

2016.

AZ EXHAUST POR ADAGOLÁSÁNAK HATÁSA AZ ASZFALTKEVERÉKEK MECHANIKAI TULAJDONSÁGaira, AZ ALKALMAZÁS NÉHÁNY KÖRNYEZETVÉDELMI VONATKOZÁSA



Czipóth Éva

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi

Egyetem Út- és Vasútépítési Tanszék

2016. 10. 27.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Soós Zoltán témavezetőmnek, a TDK dolgozatom elkészítéséhez nyújtott segítségéért és tanácsaiért. Dr. Igazvölgyi Zsuzsannának, a dolgozat revíziójáért és útmutató tanácsaiért, továbbá Dr. Ambrus Kálmán, nyugalmazott egyetemi adjunktusnak a vizsgálatokkal kapcsolatos észrevételeiért, tanácsaiért.

Köszönettel tartozom a TPA HU Kft. munkatársainak, elsősorban Tóth József – laborvezető - és Ávár Vivien – aszfaltmechanikai egységvezetőnek – akik lehetővé tették, hogy a vizsgálatokhoz szükséges kőanyagokat és bitument a STRABAG Illatos úti keverőtelepéről időben megkapjam és a vizsgálatok már a nyáron a TPA HU Kft. laboratóriumában elkezdődhessenek.

Köszönettel tartozom továbbá mindkét laboratórium munkatársainak, Órfi Kálmán, Kocsis Domonkos, Kissné Nagy Éva, Laufer Anikó és Balogh László laboránsoknak, akik a TDK dolgozathoz szükséges vizsgálatok elkészülésében segítettek.

Tartalom

Ábrajegyzék.....	4
Táblázatjegyzék.....	5
1. Bevezetés.....	6
1.1. A kutatás célja	6
1.2. A vizsgálat tárgyát képező aszfaltkeverékek tervezési szempontjai	7
2. Aszfaltgyártás.....	10
2.1. Az aszfaltgyártás folyamata	10
2.2. Az exhaust por definíciója, változásai.....	11
2.2.1. Az útépitési alapanyagok bányaleírásai.....	11
2.2.2. Az exhaust por változásai.....	12
2.3. Környezetvédelmi vonatkozások.....	13
3. A felhasznált kőanyagalmazok vizsgálati módszerei	15
3.1. Sajtpor.....	15
3.1.1. Metilénkék vizsgálat (MSZ EN 933-9 szabvány alapján).....	15
3.1.2. A finomszem-tartalom meghatározása	16
3.1.3. A kőliszt anyagsűrűségének meghatározása.....	18
3.2. Mész-kőliszt.....	19
3.2.1. A metilénkék módszer eredményei	19
3.2.2. A finomszem-tartalom meghatározása	19
3.2.3. A kőliszt anyagsűrűségének meghatározása.....	21
3.3. A felhasznált zúzottkövek szemmegoszlása és anyag sűrűsége	22
4. A felhasznált kötőanyag vizsgálati módszerei	24
5. Aszfaltkeverékek vizsgálati eredményei	25
5.1. Vizsgált aszfaltkeverékek szemeloszlása, hézagmentes és Marshall testsűrűségei.....	25
5.2. Marshall próbatetek hasító-húzó szilárdság meghatározása	28
5.2.1. Vizsgálati eredmények:	29
5.3. Hasító-húzó vizsgálat hengeres próbatetekken (IT-CY).....	31
5.3.1. Vizsgálati eredmények:	32
5.4. Keréknyomképződés – Plasztikus deformáció vizsgálat.....	35
5.4.1. A vizsgálat menete	35
5.4.2. Vizsgálati eredmények	36
6. Összefoglalás.....	38
7. További kutatási lehetőségek	39

Ábrajegyzék

1. ábra Folyamatos üzemű aszfaltkeverő telep technológiai folyamata.....	10
2. ábra Sajátpor siló túlfolyóval	11
3. ábra Talajmechanikai vizsgálatok Szemeloszlás meghatározása hidrometrálással MSZ 14043-3:1979	17
4. ábra A mészkőliszt és az exhaust por szemmegoszlása légsugaras szitával	20
5. ábra Szemeloszlás meghatározása hidrometrálással - Szemeloszlási görbe	21
6. ábra Lágypont meghatározása MSZ EN 1427	24
7. ábra Aszfaltkeverékek szemeloszlás görbéje	26
8. ábra Nyomógép ITSR vizsgálatához.....	28
9. ábra Hasító- húzó szilárdsági tényező ábrázolása	30
10. ábra Hasító-húzó vizsgálat - vizsgálati eszköze	31
11. ábra Hasító- húzó vizsgálat eredményei összehasonlítás	34
12. ábra Keréknyomképző berendezés	35
13. ábra Fajlagos nyommélység középértékeinek összehasonlítása	37
14. ábra Nyommélység középértékeinek összehasonlítása	37
15. ábra A keverés hibái	38

Táblázatjegyzék

1. táblázat Kopóréteg aszfaltbetonok tervezési követelményei (ÚT 2-3-301-1).....	8
2. táblázat Aszfaltkeverék százalékos összetétele.....	9
3. táblázat 0/2 mm osztály metilénkék értéke	15
4. táblázat 0/0.125 mm osztály metilénkék értéke	15
5. táblázat A köliszt szemmegoszlása (MSZ EN 933-10:2009).....	16
6. táblázat Talajmechanikai vizsgálatok Szemeloszlás meghatározása hidrometrálással MSZ 14043-3:1979	17
7. táblázat Anyagsűrűség meghatározása piknométeres módszerrel MSZ EN 1097-7:2008...	18
8. táblázat A 0/2 mm osztály metilénkék értékei	19
9. táblázat A 0/0.125 mm osztály metilénkék értékei	19
10. táblázat A mészköliszt szemmegoszlása (légsugaras szita)	19
11. táblázat A mészköliszt szemeloszlásának meghatározása hidrometrálással (MSZ 14043-3:1979)	20
12. táblázat A köliszt anyagsűrűségének meghatározása - mészköliszt.....	21
13. táblázat Az aszfaltkeverékekhez felhasznált kőanyagok szemeloszlása és hézagmentes testsűrűsége	22
14. táblázat Lágyuláspont MSZ EN 1427	24
15. táblázat Penetráció MSZ EN 1426	24
16. táblázat Aszfaltkeverékek szemeloszlása.....	26
17. táblázat Az aszfaltkeverékek tulajdonságai.....	27
18. táblázat Hasító-húzó szilárdság eredmények I.	29
19. táblázat Hasító-húzó szilárdság eredmények II.....	29
20. táblázat Közvetett húzási merevség modulus vizsgálat - 7% mészköliszt + 0% sajátpor..	32
21. táblázat Közvetett húzási merevség modulus vizsgálat - 0% mészköliszt + 8% sajátpor..	32
22. táblázat Közvetett húzási merevség modulus vizsgálat - 4% mészköliszt + 4 % sajátpor.	33
23. táblázat Közvetett húzási merevség modulus vizsgálat - 5% mészköliszt + 2 % sajátpor.	33
24. táblázat Közvetett húzási merevség modulus vizsgálat - 2% mészköliszt + 6% sajátpor..	34
25. táblázat Keréknyomképződés vizsgálati eredmények MSZ EN 12697-22:2003+A1:2008	
9.3.2. pont.....	36

1. Bevezetés

1.1. A kutatás célja

Az aszfalt a leggyakrabban alkalmazott anyag az útpályaszerkezetek építésére. Az alapanyagok meghatározzák az aszfaltkeverékek minőségét, élettartamát, miközben az elsődleges nyersanyagok végesek. A gyártás folyamatában felhasználható zútotthomok, zúzottkő és zúzottkavics termékeken túl töltőanyagként csak a mészkőlisztet engedik a magyar előírások. Valamennyi aszfaltkeveréknél (kivéve zúzalékvázás masztixaszfalt) megengedett saját töltőanyag visszaadagolása is, de maximum a képződés arányában, de a visszaadagolás mértéke nem minden esetben kontrollálható. Az aszfaltgyártás során a kőanyagot szállítószalaggal a szárítódobba juttatják. Itt a működő szívás hatására a kőanyagon található finomszemcsék a porleszívó és porleválasztó berendezésbe kerülnek. Ez a működő elszívás egy szükségszerű eleme a gyártási folyamatnak. A szívás nélkül a szárítódob lángja nem lenne párhuzamos a szárítódob palástjával, ezzel akár kiegészítve a szárítódob oldalát. A kutatás célja az aszfaltgyártás során szükségszerűen elszívott por visszaadagolhatóságának vizsgálata az aszfaltkeverék töltőanyagaként.

Az aszfaltok gyártásához használható kőanyagalmazok minőségi követelményei keretszabályozást adó MSZ EN 13043 szabvány, illetve az e szabvány magyarországi értelmezését adó ÚT 2-3.601-1:2008 Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok útügyi műszaki előírás szerint az „f” jelölésű ún. „finomszem” valamely kőanyagalmaz 0,063 mm-es szita alatti része [1].

Az AC 11 kopó jelű aszfaltkeverékek gyártásához felhasználható ÚT 2-3.601-1:2008 szerinti termékek közül:

- az NZ 0/2; NZ 0/4; Z 0/4 és ZK 0/4 termékek, amelyek a zútotthomok kategóriába tartoznak (F jelű keveréktípusoknál csak NZ 0/2 és NZ 0/4 termékek használata megengedett)
- NZ 4/11, ZK 4/8, ZK 4/11, ZK 8/11, kivételes esetekben KZ 2/4, KZ 4/8, KZ 8/11 és KZ 11/16 típusú zúzottkőtermékek alkalmazása megengedett a normál igénybevételű kategóriában
- KZ 2/4, KZ 4/8, KZ 8/11 és KZ 11/16 zúzottkő termékek használhatók a fokozott igénybevételű kategóriában.

Az aszfaltkeverés során a szárítódobban működő elszívás következtében a kőanyagon található finomszemcsék – ez $D < 16$ mm névleges szemnagyságú aszfaltkeverékek esetében akár 4-5 m% is lehet – eltávoznak a szárítódobból és a porleválasztó berendezésbe kerülnek. A sajátport ezután silóba juttatják, majd elszállításra kerül. Keverőtelepektől függően különböző felhasználása létezik az elszállításra került poranyagoknak. A tatabányai keverőtelep esetében a sajátport visszajuttatják az adott kőanyag bányáiba, majd ennek a mennyiségnek megfelelő zútotthomokot (NZ 0/2, NZ 0/4 stb.) kapnak, melyet használhatnák további aszfaltkeverékek gyártására. Így ez kevesebb költséget jelent nekik, hiszen az aszfaltkeverék finomrészeért sokkal kevesebb költséggel jutnak hozzá.

Jelenleg a magyar előírás töltőanyagként kizárólag a mészkőliszt adagolását engedi, egyes aszfaltoknál minimális adagolási mennyiséget előírva. A mészkőliszt bányától függetlenül körülbelül ugyanolyan szemeloszlással és agyagásvány tartalommal rendelkeznek. Ez egyfajta biztonságot ad a keverésnél.

A mészkőliszttel ellentétben a sajátpor akár keverőtelepeken belül is változik, mely függ az aszfaltgyártáshoz felhasznált kőanyagtól, illetve annak szemeloszlásától. Azt nem lehet a jelenlegi keverőgépek mellett 100%-ig biztosítani, hogy a keverőtelepen a különböző tulajdonságokkal rendelkező exhaust por ne keveredjen össze, így alkalmazása nem ad minden esetben megfelelő minőségű aszfaltkeveréket. Különböző tulajdonságú sajátporról azért beszélhetünk, mert egy keverőtelep kizárólag nem egy fajta kőanyaggal illetve nem egy fajta aszfaltkeverékkel dolgozik. Egy kopóréteg esetében a finomrész sokkal tágabb határok között mozoghat.

A fentiekben vázoltak alapján e tanulmány választ keres arra, hogy töltőanyagtartalmat illetően, milyen mértékig alkalmazható egy véletlenszerűen levett saját por a keverés folyamatában. Ha a sajátpor visszaadagolhatóságát mérési eredményekkel alá tudnánk támasztani, akkor költséghatékonyabb megoldások születhetnének az aszfaltgyártás során. A kutatás során 5 fajta AC 11 kopó (F) keveréket vizsgáltunk. Az aszfaltkeverékek laboratóriumi körülmények között készültek, a kőanyagon található sajátpor eltávolítása nélkül. A keverékeken a szokványos aszfalt vizsgálatokon kívül (szemeloszlás, bitumentartalom, hézagmentes testsűrűség stb.) vízerzékenységet, hasító-húzó merevséget és keréknyomképződést vizsgáltunk.

1.2. A vizsgálat tárgyát képező aszfaltkeverékek tervezési szempontjai

A laboratóriumi aszfaltkeverékek típusának megválasztásánál az alábbi szempontokat vettem figyelembe:

- az aszfalttípus gyakran felhasznált típus legyen
- olyan típus legyen, aminél az erre vonatkozó előírás a finomszem tartalom határait a legtágabban értelmezi
- minél nagyobb adagolási különbség előállítása a mészkőliszt és a sajátpor között
- B 50/70-es bitumennel készíthető a kisebb keverési hőfok elérése érdekében
- a pályaszerkezet legfelső rétege legyen, amelynek a forgalmi és időjárási hatásokat közvetlenül kell viselnie

A fenti jellemzőket az ÚT 2-3.601-1:2008 szerint az AC 11 kopó (F) típus tökéletesen kielégíti, ennek az ÚT 2-3-301-1 szerinti követelményeit az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat Kopóréteg aszfaltbetonok tervezési követelményei (ÚT 2-3-301-1)

Megnevezés	AC 11 kopó (F)	Vizsgálati módszer
Szítaméret, mm	Átesett tömeg%	
16,0	100	MSZ EN 933-1 MSZ EN 12 697-2
11,2	90-100	
2,0	30-50	
0,063	6-10	
A kőanyagkeverékben:		
<ul style="list-style-type: none"> a mészkőliszt mennyisége legalább, tömeg% 	6	
<ul style="list-style-type: none"> homoktartományban a zútotthomok aránya, legalább, tömeg% 	100	
<ul style="list-style-type: none"> a 2,00 mm feletti részben a zúzott termékek aránya, legalább, tömeg% 	csak zúzott termékek képezhetik	
Kötőanyag: <ul style="list-style-type: none"> útépítési bitumen 	50/70	
Hézagtartalom, V% <ul style="list-style-type: none"> maximum, V_{max} 	4,5	MSZ EN 13 108-20 C.1.2 szerint 2x50 ütés MSZ EN 12 697-30 MSZ EN 12 697-6 MSZ EN 12 697-5, „A módszer vízzel” MSZ EN 12697 - 8
<ul style="list-style-type: none"> minimum, V_{min} 	2,5	
Vízérzékenység: legalább, ITR, %	80	MSZ EN 12 697-12, 15 °C
Maradó alakváltozás, legfeljebb, P %	7,0 5,0 ²⁾	MSZ EN 12 697-22 kiskerekű, „B” módszer levegőn, 60°C
Merevség, S, MPA	NR	MSZ EN 12 697-26
<ul style="list-style-type: none"> maximum S_{max} 	NR	
<ul style="list-style-type: none"> minimum, S_{min} 	megadandó	

Megjegyzés:

- Mészkőből vagy dolomitból származó kőanyag 0,063 mm-en áteső hányada mészkőlisztként vehető figyelembe
- NR: nincs követelmény

A kutatás alapvető célja a finomszem tartalom hatásának vizsgálata az aszfaltkeverékek adhéziós tulajdonságaira. Ennek megfelelően olyan standard aszfaltkeveréket terveztem, aminek 2,0 mm feletti része (az NZ 0/2-es anyagot kivéve) ugyanakkora adagolással készült. Mivel az NZ 0/2-es anyag adagolásánál figyelembe kellett azt is venni, hogy mennyivel növelné meg az aszfaltkeverék töltőanyag tartalmát, így két esetben eltértem a megszokott adagolástól

és 1%-al kevesebb került a keverékekbe. Ennek értelmében az aszfalt szemeloszlása 2,0 mm felett gyakorlatilag azonos, a változó értékek csak a finomszem tartalmat befolyásolják.

A kőanyag fajta kiválasztásánál figyelembe vettem a hézagmentes testsűrűség és agyag ásványtartalom különbségeket. Ezt iszkaszentgyörgyi és teplicky kövek esetében vizsgáltam. Sajátpor esetében keletkezett lényeges különbség az előzetes teplicky kőanyag vizsgálata alatt, az MB_F -érték 5,0 g lett a megszokott körülbelül 1,7 g-os érték helyett. Ez azt jelenti, hogy a sajátpor agyagásványtartalma eltér a mészkőlisztétől, hiszen mészkőliszt esetén a megszokott érték 1,7g körül szokott alakulni. Mivel teplicky kőanyaggal az Illatos úti keverőtelepen dolgoznak, ezért esett a választás a keverőtelepen felhasznált kőanyagokra és a keverőtelep sajátporára. Ezt az értéket a végül elkészült keverékek esetében nem sikerült visszahoznunk a sajátpor folyamatos változása miatt. Jelen keveréknél a sajátpor metilénkék vizsgálata 200 gramm 2 mm-es szitán átszítált anyagnál 0,8-as MB értéket mutat, míg a 30 gramm 0,125 mm-es szitán átszítált anyag 1,7-es MB_F értéket. A sajátpor e tulajdonsága hasonló volt a mészkőlisztéhez, csak a 200 grammos MB érték mutatott különbséget (mészkőliszt esetében 0,2 lett). Ezen kívül a mészkőliszt és sajátpor hézagmentes testsűrűségében sem tapasztaltunk különbséget (lásd. 2. táblázat). Részletesen ezt a „3. A felhasznált kőanyagalmazatok vizsgálati módszerei” című fejezet tartalmazza.

Az aszfaltkeverékek összetételét az alábbi 2. táblázat Aszfaltkeverékek százalékos összetétele tartalmazza.

2. táblázat Aszfaltkeverék százalékos összetétele

Megnevezés	Mészkőliszt	NZ 0/2	NZ 0/4	KZ 4/8	KZ 8/11	Sajátpor	Összetétel
Származási hely	Tatabánya	Teplicky	Teplicky	Teplicky	Teplicky	Illatos	
Hézagmentes testsűrűség (Mg/m^3)	2,72	2,67	2,67	2,69	2,68	2,75	2,69
Adagolás aránya	változó (0-7)	7-8	25	35	25	változó (0-8)	100

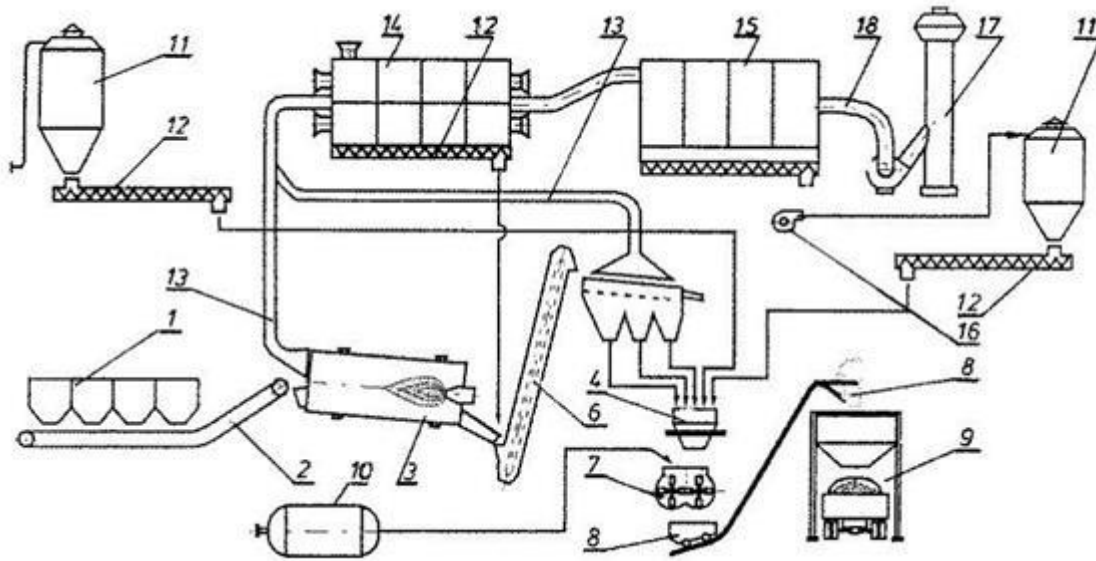
Aszfaltkeverék típusok:

- 7% mészkőliszt + 0% sajátpor
- 5% mészkőliszt + 2% sajátpor
- 4% mészkőliszt + 4% sajátpor
- 2% mészkőliszt + 6% sajátpor
- 0% mészkőliszt + 8% sajátpor.

Az aszfaltkeverékterveknél törekedtünk a minél nagyobb különbségek kialakítására. Fontos kihangsúlyozni, hogy a kőanyagokról szitálással vagy átmosással sajátpor eltávolítás nem történt, ezt nem vettük figyelembe a keveréktervek kialakításánál.

2. Aszfaltgyártás

2.1. Az aszfaltgyártás folyamata



1. ábra Folyamatos üzemű aszfaltkeverő telep technológiai folyamata

A meleg aszfaltkeverékek gyártása szakaszos vagy folyamatos üzemű keverőgépekben, keverőtelepeken történik. Ezek közül a folyamatos üzemű, telepített rendszerű keverőtelepekkel foglalkozom.

A komplex gépi berendezés a gyártás folyamán az alábbi feladatokat végzi:

- zúzalék és homokfrakciók előadagolása
- kőanyaghalmoz szárítása, melegítése, porelszívás
- rostálás (szakaszos keverő esetén)
- alapanyagok keverőtérbe adagolása
- keverés
- készanyag tárolása, melegen tartása [2]

A zúzottkövek, zúzott homokok tárolása elkülönítve a szemnagyságot, fajtát figyelembe véve silókban történik (1. előadagoló). A sorban telepített silók alatt futó szállítószalag (2. gyűjtő szállítószalag) szállítja az adalékanyagot a tervezett szemeloszlásnak feladó megfelelően a szárítódobba (3. szárító-keverődob), kivéve a mészkőlisztet. A szárítódobban működő égőfej lángja a dobban működő szívás hatására párhuzamos a dob palástjával, mely segítségével 170-200°C-ra melegítik az adalékanyagot.

2. ábra Sajátpor siló túlfolyóval



Eközben a kőanyagon található finomszemcsék eltávoznak a doból és a porleválasztó berendezésbe kerülnek. A porleválasztó és porelszívó berendezés feladata nem csak a szemcsék leválasztása, hanem a környezetvédelmi előírásokban meghatározott porkibocsátás szintjének betartása, illetve a szárításhoz szükséges légfesleg biztosítása. Az exhaust port ezután silóba juttatják, majd elszállításra kerül.

A meleg elevátor viszi fel az ásványi anyag keveréket a szárítódobból a vibrációs szitasorra. Az előadagoló bunkereket úgy kell működtetni, hogy a nyílásain azonos arányban menjen be az ásványi anyag időegység alatt a rendszerbe. Fontos, hogy szalagmérleggel ellenőrizzék a kifolyt anyag mennyiségét. A meleg rostáknál lévő túlfolyó védi a gépet attól, hogy túl sok anyag tudjon felgyülemelni [3].

A melegítés után a kőanyag - finomszemcse mentesen – frakciókra bontják, majd megfelelő tömegben a keverőteknőbe került. A keverőteknőben először száraz keveréssel keverik az ásványi anyagot és a mészkölsztet, majd nedves keveréssel a 20 atm nyomással bepermetezett bitument is hozzá keverik [3].

A keverési adagonként 30-60 másodpercig tart, ezután a kész keveréket felvonó pálya segítségével aszfalttároló bunkerekbe szállítják, ahonnan a teherautókba történő ürítés végezhető.

2.2. Az exhaust por definíciója, változásai

2.2.1. Az útépitési alapanyagok bányaleírásai

A Magyar Bányászati és Földtani Hivatal a 203/1998. (XII.19.) Korm. rendelet előírásainak megfelelően vezeti az ország ásványi nyersanyag nyilvántartását. Az adatok szerint 2008 környékén kezdődött pénzügyi válság következtében a termelés erősen visszaesett. Az addigi 100 millió tonna/év helyett a kitermelt kőanyag mennyisége 40 millió tonna/év alá esett Magyarországon. A bányászott anyagok közül az építőipari kavics használható, mint betonalkotó vagy útépitési alapanyag. 2011-2012 között, körülbelül 15-18 millió tonna volt az útépitésre szánt építőipari kavics kitermelése, ami az összes termelés (80 millió tonna) körülbelül 22%-a [4].

Magyarországi bányafajták:

- bazalt bányá
 ○ Uza bányá
- andezit bányák
 ○ Komló
 ○ Tállya
 ○ Nógrádkövesd
 ○ Dunabogdány
 ○ Recsk
- dolomit bányák
 ○ Kádárta
 ○ Iszkaszentgyörgy
 ○ Gánt

Jelen tanulmányban a keverékeimet teplicky kövekből készítettem. Teplicky, azaz magyarul Fornószeg Szlovákiában található körülbelül 300 fős település. A terület vulkanikus kőzetekben, andezitben gazdag. Ez a fajta kőanyag ideális minőségű akár autópályák építéséhez is [5].

Ezt kihasználva a STRABAG Illatos úti keverőtelepe a zúzalékvázás masztixaszfaltokat is ebből a kőanyagból készíti. A kőanyag tökéletes továbbá megfelelő minőségű kopórétegek kialakítására is.

2.2.2. Az exhaust por változásai

A keveréktervemet – kezdve a kőanyagvizsgálatokkal – a TPA HU Kft. budapesti laboregységében készítettem, így az ott található keverőtelep illetve a tatabányai keverőtelepen használt kőanyagokat vettem figyelembe. Az iszkaszentgyörgyi kőanyagot összehasonlítottuk a szlovák Teplicky kövekkel. Maga a kőanyag nem mutatott lényeges különbséget az aszfalt minőségét tekintve, kivéve a zúzott kövek sajátporának minősége. A metilénkék vizsgálat során a 0/0.125 mm-es osztály MB_F – értéke a megszokott 1,7 helyett 5,0-s kiugró eredményt mutatta.

A metilénkék érték szerinti besorolás akkor szükséges, ha az aszfaltkeverék finomrésztartalma 3-10% közé esik, amit az MSZ EN 933-9 „Kőanyaghalmozok geometriai tulajdonságainak vizsgálata 9. rész - A finomszemtartalom meghatározása. Metilénkék módszer” című előírás alapján végezzük. Magyarországon nincs előírás az MB vagy MB_F értéket illetően [6].

A Colas Északkő Kft. központi laboratóriumának vizsgálatai ugyanezt a bizonytalanságot támasztották alá, mint amit a mi vizsgálataink is mutattak. A sajátporok metilénkék értékeink kívül a hézagmentes testsűrűségük is különbözik a mintavételek időpontja alapján. Ez azt eredményezheti, hogy az első keverésnél még túl sok mészköliszthez hasonló tulajdonsággal bír, így az aszfaltkeverék tulajdonságai a megengedett határértéken belül lesznek. Viszont a sajátporok minősége bányánként meglehetősen változó, de akár bányákon belül a minőség sem mindig állandó.

Ha időközben más kőanyagot is használt a keverőtelep, vagy más aszfaltkeverék típust készítettek, akkor akár 0,5 mg/m³ is lehet a mészköliszt és a sajátpor testsűrűségei között a

különbség. Így akár azt is előidézhetjük, hogy az aszfaltkeverék minősítő vizsgálata során az aszfaltkeverék mintánk nem felel meg az aszfalt minőségi előírásoknak [6].

A felhasználás vagy helyettesítés tekintetében a mészköliszt és a sajátpor között nem minden esetben van lényeges különbség. Általánosságban a tatabányai mészköliszt légsugaras szitán készített szemeloszlása 89%-a átesik a 0.063-as szitán, sajátporok tekintetében ez az érték viszont csak 77% körül mozog. A vizsgálati módszerről részletesen a 3.1.2.1. „A köliszt szemmegoszlása (légsugaras szitálás)” című pontban részletesen beszélek.

Ezzel ellentétben a hidrometrálással meghatározott szemeloszlás a mészköliszt tekintetében csak 81,1 %-ot mutat. Hidrometrálást elsősorban szemcsés talajok vizsgálatánál alkalmazunk. Jelen vizsgálatban, azért készítettük el ezt a fajta szemeloszlást is, hogy lássuk, mekkora különbség van a 0,063 mm-es szitán átesett részek között. A vizsgálatot részletesen a 3.1.2.2. „A köliszt szemmegoszlása (hidrometrálás)” című fejezetben ismertetem.

Lényeges sűrűségi különbség nem figyelhető meg az anyagok között. A probléma abban rejlik, hogy egy folyamatos üzemű keverőtelep esetében nem feltétlenül csak egyfajta aszfaltot, egyfajta kőanyaghalmazzal készítenek. Ez eredményezi a sajátporok duzzadó agyagásványtartalmának folyamatos változását, ami szinte követhetetlen a valóságban. Ennek értelmében a vizsgálataim alapján egyértelmű eredmény nem jelenthető ki, csak és kizárólag ebben az esetben, ezekkel a paraméterekkel.

2.3. Környezetvédelmi vonatkozások

Az aszfaltkeverés során a sajátpor a szárítódobhoz csatlakozó porelszívó és porleválasztó berendezésbe kerül. E rendszer feladata a környezetvédelmi előírásokban megengedett porkibocsátás szinten tartása, valamint a szárításhoz szükséges légfesleges biztosítása. Ennek ellenére a levegőbe kerülnek különböző méretű finomszemcsék.

A levegőbe kerülő szilárd halmazállapotú, 2 mm-nél kisebb szemcseméretű poranyagok légszennyezést és környezetkárosító hatást okoznak.

Ezek lehetnek:

- A finom eloszlásban leülepedő porszemcsék közvetlenül szennyezik a környezetet.
- A növényekre lerakódva csökkentik a fotoszintézist.
- Az állatok élelmével kapcsolatba kerülve tompítja az állatok szaglász és ízérzékelését.
- Az emberi szervezetre egészségkárosító hatása lehet, ami kezdetben alig észlelhető. A megbetegedés tünetei leggyakrabban már csak akkor jelentkeznek, ha visszafordíthatatlan egészségkárosodást okoznak [7].

A porártalmak jelentkezési formái:

- A bőrön keresztül (pl. allergiás tünetek),
- Táplálkozás útján (gyomor- és bélrendszeri ártalmak)
- Légzőszerveken keresztül (szilikózis).

A felsorolt környezeti ártalmak előfordulása nagymértékben függ a kibocsátott por koncentrációjától, melynek megengedett felső határértékeit a védettségi körzetektől függően környezetvédelmi előírások rögzítik.

A légszennyezés ellen kétféleképpen lehet védekezni:

- Aktív védekezésnél a légtérbe jutó szennyezőanyagok mennyiségét csökkentik. Ez a gyártási eljárások és gyártási folyamatok megváltoztatásával, zárttá tételével, automatizálásával, valamint speciális védelmi eszközök beépítésével valósítható meg.
- Passzív védelemnél a szennyezők mennyiségét nem csökkentik, de olyan állapotban (pl. felhígítva, zagyosítva), vagy olyan magasságban (kémény, kürtő) vezetik ki a szabadba, hogy az a talaj közvetlen közelében már ne okozhasson a megengedettnél nagyobb légszennyezést [7].

Környezetvédelmi szempontból természetesen a két módszer közül az aktív védelmet kell előnyben részesíteni a porszerű anyagokkal kapcsolatos műveletek zárttá tételével, és a megfelelő hatékonyságú porleválasztó berendezések beépítésével. Az aszfaltkeverő telepek porelszívó rendszerébe minden olyan gépegység légtérbe van kötve, ahonnan ásványi por kerülhet a levegőbe (szárítógép, meleg elevátor, osztályozógép stb.).

Mivel 100 tonna aszfaltkeverék gyártása során körülbelül 5-6 tonna sajátpor keletkezik, így a keverési folyamat során illetve a túlfolyón keresztül is távozik sajátpor. Ezt zárt keverőtelepek esetében védőfelszereléssel felszerelt emberek távolítják el.

A leválasztott finom szemcsés poranyag silókba kerül, ahonnan nagy részét (körülbelül az adagolási arányban szereplő mészköliszt 50%-a helyett) „saját fillerként” visszajuttatják a gyártási folyamatba.

A vizsgálat abban az esetben, ha bizonyítható valamilyen összefüggés az aszfaltkeverékek minőségi jellemzőinek valamint a sajátpor és mészköliszt használat között, a sajátpor felhasználásának növelésével a környezet terhelése csökkenthető. Nem elhanyagolhatók továbbá a gazdasági szempontok sem, mivel a sajátpor elhelyezése és elszállításai is költségként merül fel.

3. A felhasznált kőanyag-halmazok vizsgálati módszerei

3.1. Sajtópor

3.1.1. Metilénkék vizsgálat (MSZ EN 933-9 szabvány alapján)

A módszer lényege, hogy a vizsgálandó anyag szuszpenziójához megfelelő időközönként metilénkék oldatot adagolunk, az adagolás során pedig szűrőpapíron ellenőrizzük a szabad festék jelenlétét.

Az MB-érték vizsgálatánál 200g exhaust port szitáltam át a 2,0 mm-es szitán. Egy főzőporhárba 500 ml desztillált vizet vagy ioncserélt vizet tettem, majd hozzákevertem az előkészített anyagot. Ezt 600-as fordulaton 5 percig kevertem, majd a bürettából 5ml metilénkék oldatot adagoltam hozzá és a fordulatszámot 400-ra csökkentettem. 1 perc után üvegpálcával a szűrőpapírra csepegtettem. Ezt addig kell percenként ismételni, amíg egy gyűrű nem alakul ki, jelezve a duzzadó agyagásványok jelenlétét. Ha ezt a gyűrűt megjelenés után 5 percig képes megtartani, akkor végére értünk a vizsgálatnak. Ha ez viszont nem következik be és eltűnik, 5ml festéket adagolunk hozzá és az eljárást egészen addig folytatjuk, míg a világoskék kör 5 percen keresztül látható marad. [8]

Az MB_F érték az abszorbeált festék mennyiségéből adódik:

$$MB = \frac{V_1}{M_1} * 10 \quad MB_F = \frac{V_1}{M_1} * 10$$

Ahol:

M_1 a vizsgált adalékanyag tömege [g]

V_1 a bejuttatott festékanyag térfogata [ml] [9]

3. táblázat 0/2 mm osztály metilénkék értéke

Vizsgálati eredmények	
Bemért száraz anyag tömege (g)	200
Kaolin által abszorbeált festékanyag mennyisége (ml)	
Adagolt festékoldat mennyisége (ml)	15
MB-érték, a 0/2 mm osztály 1 kg-jára eső festékanyag mennyisége (g)	0,8

4. táblázat 0/0.125 mm osztály metilénkék értéke

Vizsgálati eredmények	
Bemért száraz anyag tömege (g)	30,0
Adagolt festékoldat mennyisége (ml)	5
MB_F – érték, a 0/0.125 mm osztály 1 kg-jára eső festékanyag mennyisége (g)	1,7

A jelenleg alkalmazott sajtápor duzzadó agyagásványtartalma hasonlít a mészkőliszt agyagásványtartalmához, így e vizsgálat alapján nem mutat különbséget a két anyag alkalmazása.

3.1.2. A finomszem-tartalom meghatározása

3.1.2.1. A kőliszt szemmegoszlása (légsugaras szitálás)

A vizsgálat során körülbelül 50g vizsgálati adagot mérünk be. A vizsgálatához szükséges a szitasoron található 0.063, 0.125 és 2.0 mm-es lyukbőségű szita illetve a vákuumot és elszívást képező légsugaras szita használata. A bemért teljes tömeget 0.063 mm-es szitán 2 percen keresztül a készülékbe helyezzük, ugyanígy a fennmaradt anyagot a 0.125 mm-es majd a 2.0 mm-es szitán. Két mérést végzünk, hogy a mérési hibát csökkentjük.

5. táblázat A kőliszt szemmegoszlása (MSZ EN 933-10:2009)

Vizsgálati adag tömege [g]	1. mérés		2. mérés		Átesett tömeg [%]
	54,3		53,0		
Szita méret	Fennmaradt tömeg [g]	Fennmaradt tömeg [%]	Fennmaradt tömeg [g]	Fennmaradt tömeg [%]	
2.0	0	0	0	0	100
0.125	6,9	12,7	6,7	12,7	87
0.063	12,7	23,4	12,3	23,3	77

3.1.2.2. A kőliszt szemmegoszlása (hidrometrálással)

Hidrometrálással különböző méretű szemcséket ülepítünk ioncserélt vagy desztillált vízben. A folyadékban a szemcsék különböző sebességgel ülepednek mérettől függően. A vizsgálatot az MSZ 14043-3:1979 3.4. pontja alapján végeztem.

Az ülepedés sebessége függ:

- szemcseátmérőtől
- szemcse testsűrűségétől
- folyadék sűrűségétől
- folyadék viszkozitásától

A vizsgálatához 30g mennyiséget eredeti nedves állapotban kimérünk. Ezzel párhuzamosan meghatározzuk a minta víztartalmát és ennek ismeretében kiszámítjuk a hidrometráláshoz szükséges száraz tömeget. Az eredeti nedves mintából desztillált vagy ioncserélt víz segítségével szuszpenziót állítunk elő, majd fokozatosan elkeverjük. A koagulálás megakadályozására a szuszpenzióhoz diszpergáló anyagot adunk.

A hidrometrálás előtt a szuszpenziót felrázjuk, majd a sűrűségmérőt a stopperóra egyidejű indításával a hengerbe helyezzük és a megadott időközönként leolvassuk. A szemmegoszlási görbét a Stokes-törvény alapján határozzuk meg, az alábbi képlettel:

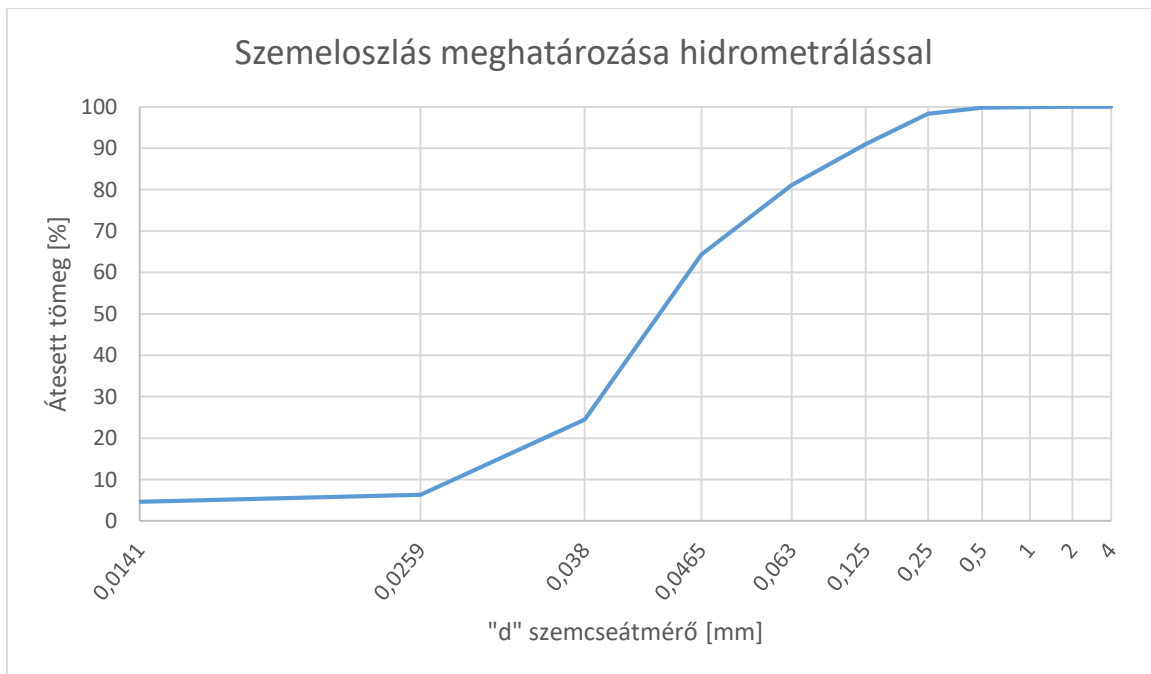
$$S\% = \frac{100}{m_s} * \frac{s}{p_s^{-1}} * (R+m-100)$$

ahol:

- m_0 a felhasznált anyag száraz tömege [g]
- $R = 1000 * (r' + c - 1)$
- r' a sűrűségmérőn leolvasott érték
- c a meniszkus korrekció
- m a hőmérséklet korrekció

6. táblázat Talajmechanikai vizsgálatok Szemeloszlás meghatározása hidrometrálással MSZ 14043-3:1979

Szitaméret [mm]	2	1	0,5	0,250	0,125	0,063	0,0465	0,0380	0,0259	0,0141	Cu D60/D10
Átesett tömeg [%]	100	99,9	99,8	98,3	91,0	81,1	64,3	24,5	6,3	4,6	1,61



3. ábra Talajmechanikai vizsgálatok Szemeloszlás meghatározása hidrometrálással MSZ 14043-3:1979

3.1.3. A kőliszt anyagsűrűségének meghatározása

A vizsgálat során tömegállandóságig szárítjuk a vizsgálandó anyagot, majd a kihűlt mintát csomómentesen átszítalunk a 0.125 mm-es szitán minimum 50 gramm anyagot. 3 különböző kalibrált piknométerbe körülbelül 10 g anyagot mérünk majd 35 percre vákuumexszikkátorba helyezük. Az eredeti légnyomás elérése után feltöltjük mérőfolyadékkal (desztillált víz vagy ioncserélt víz) és dugó nélkül 60°C-os vízfürdőbe helyezük. 60 perc elteltével a dugót rá kell helyezni, mely következtében a kapillárison mérőfolyadék, esetlegesen vizsgálandó anyag is eltávozhat. Ezt letörölve lemérjük, végül lemérjük a tömegét, mellyel már a sűrűség könnyen számítható. Az eredményeket a 6. táblázat „Anyagsűrűség meghatározása piknométeres módszerrel MSZ EN 1097-9:2008” című táblázat tartalmazza.

7. táblázat Anyagsűrűség meghatározása piknométeres módszerrel MSZ EN 1097-7:2008

A kőliszt anyagsűrűségének meghatározása – Piknométeres módszer			
Száraz, üres piknométer tömege [g]	55,649	59,050	58,384
Piknométer térfogata [ml]	52,15	50,89	53,12
Piknométer + kőliszt tömege [g]	65,734	69,053	68,491
Piknométer + kőliszt + vízzel teli tömege [g]	114,071	116,167	117,796
A víz sűrűsége, 25°C-on [mg/m ³]	0,99707		
Kiszámolt sűrűség [mg/m ³]	2,747	2,750	2,754
Sűrűség átlag 25°C-on [mg/m³]	2,750		

3.2. Mészköliszt

3.2.1 A metilénkék módszer eredményei

A vizsgálat módszerét az előzőekben a 3.1.1. „Metilénkék vizsgálat (MSZ EN 933-9:2009) pontban már ismertettem.

A mészköliszt esetében az alábbi eredményeket kaptam:

8. táblázat A 0/2 mm osztály metilénkék értékei

Vizsgálati eredmények	
Bemért száraz anyag tömege [g]	215
Kaolin által adszorbeált festékoldat mennyisége [ml]	
Adagolt festékoldat mennyisége	5
MB-érték	0,2

9. táblázat A 0/0.125 mm osztály metilénkék értékei

Vizsgálati eredmények	
Bemért száraz anyag tömege [g]	30,0
Adagolt festékoldat mennyisége [ml]	5
MB_F-érték	1,7

Az eredmények alapján látható, hogy a mészköliszt és a sajátpor duzzadó agyagásványtartalma körülbelül megegyezik.

3.2.2. A finomszem-tartalom meghatározása

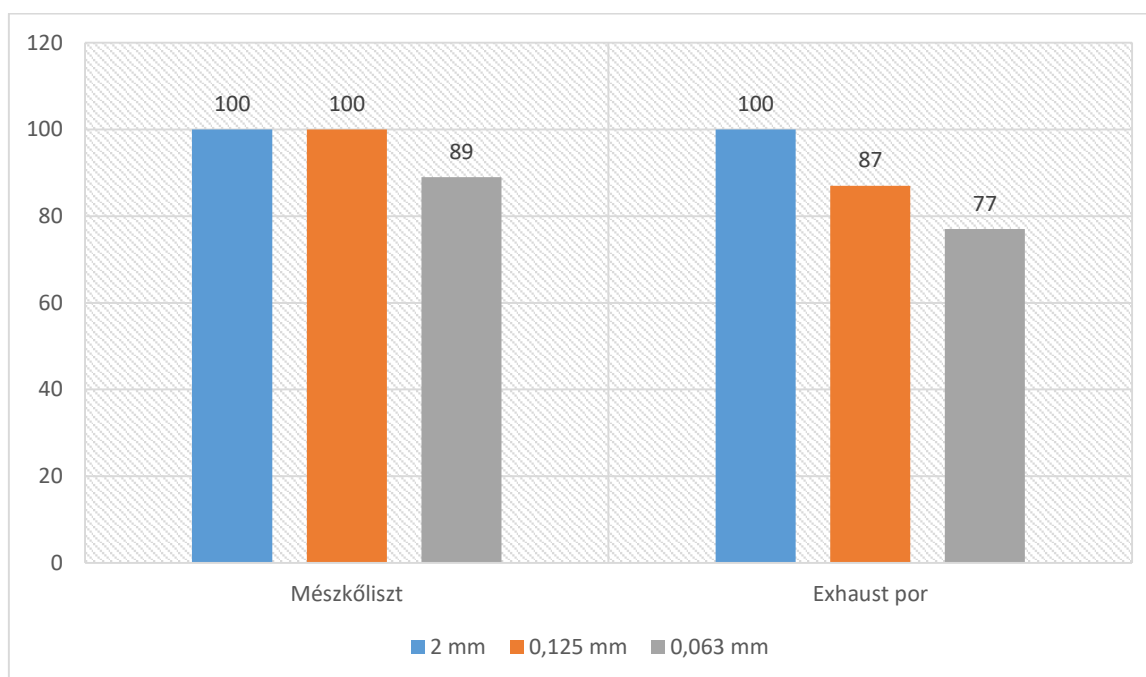
3.2.2.1. A köliszt szemmegoszlása (légsugaras szitálás)

10. táblázat A mészköliszt szemmegoszlása (légsugaras szita)

Vizsgálati adag tömege [g]	1. mérés		2. mérés		Átesett tömeg [%]
	53,6		53,0		
Szita méret	Fennmaradt tömeg [g]	Fennmaradt tömeg [%]	Fennmaradt tömeg [g]	Fennmaradt tömeg [%]	
2.0	0	0	0	0	100
0.125	0,2	0	0,4	1	100
0.063	5,8	11	5,83	11	89

A köliszt szemmegoszlásának meghatározását légsugaras szitával az előzőekben a 3.1.2.3. „A köliszt szemmegoszlása (légsugaras szitálás) című fejezetben ismertettem.

4. ábra A mészkőliszt és az exhaust por szemmegoszlása légsugaras szítával



A diagramon látszik, hogy a mészkőliszt valamivel finomabb szemcsemérettel rendelkezik, mint a sajátpor. A 0,063 mm-es szítán a mészkőliszt esetében a bemért anyag 89% átesett, míg a sajátpor esetében ez csak 77% volt. A különbség miatt elvégeztük a szemmegoszlás meghatározását hidrometrálással is. Ezt a 3.2.2.2. „Szemeloszlás meghatározása hidrometrálással” című fejezetben ismertetem.

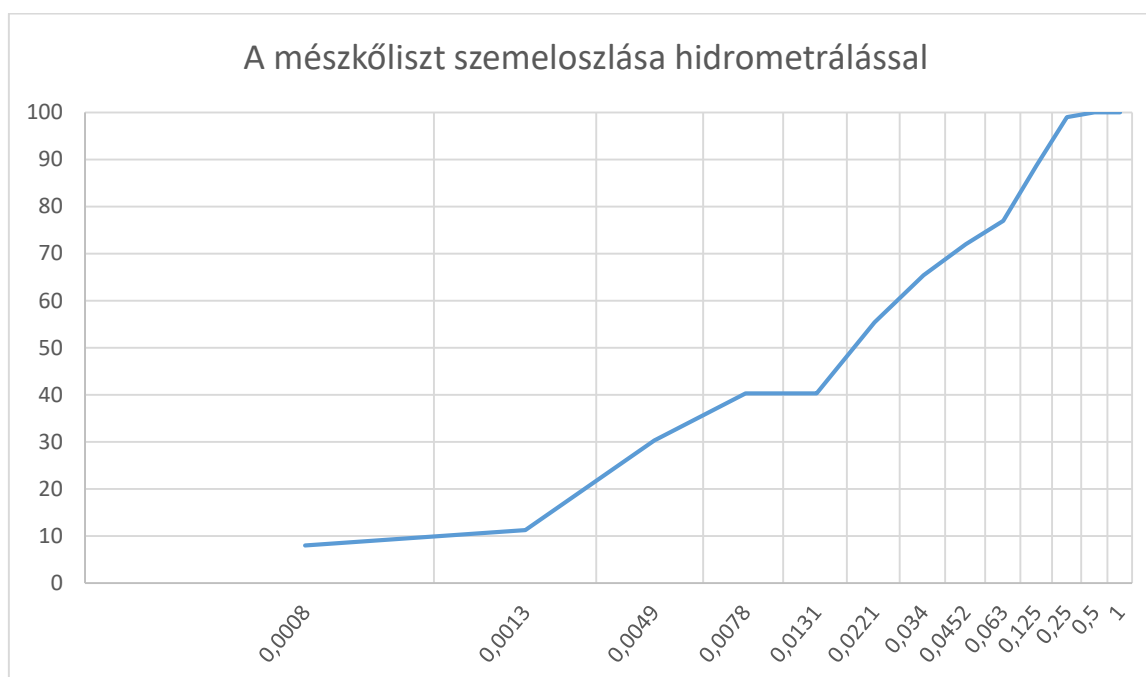
3.2.2.2. Szemeloszlás meghatározása hidrometrálással

Az előzőekben a 3.1.2.3. „A kőliszt szemmegoszlása (hidrometrálással)” című fejezetben már ismertetett módszerrel elvégeztük a mészkőliszt szemeloszlás meghatározását is az MSZ 14043-3:1979 3.4. pontja alapján.

11. táblázat A mészkőliszt szemeloszlásának meghatározása hidrometrálással (MSZ 14043-3:1979)

Szítaméret [mm]	0,5	0,250	0,125	0,063	0,0452	0,0340	0,0221	0,0131	0,0078	0,0049	0,0130	0,0008	Cu D60/D10
Átesett tömeg [%]	100	99,0	88,7	77,0	72,0	65,4	55,4	40,3	40,3	30,3	11,3	8,0	17,0

5. ábra Szemeloszlás meghatározása hidrometrálással - Szemeloszlási görbe



A sajátpor és a mészkőliszt hidrometrálását összehasonlítva ellenkező eredményt kapunk. A 0,063-as szitán mészkőliszt esetében 77,0% esett át, míg sajátpor esetében 81,1%. Ez a különbség a kisebb méreteknél is fennáll. A különbség mégis olyan kicsi, hogy az aszfaltkeverék tervezésénél a 0,063 mm-es szita alatti rész szemeloszlását nem vesszük figyelembe.

3.2.3. A kőliszt anyagsűrűségének meghatározása

A vizsgálat módszerét a 3.1.3. „A kőliszt anyagsűrűségének meghatározása” című fejezetben már ismertettem. A sűrűség (7, 12. táblázat) nem mutat különbséget a mészkőliszt és a sajátpor között.

12. táblázat A kőliszt anyagsűrűségének meghatározása - mészkőliszt

A kőliszt anyagsűrűségének meghatározása – Piknométeres módszer			
Száraz, üres piknométer tömege [g]	55,649	59,050	58,384
Piknométer térfogata [ml]	52,15	50,89	53,12
Piknométer + kőliszt tömege [g]	65,692	69,089	68,457
Piknométer + kőliszt + vízzel teli tömege [g]	113,996	116,141	117,728
A víz sűrűsége, 25°C-on [mg/m ³]	0,99707		
Kiszámolt sűrűség [mg/m ³]	2,711	2,713	2,719
Sűrűség átlag 25°C-on [mg/m³]	2,715		

3.3. A felhasznált zúzottkövek szemmegoszlása és anyag sűrűsége

13. táblázat Az aszfaltkeverékekhez felhasznált kőanyagok szemeloszlása és hézagmentes testsűrűsége

Szita méret [mm]	Átesett tömeg [%]			
	NZ 0/2	NZ 0/4	KZ 4/8	KZ 8/11
0,063	9,0	9,9	1	0
0,125	17	16	1	0
0,250	30	24	1	0
0,500	46	34	1	0
1	70	49	1	0
2	98	68	2	0
4	100	95	6	0
5,6	100	100	54	0
8	100	100	99	21
11,2	100	100	100	97
16,0	100	100	100	100
Anyag sűrűsége [mg/m ³]	2,667	2,668	2,685	2,680

A vizsgálat végrehajtásához az MSZ EN 933-1 Kőanyagalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata című előírást vettem alapul.

A különböző kőanyagalmazokból mintát veszünk, majd tömegállandóságig szárítjuk. Ezt követően a már kiszárított anyagból lemérjük a vizsgálni kívánt adagot, majd szitasorozat segítségével különböző csökkenő szemmagyságú halmazokra osztjuk.

Az eljárás NZ 0/2 és NZ 0/4 mosásból és száraz szitálásból állt. Itt a vizsgálati adagot elegendő vízzel átmoszuk, ezzel elérve, hogy a finomrészek teljesen szétválasszódjanak. A megmosott anyagot tömegállandóságig kell szárítani, majd a kiszárított anyagot szitaoszlopba önteni. A szitaoszlopot kézzel vagy mechanikus úton rázni kel, ezután a szitákat a legnagyobb szitanyílásúval kezdve egyenként kézzel átszitálni. A különböző tömegeket a vizsgálati jegyzőkönyvre fel kell jegyezni, majd ebből számítással előállítható az anyag szemeloszlása.

A KZ 4/8 és KZ 8/11-es zúzottkő esetében csak szárazeljárást használunk. A vizsgálati eljárás innentől megegyezik az előző bekezdésben ismertetett eljárással.

A számítás során az átesett tömeg [%] értékének előállításához a következő képletet alkalmazzuk:

$$\text{Átesett tömeg [\%]} = 100 - (R_i/M_1 \times 100)$$

ahol

R_i a fennmaradt anyag tömege [g]

M_1 az összes szitán fennmaradt anyag tömege [g] (ideális esetben, ha nincs veszteség ez a bemért tömeg [g])

Az anyagsűrűség meghatározását piknométeres módszerrel végezzük. A kalibrált piknométerbe körülbelül 1000-1500 g vizsgált anyagot helyezünk. Ezután a piknométer és a száraz anyag tömegét lemérjük, majd feltöltjük desztillált vagy ioncserélt vízzel és 5 percre vákuum alá helyezzük.

Ezután a piknométert légmentesen lezárjuk, feltöltjük további oldószerrel figyelve arra, hogy a vizsgált mennyiségbe ne kerüljenek légbuborékok, majd vízfürdőbe helyezük. Miután a bemért anyag elérte a 24°C-ot lemérhetjük a tömegét. Ezután az alábbi képlettel számítható az anyag sűrűsége:

$$S'_{AD} = \frac{GA}{VA} = \frac{M4 - M2}{V * \left[\frac{M5 - M4}{SK1} \right]}$$

ahol

SK1	az oldószer sűrűsége
M2	a piknométer tömege
M4	a piknométer+anyag tömege
GA	a bemért anyag tömege (GA=M4-M2)
M5	a pinométer+anyag+oldószer tömege
VA	a bemért anyag térfogata (VA = V*[(M5-M4)/SK1])

4. A felhasznált kötőanyag vizsgálati módszerei



6. ábra Lágyuláspont meghatározása
MSZ EN 1427

A vizsgált kötőanyagunk MOL 50/70-es bitumen, melyet tartálykocsiból vettek a beérkezés napján.

Az MSZ EN 1427:2007 1. pontja a bitumenes kötőanyagok 28-150°C közötti lágyuláspontjának meghatározására egy gyűrűs golyós lágyuláspont vizsgálati módszert ír elő. Kétperemes, sárgaréz gyűrűbe öntött és formára vágott bitumenes kötőanyagból készített mintákat (folyadékfürdőbe) helyezünk. A folyadékfürdő lehet ioncserélt víz vagy frissen forralt desztillált víz, ami azért lényeges, mert melegítés hatására levegőbuborékok alakulhatnak ki, amik a mintához tapadva befolyásolhatják a mérés eredményét.

Folyamatosan melegítés mellett a korongok felületére egy-egy acélgolyót helyezünk. Lágyulásponton azt a pontot adjuk meg, amelyen a bitumenes kötőanyag annyira meglágyul, hogy az acélgolyók 25,0±0,4 mm mélyre süllyednek.

14. táblázat Lágyuláspont MSZ EN 1427

Súlyváltozás előtti vizsgálatok:		
Lágyuláspont [°C]:		
	1.	2.
Lágyuláspont érték [°C]	50,2	50,4
Átlag [x]:	50,4	
Megengedett terjedelem [°C] 80°C-ig ±1°C és 80°C fölött ±2°C	1	
Tényleges terjedelem	0,2	

Az MSZ EN 1426:2007-es szabvány alapján végeztük a bitumenes kötőanyag túpenetráció meghatározását. Penetrációnak azt a konzisztenciát nevezzük, amely egy szabványos méretű tű függőleges irányba való behatolásának a távolsága az adott hőmérsékletű mintába, előírt terhelési időtartam alatt, tizedmilliméterben kifejezve. [10]

A vizsgálathoz egy 55 mm átmérőjű mintatároló edényt használunk, melybe előzőleg a bitumenes kötőanyagból mintát készítettünk. A minta magassága minimum 35 mm kell, legyen. Az előkészített, pihentetett mintákat (pihentetés során figyelni kell arra, hogy a mintába légbuborékok ne kerüljenek) 1 órára állandó hőmérsékletű (25°C) vízfürdőbe helyezzük. Az egy óra leteltével a mintatároló edényt mérési pozícióba helyezzük, majd elvégezzük rajta 3 különböző ponton a tűpróbát. A mérést a mérési hibák kiküszöbölése érdekében még egy ugyanolyan mintán meg kell ismételni azonos személy által, ugyanazon a készüléken.

15. táblázat Penetráció MSZ EN 1426

Súlyváltozás előtti vizsgálatok:

Penetráció: 25°C-os (0,1 mm)			
	1.	2.	3.
Penetráció értéke [0,1 mm]	59	60	59
Átlag [x]:	59		
Megengedett terjedelem [°C]	2		
Tényleges terjedelem:	1		

5. Aszfaltkeverékek vizsgálati eredményei

5.1. Vizsgált aszfaltkeverékek szemeloszlása, hézagmentes és Marshall testsűrűségei

A vizsgálatokhoz 5 fajta AC 11 kopó (F) 50/70 jelű aszfaltkeveréket készítettem. A keverékterv készítésénél figyelembe vettem a felhasznált kőanyagok szemeloszlását. Keverésenként 41 kg-nyi aszfaltkeverék került előállításra, 5,1%-os bitumentartalommal.

Először előkészítésre kerültek a kőanyagok, melyeket tömegállandóságig szárítottunk. A már kiszárított anyagot $\pm 0,1\text{g}$ pontossággal adagoltuk a keverőgépbe, majd megfelelő hőfokra melegítettük (150°C). Miután a kőanyaghalmoz elérte a minimális 150°C -ot, hozzáadtuk az 5,1%-os bitumentartalom eléréséhez szükséges bitumenmennyiséget is. A keverési folyamat végeztével lapátokba mértük a Marshall próbatestekhez szükséges mennyiséget, majd bemérésre került a hézagmentes testsűrűséghez, szemeloszláshoz és keréknyomképződéshez szükséges aszfaltkeverék mennyisége is. A keverőgép megfelelő tisztítása után akár azonnal kezdődhetett a következő aszfaltkeverék előállítása.

Az aszfaltkeverékek szemmegoszlásának meghatározásához szükséges ásványi anyagot extrahálással állítottuk elő az MSZ EN 12697-1-2006 Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverékek vizsgálati módszerei című előírás alapján. Miután az ásványi anyagokról leoldásra került az oldható kötőanyagtartalom, a vizsgált mennyiséget lehűtjük szobahőmérsékletre. Ezután szitasor alkalmazásával meghatároztuk az aszfalt szemeloszlását.

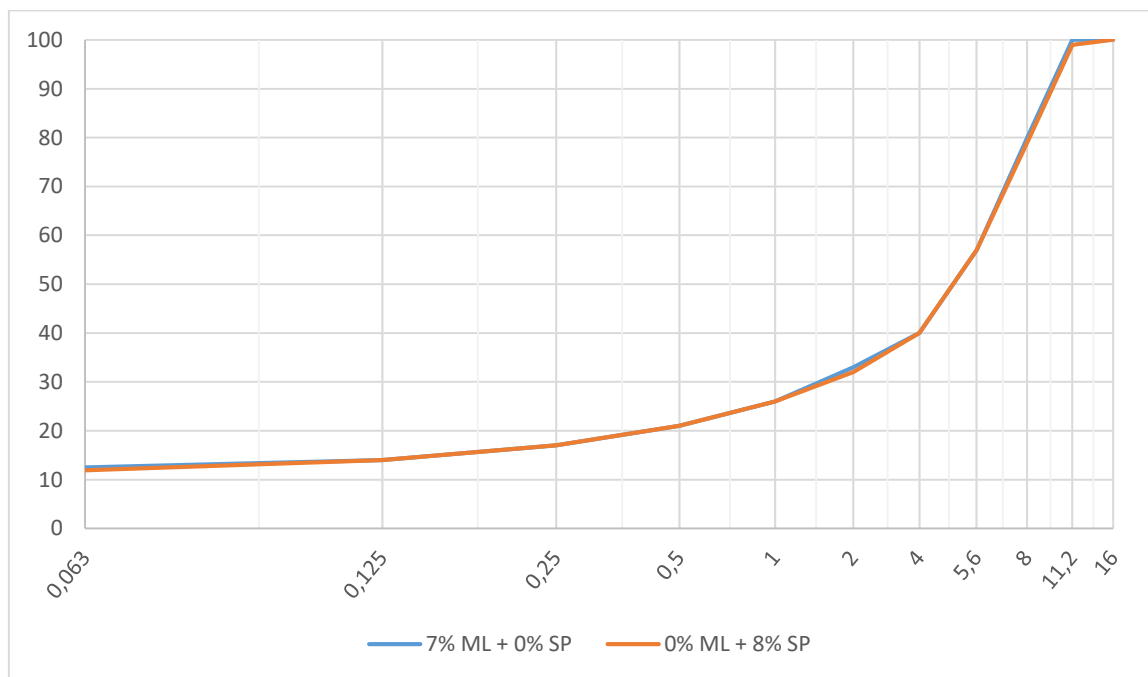
Az extrahálással egyidőben érdemes a hézagmentes testsűrűség vizsgálatának előkészítése az MSZ EN 12697-5 előírás alapján. A hézagmentes testsűrűség vizsgálatát az előzőekben a „3.3. A felhasznált kőanyaghalmozok szemmegoszlása és anyagsűrűsége” című fejezetben ismertettem.

Miután a Marshall próbatestek elérték a megfelelő hőmérsékletet a szárítószekrényben. Az előmelegített aszfaltkeverékeket formahengerbe adagoljuk, ezután következik a próbatestek döngölése. A próbatestek felső oldalát 50 ütéssel döngöljük majd a formát megfordítva újabb 50 ütéssel mérünk az alsó oldalára is. Mintakinyomó segítségével a kész próbatesteket kinyomjuk a formahengerekből, majd szobahőmérsékletre hűtjük. Ezután lemérjük a minták száraz tömegét, majd 23°C -os vízfürdőbe helyezük. 30 perc elteltével $\pm 0,05\text{g}$ pontos kalibrált mérleggel lemérjük a víz alatti és víz feletti minta tömegét. A lemért tömegekből számítható a Marshall próbatestek testsűrűsége.

16. táblázat Aszfaltkeverékek szemeloszlása

Sziták	Aszfaltkeverékek				
	7% Mészkelet 0% Sajápor	0% Mészkelet 8% Sajápor	4% Mészkelet 4% Sajápor	5% Mészkelet 2% Sajápor	2% Mészkelet 6% Sajápor
0,063	12,5	12,1	13,6	12,5	11,9
0,125	14	14	15	14	14
0,250	17	17	18	17	17
0,50	21	20	22	21	21
1,00	26	25	27	26	26
2,00	33	32	34	32	32
4,00	40	39	41	39	40
5,60	57	56	59	54	57
8,00	80	79	84	78	79
11,20	100	99	99	100	99
16,00	100	100	100	100	100

7. ábra Aszfaltkeverékek szemeloszlás görbéje



A szemeloszlási görbéből látható, hogy az aszfaltkeverékek között szemeloszlás tekintetében nincs lényeges különbség. Viszont annak ellenére, hogy a keverés során pontos tömegmérést végeztünk, az aszfaltkeverékek fíler tartalma mindegyik keveréknél az előírásban meghatározott maximális 10% felett van. Ez befolyásolhatja az aszfaltkeverékek testsűrűségét is.

17. táblázat Az aszfaltkeverékek tulajdonságai

	7% mészkelet 0% sajátpor	0% mészkelet 8% sajátpor	4% mészkelet 4% sajátpor	5% mészkelet 2% sajátpor	2% mészkelet 6% sajátpor
Bitumentartalom [%]	4,78	4,72	4,72	4,45	4,64
Hézagmentes testsűrűség [mg/m ³]	2,445	2,445	2,440	2,433	2,444
Marshall testsűrűség [mg/m ³]	2,346	2,347	2,368	2,315	2,342
Szabad hézag	4,0	4,0	2,9	4,9	4,2

Az aszfaltkeverékek eddigi vizsgálatai során a 4% mészkelet + 4% sajátpor-os keverék kiugró értékeket mutat. Az alacsony hézagtartalmat okozhatja a kiugróan magas filler tartalom is, ami befolyásolja a testsűrűség értékeit is. A csak mészkeletes és csak sajátporos keverék e tulajdonságai szinte teljesen megegyeznek. Itt visszautalnék a 2.2.2. „Az exhaust por változásai” című fejezetre, melyben részletezem, hogy a sajátpor sűrűsége, szemeloszlása és duzzadó agyagásványtartalma a keverőtelepen belül folyamatosan változik. Jelen keverékhez felhasznált sajátpor tulajdonságai nagyban megegyeznek a mészkelet tulajdonságaival, még duzzadó agyagásványtartalom tekintetében is. Így ez magyarázhatja a már kész aszfaltkeverékekben mutatkozó hasonló tulajdonságokat. Más keveréknél, vagy más mintavételi időpontban ez a hasonlóság nem egyértelmű.

5.2. Marshall próbatetek hasító-húzó szilárdság meghatározása



8. ábra Nyomógép ITSR vizsgálathoz

vákuumozott próbatetek térfogatát az előző módszerrel (magasság-átmérő mérése) kiszámítjuk, majd a nedves próbateteket 68-72 órára 40°C-os vízfürdőbe helyezük. Miután vízzel telítettük a nedves próbateteket műanyag zacskóval légmentesen lezárjuk mindkét csoport mintáit, majd további 4 óráig 18°C-os vízfürdőbe helyezük őket. Az EN 12697-23 előírás szerint határozzuk meg a vizsgálati próbatetek hasító-húzó szilárdságát. A vizsgálatot a kondicionáló vízfürdőből való kivétel után 1 percen belül el kell végezni. A nedves próbatetek felületét szárazra töröljük.

Az ITSR-hasító-húzószilárdsági tényezőt a következő képlettel számítjuk:

$$ITSR = 100 * \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

ahol:

ITSR	a hasító-húzó szilárdsági tényező [%]
ITS _w	a nedves csoport átlagos hasító-húzó szilárdsága [kPa]
ITS _d	a száraz csoport átlagos hasító-húzó szilárdsága [kPa]

A már előre elkészített 6 db Marshall próbateteket (alsó és felső oldal 35-35 döngöléssel) két csoportra osztjuk. A 6 db próbatesten lemérjük a Marshall pogácsák magasságát és átmérőjét minimum 4 helyen, melyből átlagot képezünk. A próbatetek átmérője 100±3mm legyen. Minden egyes vizsgálati próbatest méreteit és testsűrűségét az EN 12697-29 és az EN 12697-6 előírás szerint kell meghatározni. A kondicionálás előtt minden próbatestnek 24 órát kell pihennie.

Az egyik csoportot szobahőmérsékleten, szárazon tarjuk, míg a másik nedves csoportot vákuumedényben lévő perforált polcra helyezük úgy, hogy a víz szintje legalább 20mm-rel a próbatetek felszíne felett legyen. A vákuummal 10 percen keresztül 6,7±3 kPa nyomást hozunk létre, majd a vákuumot további 30 percen keresztül tartjuk. Ezután a vákuumedény nyomását lassan kiegyenlítjük a légköri nyomásra. A

vákuumozott próbatetek térfogatát az előző módszerrel (magasság-átmérő mérése) kiszámítjuk, majd a nedves próbateteket 68-72 órára 40°C-os vízfürdőbe helyezük. Miután vízzel telítettük a nedves próbateteket műanyag zacskóval légmentesen lezárjuk mindkét csoport mintáit, majd további 4 óráig 18°C-os vízfürdőbe helyezük őket. Az EN 12697-23 előírás szerint határozzuk meg a vizsgálati próbatetek hasító-húzó szilárdságát. A vizsgálatot a kondicionáló vízfürdőből való kivétel után 1 percen belül el kell végezni. A nedves próbatetek felületét szárazra töröljük.

Az ITSR-hasító-húzószilárdsági tényezőt a következő képlettel számítjuk:

$$ITSR = 100 * \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

ahol:

ITSR	a hasító-húzó szilárdsági tényező [%]
ITS _w	a nedves csoport átlagos hasító-húzó szilárdsága [kPa]
ITS _d	a száraz csoport átlagos hasító-húzó szilárdsága [kPa]

5.2.1. Vizsgálati eredmények:

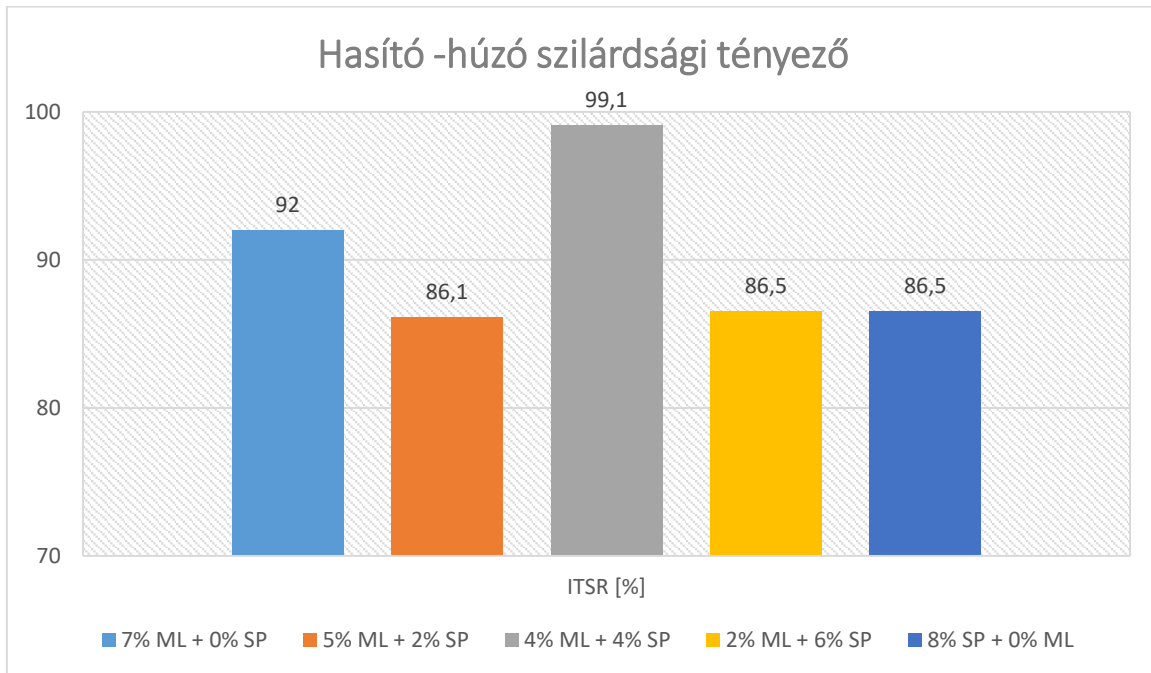
18. táblázat Hasító-húzó szilárdság eredmények I.

Aszfalt típusa: AC 11 kopó (F) 50/70	7% mészkőliszt+ 0% sajtópor			0% mészkőliszt + 8% sajtópor		
	Száraz próbatetek	Nedves Próbatestek		Száraz próbatetek	Nedves Próbatestek	
Testsűrűség [mg/m ³]	2,329	2,328		2,314	2,310	
Geometriai térfogat V ₁ [cm ³]			545,8			544,1
Geometriai térfogat V ₂ [cm ³]			410,1			540,2
Geometriai térfogatváltozás ΔV [%]			-1,03			-0,70
Magasság [mm]	66,6	66,5	65,9	66,7	66,3	65,9
Átmérő [mm]	102,0	102,2	102,1	102,0	102,2	102,1
Indirekt húzószilárdság ITS [kPa]	2740,0		2530,0	2600,0		2250,0
Hasító-húzó szilárdsági tényező ITSR [%]	92,3			86,5		

19. táblázat Hasító-húzó szilárdság eredmények II.

Aszfalt típusa: AC 11 kopó (F) 50/70	4% mészkőliszt + 4% sajtópor			5% mészkőliszt + 2% sajtópor			2% mészkőliszt + 6% sajtópor		
	Száraz próbatetek	Nedves Próbatestek		Száraz próbatetek	Nedves Próbatestek		Száraz próbatetek	Nedves próbatetek	
Testsűrűség [mg/m ³]	2,341	2,338		2,296	2,288		2,302	2,302	
Geometriai térfogat V ₁ [cm ³]			539,3			550,9			543,6
Geometriai térfogat V ₂ [cm ³]			535,4			548,7			543,5
Geometriai térfogatváltozás ΔV [%]			-0,73			-0,73			-0,2
Magasság [mm]	65,7	66,0	65,7	67,2	67,3	67,2	66,8	66,5	66,
Átmérő [mm]	101,8	102,0	101,8	101,9	102,0	102,0	102,2	102,0	102,0
Indirekt húzószilárdság ITS [kPa]	2320,0		2300,0	2510,0		2160,0	2520,0		2180,0
Hasító-húzó szilárdsági tényező ITSR [%]	99,1			86,1			86,5		

9. ábra Hasító- húzó szilárdsági tényező ábrázolása

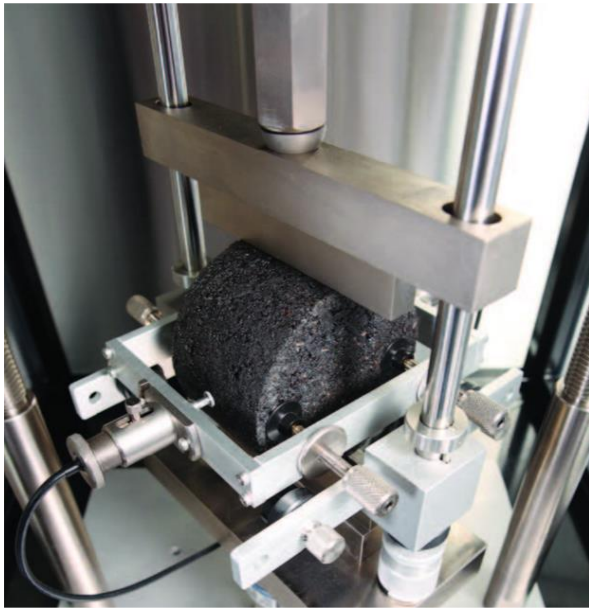


Hasító-húzó szilárdság értéke 80% felett megfelelő, így az összes aszfaltkeverékünk megfelelt a vizsgálat követelményeinek. A 4% mészkőliszt + 4% sajátport tartalmazó keverék kiugró, 99,1%-ós ITSR eredményt mutat. Ezt okozhatja az 5.1. „Vizsgált aszfaltkeverékek szemeloszlása, hézagmentes és Marshall testsűrűsége” című fejezetben elhangzott alacsony 2,9%-os hézagtartalom.

A további sajátport is tartalmazó aszfaltkeverékek hasonló eredményeket mutatnak. A sajátpor hozzáadagolása nélkül készült keverék is magasabb, 92,3%-os ITSR értéket mutat.

Megjegyzendő itt is, hogy az aszfaltkeverési folyamat megkezdése előtt a kőanyagokról nem távolítottuk el a rajtuk található finomszemcséket, így magasabb filler tartalommal rendelkeznek. A 4% mészkőlisztet és 4% sajátport tartalmazó keveréknél felmerülhetett mérési hiba is okozhatja, hogy az eredmények nem mutatnak egyenletes változást. A mérési hibát az összes vizsgálat elvégzésével tudjuk csak kizárni. Erről 6. „Összefoglalás” című fejezetben beszélek.

5.3. Hasító-húzó vizsgálat hengeres próbatesteken (IT-CY)



10. ábra Hasító-húzó vizsgálat - vizsgálati eszköze

A vizsgálathoz aszfaltkeverékeként 4 db Marshall próbatestet 50-50 ütéssel készítettünk. A vizsgálatot az MSZ EN 12697-26-2005 előírás alapján végezzük.

A vizsgálati mintákat 20°C-ra kondicionáljuk. Lemérjük a próbatest átmérőjét majd rögzítjük az LVDT-tartókeretben. Ezután az érzékelőket $\pm 0,01$ mm pontosságra állítva indíthatjuk a mérést. A vizsgálóberendezés 5 terhelési impulzust hajt végre 124 msec felfutási idővel. Ha megkaptuk az első átmérőn mért eredményeket, a vizsgálati mintát 90°-al elforgatjuk és megismételjük a mérést. A vizsgálat végén megkapjuk az aszfaltkeverékek merevségi modulusát [MPa].

A merevségi modulus számítása:

$$S_m = \frac{F \cdot (v + 0,27)}{(z \cdot h)}$$

ahol:

- S_m a merevségi modulus [MPa]
- F az erő csúcsértéke [N]
- Z a vízszintes alakváltozás csúcsértéke [mm]
- H a próbatest átlagos magassága [mm]
- v a Poisson tényező [0,35]

Merevségi modulusra az előírás nem ad meg követelményt.

5.3.1. Vizsgálati eredmények:

Az alábbi táblázatban a csak mészkölisztet tartalmazó keverék hasító-húzó vizsgálat értékeit látjuk. A merevségi modulusok átlaga 6351,75 MPa lett.

1A = 1. minta 1. mérés, ugyanezen az elven értelmezhető a többi vizsgálati minta száma.

20. táblázat Közvetett húzási merevség modulus vizsgálat - 7% mészköliszt + 0% sajtópor

		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Függőleges erő [kN]		3,08	3,42	3,22	3,19	3,23	3,16	3,35	3,24
Vízsz. feszültség kPa]		295,2	328,7	309,2	306,0	310,4	303,6	321,3	311,6
Terhelési területtényező	<i>Célérték</i>	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Tény.	0,66	0,65	0,66	0,65	0,65	0,66	0,66	0,65
Vízsz. deformáció [mikron]	<i>Célérték</i>	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	Tény.	5,1	5,1	5,0	5,0	4,9	5,1	5,0	5,0
Emelkedési idő [m. sec]	<i>Célérték</i>	124	124	124	124	124	124	124	124
	Tény.	126,6	124,2	121,6	123,6	122,6	124,8	124,8	126,6
Merevségi modulus [MPa]	Mért	5801	6358	6099	6043	6303	5972	6334	6160
	Beállított	6023	6571	6317	6246	6523	6191	6567	6376

Az alábbi táblázatban a csak sajtóport tartalmazó keverék hasító-húzó vizsgálat értékeit látjuk. A merevségi modulusok átlaga 7172,38 MPa lett.

21. táblázat Közvetett húzási merevség modulus vizsgálat - 0% mészköliszt + 8% sajtópor

		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Függőleges erő [kN]		3,57	3,66	3,56	3,50	3,78	3,45	3,74	3,78
Vízsz. feszültség kPa]		343,1	351,1	341,7	336,2	362,6	331,6	359,2	363,2
Terhelési területtényező	<i>Célérték</i>	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Tény.	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Vízsz. deformáció [mikron]	<i>Célérték</i>	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	Tény.	5,0	5,0	5,0	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0
Emelkedési idő [m. sec]	<i>Célérték</i>	124	124	124	124	124	124	124	124
	Tény.	121,6	122,0	121,0	122,0	122,4	121,4	121,0	123,8
Merevségi modulus [MPa]	Mért	6881	7015	6723	6771	7155	6634	7134	7153
	Beállított	7129	7250	6948	7004	7410	6859	7371	7408

Az alábbi táblázatban a 4% mészkölisztet és 4% sajátport tartalmazó aszfaltkeverék hasító-húzó vizsgálat értékei láthatók. A 4. vizsgálati minta mérésénél az előzőekhez képest magas eredményeket tapasztaltunk, így a mérést 3-szor végeztük el. Ennek az aszfaltkeveréknek a merevségi modulus átlaga 6034 MPa, ha minden mérést figyelembe veszünk. Ha viszont kihagyjuk a teljes 4. minta mérését akkor 5759,5 MPa értéket kapunk merevségi modulusra.

22. táblázat Közvetett húzási merevség modulus vizsgálat - 4% mészköliszt + 4 % sajátpor

		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	4C
Függőleges erő [kN]		2,94	2,86	2,81	2,84	2,99	2,99	3,33	3,45	2,96
Vízs. feszültség [kPa]		282,2	275,0	278,7	281,8	291,6	260,7	324,6	336,0	289,0
Terhelési területtényező	<i>Célérték</i>	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Tény.	0,66	0,66	0,66	0,65	0,66	0,66	0,65	0,65	0,66
Vízs. deformáció [mikron]	<i>Célérték</i>	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	Tény.	5,0	4,9	5,0	5,0	5,1	4,8	4,8	5,0	5,1
Emelkedési idő [m. sec]	<i>Célérték</i>	124	124	124	124	124	124	124	124	124
	Tény.	122,4	122,8	123,8	124,6	123,6	124,0	123,0	122,8	124,4
Merevségi modulus [MPa]	Mért	5605	5594	5511	5653	5677	5360	6729	6679	5679
	Beállított	5806	5790	5704	5833	5883	5542	6960	6906	5885

Az alábbi táblázatban az 5% mészköliszt + 2 % sajátport tartalmazó aszfaltkeverék hasító-húzó vizsgálat értékei láthatók. Az aszfaltkeverék merevségi modulusának átlaga 7029,38 MPa.

23. táblázat Közvetett húzási merevség modulus vizsgálat - 5% mészköliszt + 2 % sajátpor

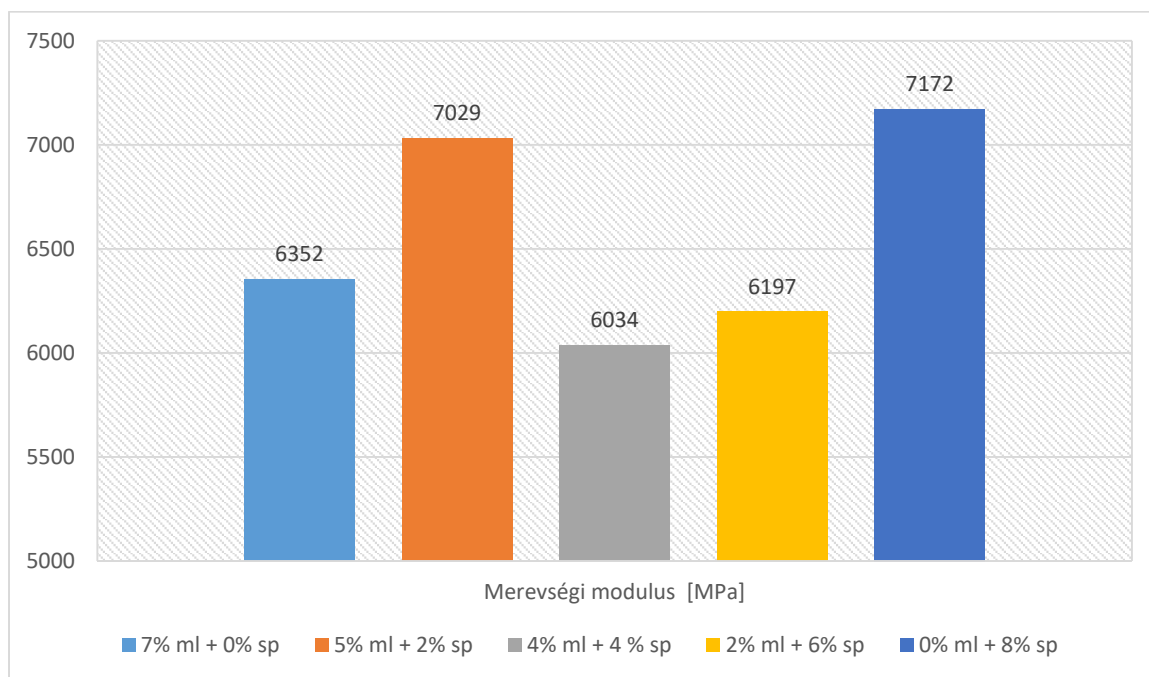
		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Függőleges erő [kN]		4,11	3,50	3,95	3,55	3,48	3,39	3,65	3,53
Vízs. feszültség [kPa]		382,6	325,8	373,6	335,9	329,0	320,3	344,9	333,5
Terhelési területtényező	<i>Célérték</i>	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Tény.	0,65	0,65	0,65	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65
Vízs. deformáció [mikron]	<i>Célérték</i>	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	Tény.	5,2	5,0	4,9	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0
Emelkedési idő [m. sec]	<i>Célérték</i>	124	124	124	124	124	124	124	124
	Tény.	122,6	122,6	123,2	122,8	122,6	122,0	122,8	123,2
Merevségi modulus [MPa]	Mért	7268	6494	7615	6769	6519	6319	6813	6570
	Beállított	7516	6703	7881	7022	6745	6517	7054	6797

Az alábbi táblázat a 2% mészkőliszt + 6 % sajátport tartalmazó aszfaltkeverék hasító-húzó vizsgálat értékeit tartalmazza. Az aszfaltkeverék merevségi modulusának átlaga 6197,13 MPa.

24. táblázat Közvetett húzási merevség modulus vizsgálat - 2% mészkőliszt + 6% sajátpor

		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Függőleges erő [kN]		3,13	3,39	2,93	3,26	3,03	2,96	3,32	3,37
Vízsz. feszültség [kPa]		300,6	325,1	281,1	312,8	290,7	284,2	319,0	324,0
Terhelési területtényező	<i>Célérték</i>	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Tény.	0,65	0,65	0,65	0,65	0,66	0,65	0,65	0,65
Vízsz. deformáció [mikron]	<i>Célérték</i>	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	Tény.	5,0	5,1	5,0	5,2	5,1	5,0	5,0	5,0
Emelkedési idő [m. sec]	<i>Célérték</i>	124	124	124	124	124	124	124	124
	Tény.	122,6	123,0	120,4	126,0	124,2	123,4	123,2	121,8
Merevségi modulus [MPa]	Mért	5918	6395	5592	6017	5654	5688	6317	6381
	Beállított	6109	6612	5783	6227	5863	5877	6524	6582

11. ábra Hasító- húzó vizsgálat eredményei összehasonlítás



Jelen vizsgálatnál a csak sajátport tartalmazó aszfaltkeverék és a 4% mészkőlisztet + 4% sajátport tartalmazó aszfaltkeverék más viselkedést mutat a másik 3 keverékhez képest. A 4% mészkőliszttel és 4% sajátporral készült keverék kiugrása itt is magyarázható az aszfaltkeverék testsűrűségével és hézagtartalmának alacsony értékével (2,9%). A csak sajátport tartalmazó keverék magas filler tartalma miatt merevebb aszfaltkeverék keletkezhetett a gyártás során.

A merevségi modulus szempontjából, amíg a megrendelő nem ír elő más értéket mindegyik érték elfogadható.

5.4. Keréknyomképződés – Plasztikus deformáció vizsgálat

Az aszfaltok egy legjellemzőbb tönkremeneteli módja a keréknyomvályú képződés. A keréknyomvályú az útburkolat keresztirányú egyenetlensége, ami akadályozza a gépjárművek szabad közlekedését és a pálya vízvezetését. Az utóbbi esetben létrejöhet egy jelenség, amit vízzen csúszásnak (aquaplaning) nevezünk.

Az aszfalt viszkoelasztikus tulajdonsága miatt terhelés hatására képes bizonyos mértékű maradó alakváltozásra. Az alakváltozás mértéke az aszfaltréteg tulajdonságaitól, hőmérsékletétől és a terhelés nagyságától függ.

A keréknyomvályú kialakulásának okai:

- utótömörödés
- kopás
- plasztikus deformáció

A 15 mm-nél mélyebb nyomvályúk kialakulását laboratóriumi körülmények között helyszíni fűrt mintákkal vizsgálni kell. [11]

5.4.1. A vizsgálat menete



12. ábra Keréknyomképző berendezés

A vizsgálati próbatesteket az előzőekben az aszfaltkeverés során félrerakott aszfaltkeverékekből (MSZ EN 12697-35) szegmens tömörítővel 4 cm vastag lap próbatesteket állítunk elő. Aszfaltkeverékenként 2 db lap próbatestet készítünk. A vizsgálati próbatestek testsűrűségét meghatározzuk az MSZ EN 12697-6, MSZ 12697-7 szerint. Ezután a vizsgálati mintákat formák öntjük (gipsz vagy beton segítségével) majd a keréknyomvizsgáló gépbe helyezzük. A keréknyomvizsgáló berendezés két terhelt kerékből áll, amelyet a rögzített mintára helyezünk. Az asztal a kerék alatt előre-hátra mozog és a felszerelt műszer érzékeli a nyomképződés sebességét a vizsgálati próbatest felületén.

A vizsgálat megkezdése előtt egy kondicionáló menetet kell indítani, ami 15°C-25°C között zajlik 1000 terhelési ciklus megtételéig. Ezután beállítjuk a próbatestet a vizsgálati hőmérsékletre (60°C). A vizsgálat alatt a vizsgálati próbatestekben a $\pm 2^\circ\text{C}$ hőmérsékleti pontosságot.

A gép elindítása után 700 P kerékterheléssel 10 000 terhelési ciklus halad át a mintán. A vizsgálat befejeztével (körülbelül 4 óra múlva) elkezdhetjük a következő minta előkészítését és vizsgálatát.

A mérés során előre megjelölt 15 helyen leolvasást végeztünk. A következő összefüggéssel számítható a fajlagos nyommélység:

$$P_i = 100 * \sum_{j=1}^{15} \frac{(m_{ij}-m_{0j})}{(15*h)}$$

ahol:

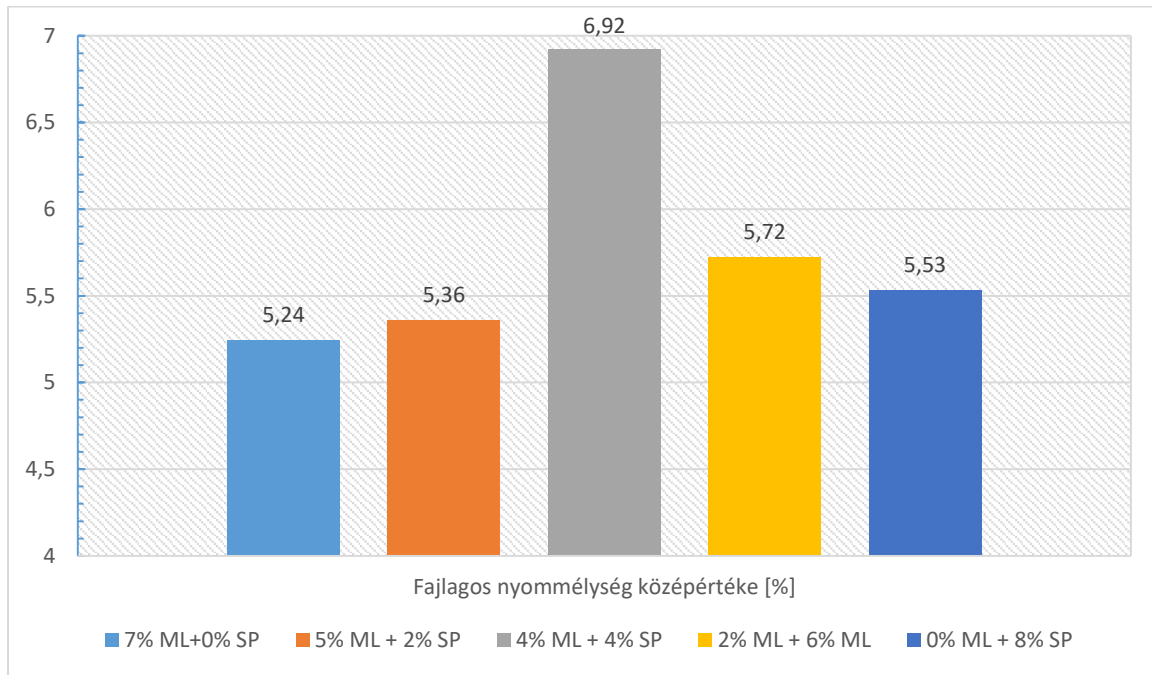
- P_i a mért fajlagos nyommélység [%]
- m_{ij} a helyi alakváltozás [mm]
- m_{0j} a kezdő érték a j helyen
- h a próbatest vastagsága [mm]

5.4.2. Vizsgálati eredmények

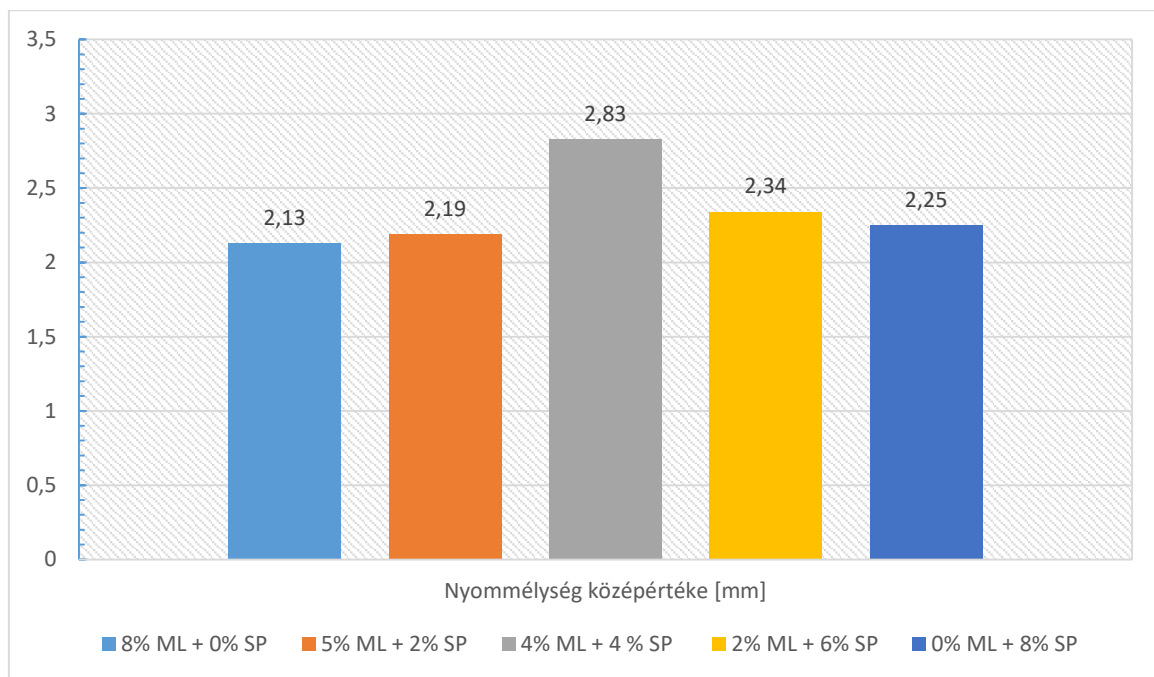
25. táblázat Keréknyomképződés vizsgálati eredmények MSZ EN 12697-22:2003+A1:2008 9.3.2. pont

Próbatest jele	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
Próbatest testsűrűsége [kg/m ³]	2356	2372	2381	2366	2367	2383	2338	2352	2377	2346
Próbatest vastagsága [mm]	40,6	40,5	40,7	40,6	40,8	40,9	40,8	40,8	41,0	41,0
Keréknyom-képződési görbe hajlásszöge [mm/1000]	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,07	0,05	0,06	0,06	0,04
Fajlagos nyommélység [%]	5,28	5,20	5,93	5,12	6,04	7,79	5,25	5,47	6,45	4,99
Fajlagos nyommélység középértéke	5,24		5,53		6,92		5,36		5,72	
Nyommélység [mm]	2,14	2,11	2,42	2,08	2,46	3,19	2,14	2,23	2,65	2,04
Nyommélység középértéke [mm]	2,13		2,25		2,83		2,19		2,34	

13. ábra Fajlagos nyommélység középértékeinek összehasonlítása



14. ábra Nyommélység középértékeinek összehasonlítása



A keréknyomképződés eredményeiben ismét a 4% mészköliszt + 4% sajátport tartalmazó aszfaltkeverék mutat magasabb, kiugró értékeket. A vizsgálat során a minta elmozdult, így ez az eredmény a továbbiakban nem kívánom figyelembe venni. Az MSZ EN 12697 előírásnak megfelelő az összes eredmény, mivel maximális értéknek 7% fajlagos nyommélység a megengedhető.

Nyommélység középértékénél 5 mm a megengedhető érték, viszont ezt egyik minta sem érte el, így mindegyik megfelel az MSZ EN 12697-22:2003+A1:2008 előírásnak.

6. Összefoglalás

A kutatási munka során olyan aszfaltkeverékeket terveztem és vizsgáltam, amelyekben a 2,0 mm feletti rész kőanyagának adagolási mennyisége, szemeloszlása és minősége mindig azonos volt.

Az 5 db aszfaltkeverékeket tervszerűen változtattam az alábbiak szerint:

- készült egy teljesen az előírásnak is megfelelő aszfaltkeverék
- készült 3 db olyan aszfaltkeverék, amely saját-töltőanyagot is tartalmazott különböző mészkőliszt és sajátpor arányokkal
- készült egy mészkőliszt elhagyásával, csak saját-töltőanyagot tartalmazó keverék
- saját-töltőanyag eltávolítás a felhasznált kőanyagokról nem történt.

Az 5 fajta keveréket a következő töltőanyagadagolásokkal állítottam össze:

- 7% mészkőliszt + 0% sajátpor
- 5% mészkőliszt + 2% sajátpor
- 4% mészkőliszt + 4% sajátpor
- 2% mészkőliszt + 6% sajátpor
- 0% mészkőliszt + 8% sajátpor.

A rendelkezésre álló vizsgálati eredmények alapján egyértelműen nem állapítható meg, hogy a sajátport milyen mértékig adagolhatjuk vissza töltőanyagként. Ennek oka a sajátpor folyamatos változása, ami akár bányánként is eltérhet. Ezt a valóságban nem minden esetben lehetne szabályozni, hiszen egy keverőtelep nem minden esetben dolgozik egy fajta kőanyaggal illetve egy fajta aszfaltkeverék típussal.



15. ábra A keverés hibái

Az eredmények minden vizsgálatban megfeleltek a rá vonatkozó előírásnak, kivétel az aszfaltkeverékek töltőanyagtartalmát. Itt hibát követtünk el és nem vettük kellőképp figyelembe a kőanyagon található finomszemcséket, melyek megnövelték a tervezett aszfaltkeverékek töltőanyagtartalmát.

A keverés során elkövettük azt a hibát, hogy a sajátport nem fokozatosan adagoltuk az aszfaltkeverékhez, hanem a kőanyaggal került a keverőteknőbe, majd megfelelő hőmérséklet elérése után hozzáadtuk a B 50/70-es bitument is. Ezzel előidéztük, hogy a bitumen ennyire hirtelen nem volt képes ekkora mennyiségű poranyagot megkötni, így keletkeztek olyan „csomók” melyek a mérési eredményeket befolyásolhatták (pl. extrahálás után a bitumen tartalom alacsony, míg a töltőanyag tartalom magasabb értéket mutathat).

Fontos kiemelni, hogy a 4% mészkőliszt + 4% sajtópor hozzáadással készült aszfaltkeverék minden vizsgálatnál kiugró értéket mutat. Erre több magyarázat is lehet, akár a keverék magas filler tartalma, akár az aszfaltkeverék tervezésénél elkövetett hibák. Így ezt az eredményt a továbbiakban nem szabad figyelembe venni.

7. További kutatási lehetőségek

Későbbi kutatási lehetőséget jelentene, ha még több vizsgálatot végeznénk különböző aszfaltkeverék típusok és különböző sajtópor mintavételekkel. Külön hangsúlyt lehetne fektetni arra, hogy adott keverőtelepen, adott sajtópor mintavétellel, milyen tulajdonságú sajtótöltőanyagot kapunk. Fontos lenne az is, hogy az adott időszakban milyen típusú aszfaltkeveréket gyártottak és ez hogyan befolyásolta a sajtóport szemeloszlás, testsűrűség vagy duzzadó agyagásványtartalom tekintetében.

A további kutatás hasznos lehet, mivel a sajtópor elszállításával költségek merülnek fel, így biztos eredmények mellett ezt csökkenteni lehetne.

A kutatásommal egy időben Dr. Géber Róbert a Miskolci Egyetemen készített egy másik tanulmányt „Töltőanyagok komplex anyagszerkezeti vizsgálata” címmel. A kutatása során a töltőanyagként alkalmazott mészkőlisztet, valamint egy gyártási melléktermékként rendelkezésére bocsájtott dolomit őrleményt vizsgált anyagszerkezeti szempontból. Az eredményei a saját kutatásommal összevonva, illetve egy közös kutatással átdolgozva akár biztosabb válaszokat is adhatnának.

Irodalomjegyzék

- [1] B. UVT, „Aszfaltok vizsgálatai 2008, Az EN szabványok szerinti finomszem-tartalom minőségének hatása az aszfaltkeverékek adhéziós tulajdonságaira, Zárójelentés,” BME, Budapest, 2009.
- [2] C. Dr. Tóth és P. Dr. Szakos, Szerzők, *Útépítés és fenntartás - Aszfalt rétegek és beépítésük*. [Performance]. 2015..
- [3] 1997. [Online]. Available: www.doksi.hu/get.php?lid=9663.
- [4] Ásványvagyon, „Magyar Bányászati és Földtani Hivatal,” 01. 01. 2013. [Online]. Available: <http://www.mbfh.hu/home/html/index.asp?msid=1&sid=0&hkl=72&lng=1>. [Hozzáférés dátuma: 25. 09. 2015.].
- [5] „Fornószeg,” 30. 12. 2015.. [Online]. Available: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Forn%C3%B3szeg>. [Hozzáférés dátuma: 20. 09. 2016.].
- [6] R. Tompa, „Saját porok minőségi jellemzői,” *Az Aszfalt*, pp. 36-39., 2015/2.szám.
- [7] Z. Benkő, „Az aszfaltgyártás technológiai folyamata során elszívott por töltőanyagként (filler) történő felhasználás lehetőségei, a felhasználás gazdasági és környezetvédelmi kérdései,” Széchenyi István Egyetem, Győr, 2011.
- [8] *MSZ EN 933-9:2009+A1:2013*, 2013.
- [9] Z. Soós, Szerző, *Útépítési Laboratórium I.* [Performance]. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2016..
- [10] M. E. 1426, *Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A tűpenetráció meghatározása*, Magyar Szabványügyi Testület, 2007..
- [11] B. V. Ávár és I. Szentpéteri, „Plasztikus deformációs hajlam meghatározása kúszás valamint vákuum triaxiális vizsgálatok segítségével,” Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2010, 2010.
- [12] Z. Puchard, „Útépítési zúzottkövekkel szemben támasztott követelmények,” *Építőanyag*, pp. 123-125, 2006. 4. szám.