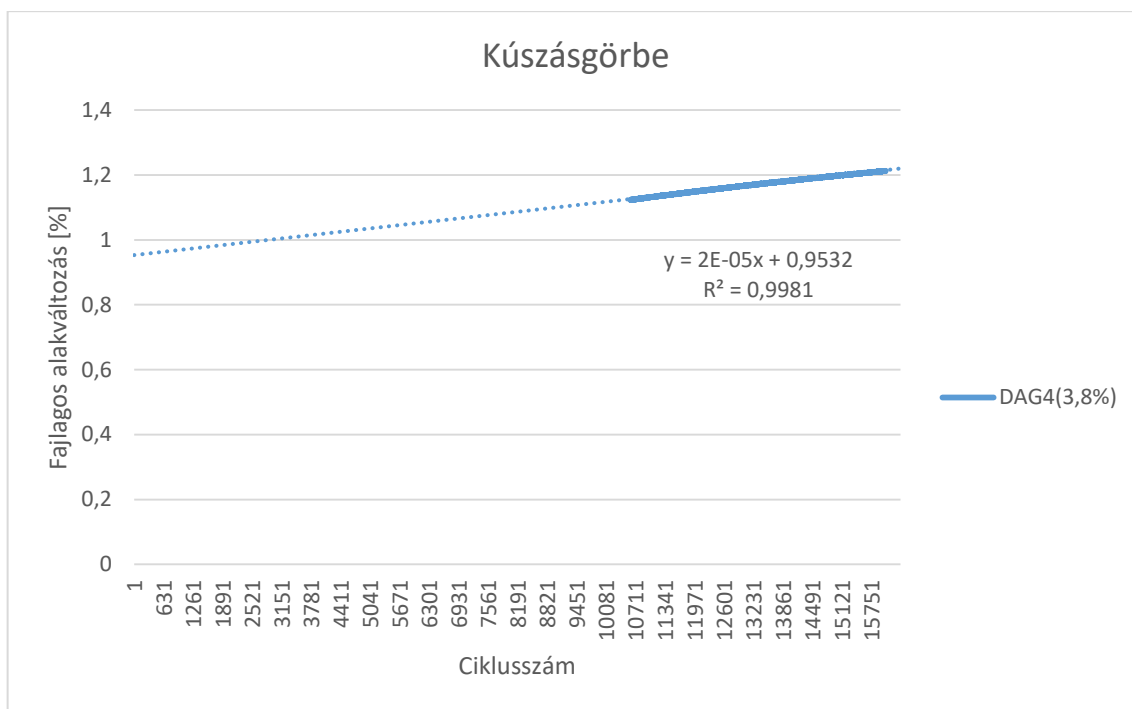
$$f_c = B_1 \times 10^4$$

Érthetőbbé téve a fentieket, bemutatom egy konkrét példával a számolás menetét. Ehhez a 3,8%-os DDA próbatestet választottam.

A teljes tengelyirányú fajlagos alakváltozáshoz meghatároztam a h_0 és h_n magasságokat a mérési eredményekből. DDA vizsgálati test eredeti magassága 98,0 mm volt, a 120 másodpercig tartó előterhelés után az úadók 0,0099 mm alakváltozást mértek, az ebből adódó h_0 paraméter 97,99 mm lett. A vizsgálat a próbaterhelést követően $n = 17613$ ciklusig futott, ez alapján a $h_{17613} = 96,79$ mm. A teljes tengelyirányú fajlagos alakváltozás a következőképp lett meghatározva:

$$\varepsilon_{17613} = 100 \times \left(\frac{97,99 - 96,79}{97,99} \right) = 1,225 \%$$

Ez után a kúszásgörbére lineáris egyenest illesztettem.



29. ábra: Lineáris regresszió

Így megkaptam a regressziós egyenletet 99,81%-os determinációs koefficienssel, mely alapján:

$$y = 0,2 \times 10^{-5}x + 0,9532$$

Ebből megkapjuk a B meredekség értékét, mely nem más, mint a 2×10^{-5} , ebből már meghatározható a kúszási sebesség:

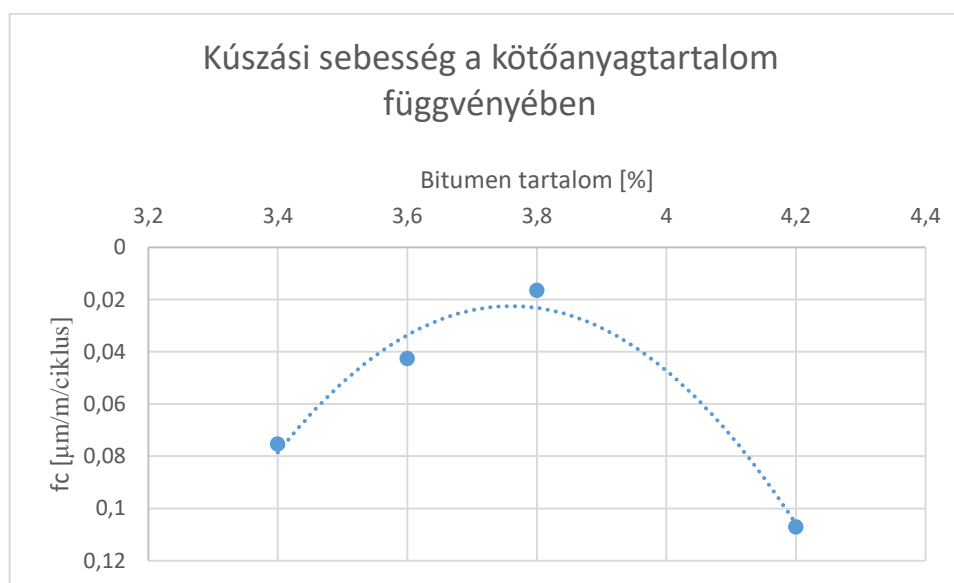
$$f_c = 2 \times 10^{-5} \times 10^4 = 0,2$$

A bitumentartalmakhoz tartozó kúszási sebességeket az alábbi táblázat tartalmazza:

Bitumentartalom (%)	Kúszási sebesség
3,4	0,08
3,6	0,04
3,8	0,02
4,2	0,10

10. táblázat: Kúszási sebesség adatok

A kúszási sebességeket ezek után a bitumentartalom függvényében diagramon ábrázoltam.

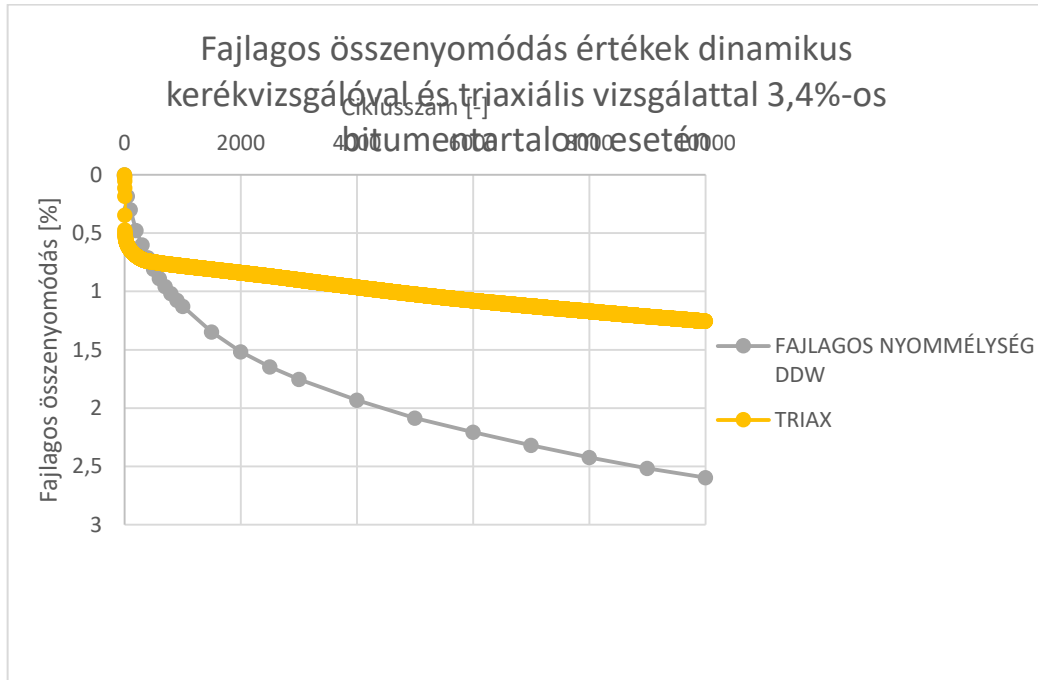


30. ábra: Kúszási sebességek a bitumentartalom függvényében

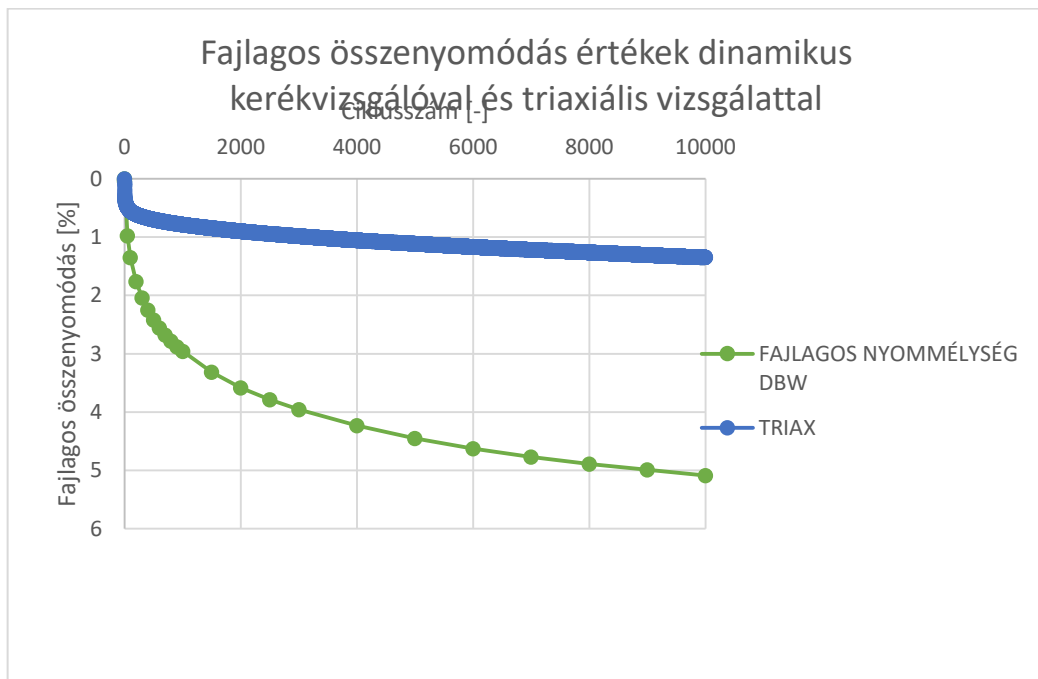
A fenti ábra is azt szemlélteti, hogy a 3,8%-os kötőanyag tartalmú keverék nyomvályúsodik a leglassabban triaxiális vizsgálatok esetén.

6.3 A kiskerekes nyomvályú és triaxiális vizsgálati eredmények összehasonlítása

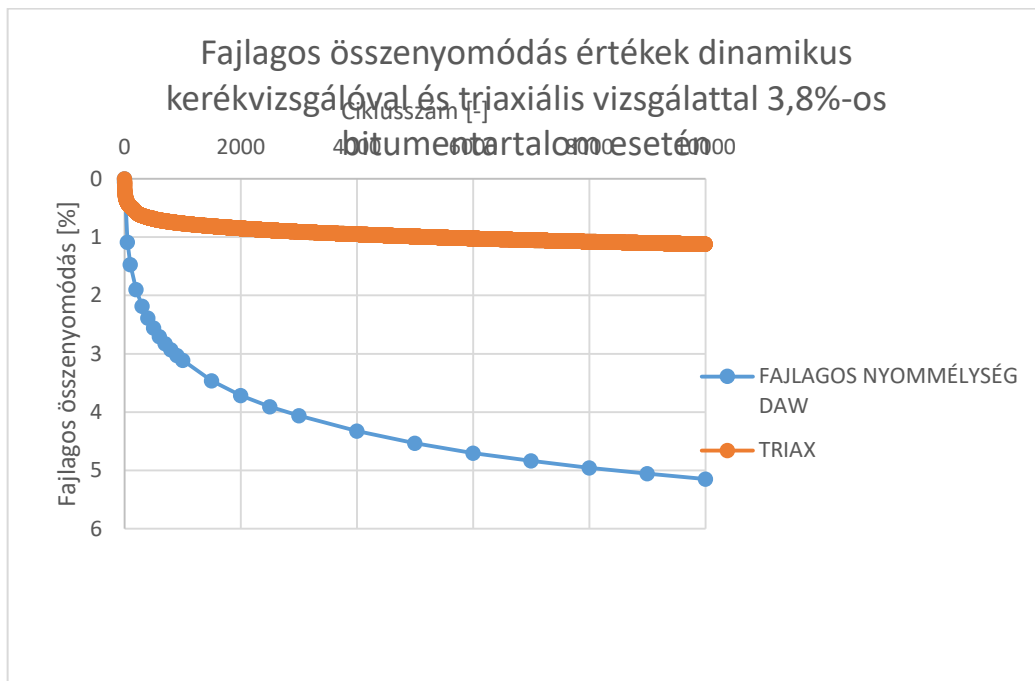
A fent szemléltetett eredmények alapján nincs 100%-os egyezés, hiszen míg a kiskerekes nyomvályú vizsgálatok során a 3,4% bitumentartalom eredményezte a legkisebb deformációkat, addig a triaxiális eljárás során a 3,8% mutatta a legideálisabb értékeket. Ennek oka szimplán annyi, hogy mind a két vizsgálat ugyanazt az anyagot vizsgálja, csak kicsit másképp. Ezért – jellemben, trendjében – hasonló eredményt adnak, bár nem ugyanazt, viszont nem számíthatóak át egymásba. Ennek szemléltetésére az alábbi diagramokon kívánom megmutatni a két vizsgálat fajlagos alakváltozási különbségeit.



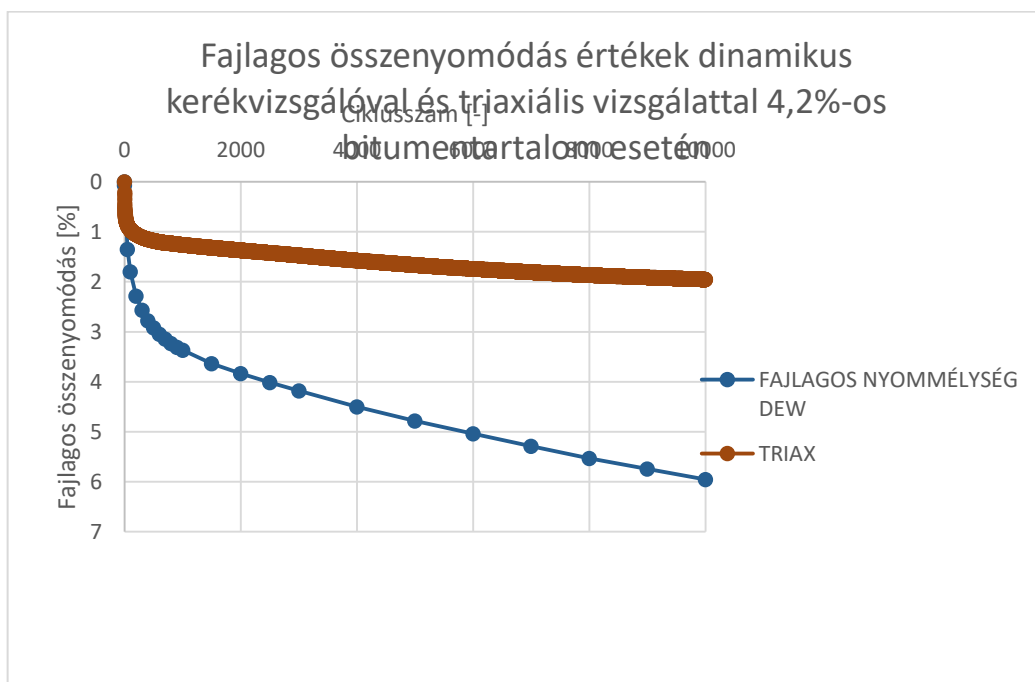
31. ábra: Fajlagos összenyomódás értékek kiskerekes és triaxiális vizsgálat esetén (3,4%)



32. ábra: Fajlagos összenyomódás értékek kiskeres és triaxiális vizsgálat esetén (3,6%)

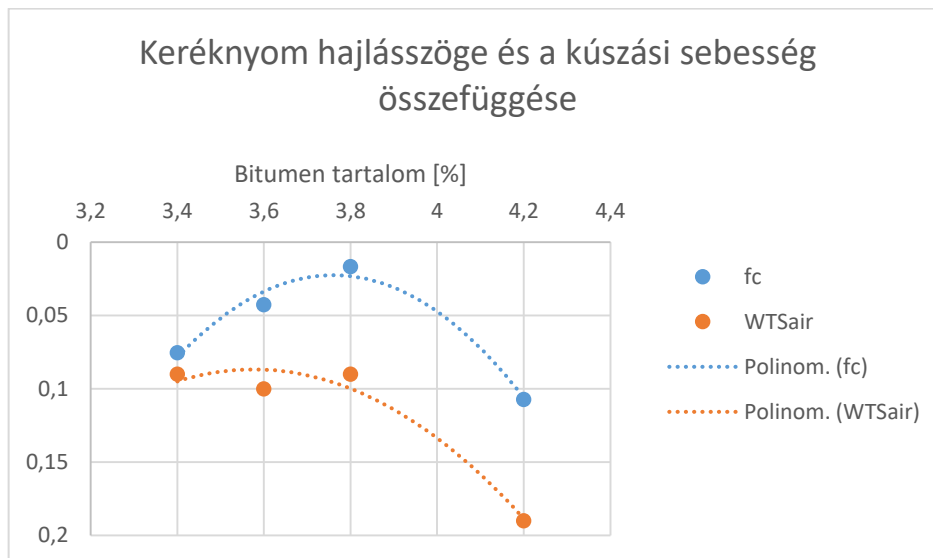


33. ábra: Fajlagos összenyomódás értékek kiskeres és triaxiális vizsgálat esetén (3,8%)



34. ábra: Fajlagos összenyomódás értékek kiskeres és triaxiális vizsgálat esetén (4,2%)

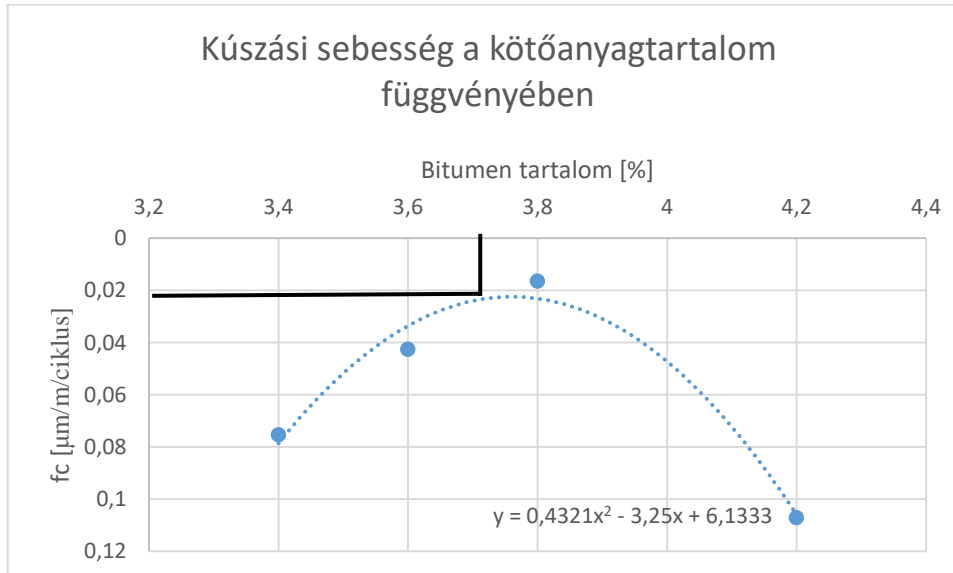
Az eltérő adatok oka a triaxiális vizsgálat során alkalmazott oldalnyomásból és a próbatestek geometriájának különbözőségéből adódik.



35. ábra: Keréknyom hajlásszöge és a kúszási sebesség összefüggése

A fenti ábrán látható a triaxiális eredményekből kapott kúszási sebességek és a dinamikus keréknyom vizsgálat hajlásszögeinek eredményei. Megállapítható, hogy az eredmények között nincs kapcsolat.

7 Optimális bitumentartalom meghatározása



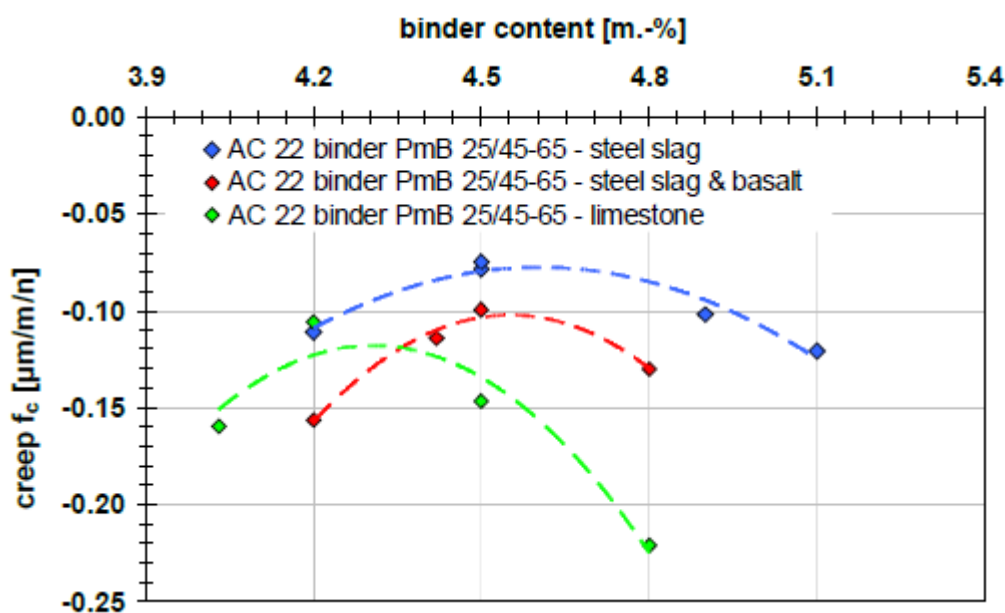
36. ábra: Kúszási sebességek a bitumentartalom függvényében

A fenti ábra szemlélteti, hogy bár a vizsgált bitumentartalmak közül a 3,8%-nak volt a legkisebb kúszási sebessége, a görbe legalacsonyabb pontja mégis ettől balra található, az optimum a 3,76%-nál van.

Felhasznált alapanyagok			
Ásványi anyagok	Megnevezés (szabványos)	Származási hely	Összetétel (m%)
	ML	Tatabánya	6
	NZ 0/4	Iszkaszentgyörgy	31
	NZ 4/11	Iszkaszentgyörgy	20
	NZ 11/22	Iszkaszentgyörgy	43
Kötőanyag	Megnevezés (szabványos)	Származási hely	Kötőanyagtartalom (m%)
	50/70	OMV	3,8
Adalékszerek	Megnevezés (szabványos)		Adagolás aránya (m%)

11. táblázat: Az Innoteszt Kft. típusvizsgálata szerinti bitumentartalom

Az Innoteszt Minőségvizsgáló, Technológiai és Fejlesztési Kft. a Marshall-féle keveréktervezés során 3,8%-os bitumentartalmat alkalmazott, vagyis az optimális kötőanyag tartalom ehhez képest körülbelül 0,1m%-kal alacsonyabb. Ez a kis eltérés csak az általam vizsgált keverékre igaz, más kutatás eredményei ennél nagyobb eltérést is mutattak.



37. ábra: Ronald Blab készési sebesség eredményei

Blab 2015-ös Teljesítményalapú aszfaltkeverékek és burkolattervezés című cikkében szintén egy AC 22 kötő keveréket vizsgált, de más kötőanyag tartalom tartományban, így az eredményeink számértékei is eltérők, melynek legfőbb oka nyilvánvalóan a keverékek közötti A konklúzióm összességében mégis hasonló, hiszen Blab az említett cikkében is 0,1-0,3 m%-kal alacsonyabb optimális bitumentartalmat kapott a Marshall-féle keveréktervezéshez képest.

8 Összefoglalás

Az aszfaltburkolatú pályaszerkezetek a nagy nyári hőmérséklet és a fokozott forgalmi terhelések hatására deformálódnak, mely napjaink egyik legnagyobb közúti problémája, csökkenti a forgalombiztonságot, valamint költségesen javítható. A nemzetközi és hazai kutatások során megállapították, hogy az útburkolatok maradó alakváltozásával szembeni ellenálló képességének javítása az aszfaltkeverékek teljesítményalapú paramétereinek mélyebb megismerésével és optimalizálásával lehetséges. A kutatásom célja a vizsgált keverék optimális bitumentartalmának meghatározása volt a pályaszerkezetben betöltött funkciója alapján adódó plasztikus alakváltozásra való hajlam, mint kritikus igénybevétel minimalizálását szem előtt tartva.

Az elkészült próbatesteket dinamikus keréknyomvizsgálóval és ismételt terhelésű, triaxiális vizsgálattal is terheltem. Az eredmények kiértékelése során a két vizsgálat hasonló eredményeket adott, de a próbatestek geometriájából és a terhelések eltéréséből adódóan mégsem ugyanazokat, így megállapítható, hogy nem számíthatóak át egymásba. Míg a keréknyomvizsgálat során kapott fajlagos nyommélység adatok növekednek a bitumentartalom emelkedésével, addig a triaxiális eredményeknél effajta kapcsolat jelen vizsgálati eredmények alapján nem mutatható ki.

A dolgozat megírásának kezdetekor az alapfeltevésem szerint a triaxiális vizsgálat során meghatározható optimális kötőanyag tartalomnak körülbelül 0,1 – 0,3m%-kal alacsonyabb értéknek kell lennie, mint a Marshall-féle keveréktervezés során adódónak. Esetemben ez a feltevés beigazolódott. Az Innoteszt Minőségvizsgáló, Technológiai és Fejlesztési Kft. által a típusvizsgálatban meghatározott 3,8%-os bitumentartalomhoz képest kutatásom során 3,7%-ot ítéltem az optimumnak.

További kutatásra ad okot a további teljesítményalapú paraméterek pályaszerkezetben betöltött funkciója alapján történő vizsgálata.

Aszfaltréteg	Merevség	Fáradás	Alacsony hőmérsékleten való viselkedés	Maradó alakváltozás
Kopóréteg	x	(x)	x	x
Kötőréteg	x	(x)	x	x
Alapréteg	x	x	(x)	(x)

12. táblázat: Az egyes paraméterek fontossága a kopó-, kötő-, illetve alaprétegekben [Blab, 2015]

Tapasztalatom szerint a megszokottnál valamivel kisebb kötőanyag tartalom esetén kaphatunk kedvező maradó alakváltozási ellenállást. A bitumentartalom lecsökkentése azonban önmagában még nem jelent megoldást, hiszen a kötőanyag tartalom csökkentésével várhatóan romlik a hidegviselkedésük, vízerzékenységük, valamint tartósságuk. Ahhoz, hogy optimális útburkolatok szülessenek, tudatos kőváz tervezésre van szükség.

Irodalomjegyzék

Ávár Vivien – Dr.Szentpéteri Ibolya: Plasztikus deformációs hajlam meghatározása kúszás, valamint vákuum triaxiális vizsgálatok segítségével, 2010

Dr.Füleki Péter: Aszfaltbeton keverékek fundamentális alakváltozási jellemzőinek kapcsolata a bitumenek teljesítményalapú paraméterével, 2013

Dr.Görög Péter: Triaxiális és közvetlen nyírószilárdság vizsgálat, 2015

Dr.Kisgyörgy Lajos: Utak, 2014

Dr.Nemesdy Ervin – Dr.Ambrus Kálmán – Dr.Pallós Imre – Dr. Török Kálmán: Az aszfaltkeverékek mechanikai, és fizikai tulajdonságainak laboratóriumi vizsgálatai, 2000

Dr. Tóth Csaba: Aszfaltkeverékek merevsége a terhelési idő, a hőmérséklet és a kőváz szemeloszlásának függvényében, 2010

Dr.Tóth Csaba – Dr.Primusz Péter – Dr.Szentpéteri Ibolya: Történelmi pályaszerkezetek, Útpályaszerkezet típusok, funkciók, 2015

MSZ EN 12697-22:2003: Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei, Keréknyomképződés

MSZ EN 12697-25: Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei

MSZ EN 13108-1:2006: Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások. Aszfaltbeton

Primusz Péter: Pályaszerkezet-gazdálkodás az erdészeti feltáróhálózatokon, 2012

Ronald Blab: Performance-based asphalt mix and pavement design, 2015

Sieler Tamás: Az aszfaltkeverék összetételének és plasztikus deformációs hajlamának vizsgálata kopóréteg keverék esetén, 2010

ÚT 2-3.302 Útügyi Műszaki Előírás: Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek, 2010

ÚT 2-3.301-1 Útügyi Műszaki Előírás: Útépitési aszfaltkeverékek, 2010