

# 2016.

## Gumibitumen alkalmazásának hazai és nemzetközi tapasztalatai



Király Krisztina Noémi

Konzulens: dr. Igazvölgyi Zsuzsanna

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki kar

Út- és Vasútépítési Tanszék

Tudományos Diákköri Konferencia

2016.11.02.



## Köszönetnyilvánítás

Munkám végére érve köszönetemet és nagybecsülésemet fejezem ki mindazok számára, akik segítettek a tanulmányom elkészítésében.

Első sorban tanárainknak, leginkább dr. Igazvölgyi Zsuzsannának a rengeteg cikkért, folyóiratért és szakmai irodalomért valamint mindazoknak, akik e tanulmány anyagának összegyűjtésében és szerkesztésében segítségemre voltak.

Köszönöm barátaimnak az építő jellegű bírálatokat és családomnak a nyugalmat és a rengeteg türelmet. Köszönöm még a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemnek, ahol a tanulmányíráshoz szükséges szakmai kíváncsiságot és ambíciókat magamba szívtam. Köszönöm a BME inspiráló környezetének ahol a legtöbb időmet töltöttem a dolgozat megírása közben.

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. Bitumen.....	1
2.1. Hígított bitumen.....	2
2.2. Bitumenemulzió.....	3
2.3. Polimerrel modifikált bitumen.....	3
2.4. Gumiőrleménnyel módosított bitumen.....	3
3. Kémiailag stabilizált gumibitumen.....	4
4. Hagyományos és gumibitumennel készült utak összehasonlítása.....	5
4.1. Maradó alakváltozás.....	5
4.2. Fáradás.....	5
4.3. Költségelemzés.....	6
4.4. Beépített anyagok.....	7
4.5. Vízáróság.....	8
4.6. Beépítési tapasztalatok.....	8
4.7. Plasztikus deformációk.....	8
4.8. Féktávolság.....	9
4.9. Közlekedési zajszint mérés.....	9
4.10. Tapadás.....	10
5. A gumiőrlemények összetételének hatása a gumibitumen tulajdonságaira.....	10
6. Magyarországon gumibitumenes kötőanyagú aszfaltutak.....	11
7. USA – történeti áttekintés.....	11
8. Olaszország.....	13
9. Portugália.....	14
9.1. IP4.....	14
9.2. A41/IC24.....	14
9.3. A5.....	15
9.4. A16.....	15
9.5. EN 370.....	16
9.6. IC32.....	16
9.7. Portugál beépítési adatok összefoglalása.....	17
9.7.1. Portugál gumibitumen utak beépítési rétegvastagságai.....	20
10. Zajszintmérés.....	21
10.1. Helyszíni zajszintmérés.....	22
10.1.1. Terepen rögzített zajszintmérés.....	22
10.1.2. Járműre rögzített mikrofonok.....	24
10.1.3. Zajszintmérés empirikus becslés alapján.....	24
10.2. Gumiőrleményes burkolat funkcionális sajátosságainak vizsgálata.....	24
11. Vizsgálati nehézségek.....	29
12. Tulajdonságok összehasonlítása.....	31
13. Környezettudatosság.....	31
14. Összefoglaló táblázat.....	33
15. Összefoglalás.....	34

## Ábrajegyzék

1. ábra: Hagyományos és gumibitumennel készült utak élettartama .....	6
2. ábra: A hagyományos és a gumibitumennel készült utak repedezettségének mértéke az évek múlásával.....	6
3. ábra: A hagyományos és a gumibitumennel készült utak fenntartási költségei az évek múlásával.....	6
4. ábra: A gumibitumen és hagyományos aszfaltutak fékútjainak összehasonlítása.....	9
5. ábra: Közlekedési zajszint mérések eredményei.....	9
6. ábra: 2007 és 2012 között megépült gumibitumen utak Olaszországban (beépítés km/sáv) ...	13
7. ábra: Az IP4-es út 19,6 km hosszú szakaszának felújítása.....	14
8. ábra: Az A41/IC24 felújított szakaszának beépítése és elhelyezkedése .....	14
9. ábra: Az A5 Szakasz beépítése és elhelyezkedése.....	15
10. ábra: Az A16 szakasz beépítése és elhelyezkedése .....	15
11. ábra: Az EN 370 szakasz beépítése és elhelyezkedése.....	16
12. ábra: Az IC32 szakasz beépítése és elhelyezkedése .....	16
13. ábra: Az IP4-es úthoz felhasznált gumiőrlemény és a határértékek szemeloszlási görbéi .....	17
14. ábra: Az EN 370-es út felújításakor használt kőanyagok szemeloszlási görbéje.....	20
15. ábra: Az IC32-es út felújításakor használt kőanyagok szemeloszlási görbéje .....	20
16. ábra: A gördülési zaj kialakulásának mechanizmusa.....	22
17. ábra: A gördülési zaj kialakulásának mechanizmusa.....	22
18. ábra: Különböző keverékek beépítésének elrendezése.....	27
19. ábra: Különböző keverékek zajszintmérése .....	28
20. ábra: A rétegek tapadásának hiánya .....	28
21. ábra: A kémiailag stabilizált gumibitumen és a venezuelai kőolajból előállított 50/70 bitumen tapadása dolomiton 4 órás forgó palackos teszt után .....	30

## Táblázatjegyzék

1. táblázat: Különböző kötőanyagok SHRP szerint mért jellemzőinek összehasonlítása .....	5
2. táblázat: Beépítési rétegvastagságok .....	7
3. táblázat: Gumiőrlemények minőségi előírásai .....	10
4. táblázat: Különböző kötőanyagok SHRP szerint mért jellemzőinek összehasonlítása .....	11
5. táblázat: A gumiőrlemény szemcseméretének összetétele .....	17
6. táblázat: Az IP4-es úthoz felhasznált bitumen tulajdonságai .....	18
7. táblázat: Kőanyag-összetétel (IP4-es út) .....	18
8. táblázat: Kőanyag-összetétel (A5, A16, EN 370-es utak) .....	19
9. táblázat: Építéskor használt kőanyagok (A5, A16, EN 370, IC 32) .....	19
10. táblázat: A különböző utak egyéb tulajdonságai .....	19
11. táblázat: Az IC24-es út beépítési vastagságai .....	20
12. táblázat: Különböző abroncsok CPX eredményeinek összefoglalója .....	25
13. táblázat: Zajszint mérési eredmények összehasonlítása .....	25
14. táblázat: SMA adalékanyagának maximális mérete a zajszint mérések alapján .....	26
15. táblázat: A Dániában tanulmányozott futófelület jellemzői .....	26
16. táblázat: Az útszakaszokhoz használt bitumenek tulajdonságai .....	28
17. táblázat: Összefoglaló táblázat .....	34

## 1. Bevezetés

A TDK dolgozatom célja a gumibitumen, mint útépítési kötőanyag tulajdonságainak bemutatása. A gumibitumennel megépült magyar utak vizsgálati eredményeinek és beépítési tapasztalatainak felsorolása mellett több európai városban elvégzett építési és vizsgálati eredményt is feldolgozok.

Kitérek a gumibitumen tulajdonságait befolyásoló tényezők bemutatására is. A tulajdonságok összehasonlításakor a hagyományos és a polimerrel modifikált bitumeneket választottam összehasonlítási alapként. A tulajdonságok közül a maradó alakváltozást, fáradási tulajdonságokat, költségigényeket, plasztikus deformációkat, féktávolságokat, közlekedési zajszinteket és a tapadási tulajdonságokat hasonlítom össze.

Részletezem a Portugáliában megépült gumibitumen utak beépítési adatait. Bővebben kifejtem a különleges kötőanyagú utak egyik legnagyobb előnyét, a kedvező zajszint eredményeket és azok mérését. Másik nagy előnye, a rövidebb féktávolság is megemlítésre kerül.

Szó lesz még a gumiabroncsok ártalmatlanításának és újrafelhasználásának néhány lehetőségéről és a gumibitumen környezetkímélő tulajdonságairól is.

## 2. Bitumen

Az útépítési bitumen az ásványolaj (kőolaj) lepárlásából visszamaradó, nagy molekulatömegű melléktermék. Alifás és aromás szénhidrogénekből és szénhidrogén-jellegű vegyületekből felépülő szerves anyag, mely viszkoelasztikus tulajdonságú. Fekete vagy sötétbarna színárnyalatú termoplasztikus kötőanyag. Összetételük változatos lehet, főbb alkotói: 80-85 % szén, 9-10 % hidrogén, 2-8 % oxigén, 0,1-7 % kén. Különböző mennyiségű nitrogént és fémeket tartalmaznak. Bonyolult rendszerű kolloid rendszer. Kémiaiilag közömbös, tehát savnak és lúgnak egyaránt ellenáll. Oxigén és UV fény hatására keményedik, öregedik.

Fő különbség a kátrány és a bitumen között, hogy a bitument kőolajból állítják elő és 100 %-osan újrahasznosítható, míg a kátrányt a kocsz nyersanyagából, főleg kőszénből nyerik ki. Ez utóbbinak jobb a tapadása, de a tartalmazott karcinogén anyagok miatt rákkeltő hatásúak. A bitumen a kátránnyal szemben teljesen biztonságos a környezet szempontjából.

Legfontosabb elvárások a módosított bitumenből épült pályaszerkezeti réteggel szemben:

- Nedves időben is megfelelő legyen a csúszás-ellenállása, a kopóréteg felületén alkalmazott zúzalék polírozódási ellenállása;
- Legalább 10 nyári időszak elteltével se alakuljon ki a felületén a megengedettnél nagyobb keréknyomvályú mélység;

- Jó hidegviselési tulajdonságú legyen, öregedése ne legyen túlzott mértékű, ne alakuljon ki habarcskiverődés, felületi ritkulás vagy termikus repedezettség;
- Legyen megfelelő felületi egyenletessége a lehető legkisebb menetzaj érdekében;
- A járművek utáni vízfelverődés ne legyen nagy;
- A fényszórók visszatükröződő hatása csapadékos, nedves időben is elfogadható szintű legyen;
- Tisztíthatósága, téli üzemeltetése jól biztosítható, könnyen teljesíthető legyen.

Az útburkolatok számos klimatikus és forgalmi követelmények közül leginkább a két szélső hőmérsékleti állapotban kialakuló deformációk és fáradási repedések a meghatározóak. A bitumennek főleg a közepes és alacsony hőmérsékleten való viselkedésben van jelentős szerepe. [Bíró Szabolcs 2005]

A módosított bitumenek alkalmazására leginkább a bitumenekkel szemben támasztott minőségi követelményeknek való megfelelés ad okot. Ilyen elvárás például, hogy a kötőanyag az adalékanyaghoz egyenletesen és jól tapadjon; hidegben ne váljon rideggé és tulajdonságait tartsa meg, ne öregedjen. A bitumenek tulajdonságait befolyásolni tudjuk a hozzákevert anyagok elegyítésével és a hozzákeverés technikájának megválasztásával. Az útépitési bitumenek közül 4 lényegesen eltérő terméktípust különböztetünk meg.

## 2.1. Higított bitumen

A félmeleg eljárásokhoz, mint az aszfaltmakadámok, úgynevezett „lágú aszfaltok” készítéséhez, felületi bevonatok készítéséhez higított bitumeneket használunk. A bitumen számos szerves oldószerben (benzol, klórozott szénhidrogének, xilol, toluol, stb.) köztük benzinben, petróleumban is jól oldódik. Ezt kihasználva oldószer adagolással jelentősen csökkenthetők a bitumennel való műveleti hőmérsékletek (permetezés, keverés, stb.), így jelentős energia-megtakarítás érhető el. Mintegy 5-20 tömegszázalék petróleum-szerű oldószer hozzáadásával, elkeverésével célszerűen még a kőolaj finomítóban, a bitumengyárban állítják elő a „higított” bitumeneket. Egy lágúabb 80-130 penetrációjú bitumenhez különböző mennyiségű oldószert adagolva különböző viszkozitású higított bitumenek állíthatók elő.

A higított bitumenekkel úgynevezett félmeleg, 80-120 °C hőmérsékleti tartományban állíthatók elő aszfaltok, bevonatok, aszfaltmakadámok, lágú aszfaltok, kevert záró rétegek, felületi bevonatok. Az oldószer idővel környezetterhelő módon kipárolog a légkörbe. A félmeleg technológia miatt, ezen hőmérsékleti tartományban a kőanyagok felületén levő víz nem, vagy csak részben távozik a higított bitumenekhez ezért apoláros karakterű tapadásjavító anyagokat is kevernek 0,3-0,5 tömegszázalék mennyiségben. Ezek a tapadásjavítók elektrokémiai kötással segítik a bitumen közethez való tapadását. Magyarországon kétféle viszkozitású higított bitumen van forgalomban: HB 20/40 (nagyobb oldószertartalom, kisebb viszkozitás) 20-40 mp kifolyási idővel és HB 150/300 (kisebb oldószertartalom, nagyobb viszkozitás) 150-300 mp kifolyási idővel.



## 2.2. Bitumenemulzió

60-65 tömegszázalék, 1-5 mikron nagyságú cseppekre osztatott bitumen és 30-40 tömegszázalék víz elegye. Kis viszkozitású diszperz rendszer, mely szobahőmérsékleten folyékony. A bitumen a diszpergált anyag, a víz pedig a diszperziós közeg, amely utóbbi 2-5 közötti pH-ja miatt savas kémhatású. Az azonos felületi töltésű cseppek között elektrosztatikus egyensúlyi állapot alakul ki, mert minden egyes cseppet molekuláris vonzási és taszítási zóna veszi körül.

Az emulzió könnyen megtörik, ha a bitumenemulzió ásványi anyaggal érintkezik. A törési idő lehet gyors, közepes vagy lassú. Ezt az emulgeálószer mennyiségével, a pH értékkel, stb. befolyásolni lehet. Ahhoz, hogy a rendszer stabil legyen, szükség van egy emulgeáló szerre is. Az emulgeáló egy szénhidrogén láncból felépülő szerves vegyület, amelynek hidrofób része a bitumenben oldódik, a hidrofil része a vízben van. Az útépitésben használatos kationaktív bitumenemulziók esetében zsírsav anionok, -iminek és imidek, illetve ezen vegyületek kombinációi alkotják az emulgeálószeret, mely minden részecskének pozitív töltést ad.

## 2.3. Polimerrel modifikált bitumen (PmB)

A monoolefinek, illetve a diolefinek polimerizálásával igen hosszú elágazó, illetve rácsos szerkezetű polimerek keletkeznek. Ezek kolloidálisan eloszthatók a bitumenek olajos-malténes vegyületcsoportjaiban. A kopolimerekkel, terpolimerekkel modifikált bitumenek jelentősen javítják a normál előállítási bitumenek tulajdonságait. A modern, úgynevezett harmadik generációs polimereket viszonylag kis mennyiségben adagolják a bitumenhez. Ilyen például az etilén-vinilacetát kopolimer (EVA) műanyag, a sztírol-butadién-latex kopolimer (SBR) szintetikus gumi, az etilén-propilén-dién terpolimer (EPD) szintetikus gumi és a sztírol-butadién-sztírol kopolimer (SBS) szintetikus gumi. A sokféle természetes és mesterséges makromolekuláris polimerekkel már világszerte ipari mértékben végeznek bitumen-módosítást.

## 2.4. Gumiőrleménnyel módosított bitumen (GmB)

A gumival modifikált bitumentől elsősorban az különbözteti meg, hogy a gumit viszonylag nagy darabokban, gumiőrleményként keverik bele a bitumenbe. A gumival adalékolt bitumen homogén rendszer, míg a gumibitumenben a diszpergált gumi részecskéi jól láthatóan elkülönülnek.

A használt gumiabroncsokból előállított órlemény és a bitumen nedves eljárással történő elegyítésének végterméke a gumibitumen. Jellemzően 15-20 % a gumi tömegaránya szemben a 3% latexet tartalmazó gumival adalékolt bitumennel. [Bíró Szabolcs 2005]

A gumibitumen a bitumenen és a gumiőrleményen kívül még egyéb adalékanyagokat is tartalmaz. A gumi aktív töltőanyagként vesz részt az elegyben, mivel reakcióba lép a forró bitumennel.

### 3. Kémiaailag stabilizált gumibitumen

A kémiaailag módosított gumibitumenek kedvező tulajdonságai a nagy hőmérséklet-különbséget átélő, szélsőségesebb éghajlatú területeken lehet kifizetődő, mivel az alkalmazott speciális adalékanyagok a bitumen árát is megnövelik. Az anyag stabilitásának és állandó termékminőség garantálásának érdekében a gumit és a bitument is kezelésbe kell venni.

A kémiaailag módosított gumibitumenek létrejöttében több irányból való megközelítéssel értek el eredményeket. Memon egy összeférhetőséget javító polimer adalék alkalmazása mellett a gumi hidrogén-peroxidos aktiválását ajánlotta [Memon 1998]. A módosított bitumenek stabilizálására többen ajánlották a térhálósítást is [Defoor 2000, Stevens 2000].

Igen stabil végterméket tudott előállítani a BRIT orosz cég, mivel nagy hőmérsékleten kénport adagoltak a gumi-bitumen keverékhez. Az így keletkező kémiaailag módosított szerkezetű gumibitumen tetőfedő szigetelőlemezek, fugázó anyagok és útépítési kötőanyagok előállítására is alkalmas.

A Polyphalt szabadalmaival elő lehet állítani (a gumiőrlemény több lépcsős kezelésével) egy olyan stabil gumibitumen-koncentrátumot, aminek az alapvetően 25-80 % gumitartalmát tetszés szerint tovább lehet hígítani bitumennel, illetve vulkanizált gumiőrleményt is lehet hozzá adni (részleges degradálással vagy ennek hiányában) anélkül, hogy a stabilitását elvesztené.

A MOL Zrt. kezdeményezésére a Veszprémi Egyetem Ásványolaj- és Széntechnológia Tanszékkal közösen a módosított nedves eljárást dolgozták ki, aminek a termékét kémiaailag stabilizált gumibitumennek nevezték el. A technológia újszerűségét egy kémiai degradálás és mechano-kémiai diszpergálás kombinációján alapuló eljárás jelenti. Megfelelő adalék alkalmazása esetén a vulkanizált gumiban levő szerves töltőanyagok részvételükkel egy rugalmas diszperz rendszert alakítanak ki, és nem képeznek kicsapódó agglomerátumot. Elég nagy gumikoncentráció esetén valószínűleg stabilis polimerháló alakul ki a gumit alkotó polimerekből és ebbe a polimermátrixba változó koncentrációban tud diszpergálódni a bitumen. A tapasztalatok alapján a tulajdonságok a diszperz rendszer hígításával széles tartományban változtathatók. [Bíró Sz. 2005]

## 4. Hagyományos és gumibitumennel készült utak összehasonlítása

A Magyar Közút Veszprémi Minőségvizsgáló Laboratóriumában öt különböző 2013-ban gyártott GmB 45/80-55 vizsgálati eredményeit hasonlították össze a hagyományos 50/70-es bitumen és PmB 25/55-65 vizsgálati eredményeivel. Ezek alapján megállapítható, hogy a GmB 45/80-55 lágyuláspontja és 58 °C-on dinamikus nyíró reométerrel vizsgált  $G^*/\sin$  értékei a hagyományos 50/70-es bitumén értékeihez hasonlóak, míg a viszkozitási értékek és a maradó alakváltozások inkább a PmB 25/55-65 vizsgálati eredményeihez hasonlítanak. [Geiger A. 2008]

Jellemzők	GmB 45/80-55	50/70	PmB 25/55-65
<b>Eredeti kötőanyag</b>			
$G^*/\sin$ , 58oC-on, kPa (min. 1)	6,3	3,5	13,9
<b>RTFOT (2) után</b>			
$G^*/\sin$ , 58oC-on, kPa (min. 2,2)	9,7	8,2	2,0
<b>RTFOT+PAV (3) teszt után</b>			
$G^*\sin$ , 22oC-on, kPa (max. 5000)	1780	4950	4440
Kúszási merevség -12oC-on, MPa (max. 300)	73	177	158
m-érték -12oC-on (min. 0,300)	0,352	0,326	0,326
Teljesítmény fokozat (PG)	76-28	64-22	84-22

1. táblázat: Különböző kötőanyagok SHRP szerint mért jellemzőinek összehasonlítása  
[Geiger A. HAPA XIX. évfolyam 2014/1. szám]

### 4.1. Maradó alakváltozás

A GmB 45/80-55 felhasználásával készült AC 11 kopó (F) és AC 16 kopó (F) aszfaltok teljesítik a PmB-vel gyártott mF kopóréteg aszfaltoknál megengedett max 5%-os maradó alakváltozást (maximális eltérés 1,5%). A lágyuláspont és a  $G^*/\sin$  érték nagyban befolyásolja a maradó alakváltozás értéket, de biztos következtetést még ezekből sem lehet levonni. Kimutatások szerint a dinamikus nyíró reométerrel meghatározott nullpont nyírási viszkozitások (vagy nulla deformáció sebességhez) tartozó sebességek erősebb korrelációba vannak a maradó alakváltozással, mint a bitumenek  $G^*/\sin$  értékei. [Geiger A. 2008]

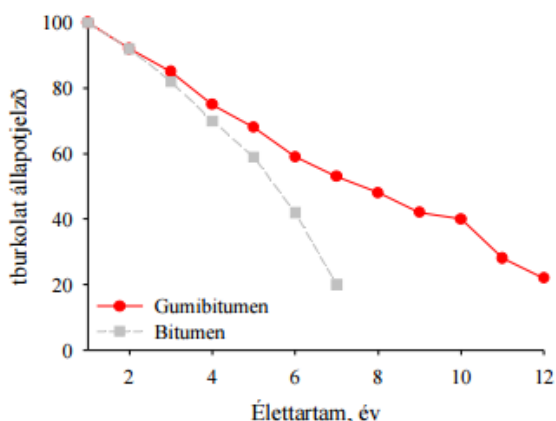
### 4.2. Fáradás

A Magyar Közút Veszprémi Minőségvizsgáló Laboratóriumában végzett fáradási paraméterek mérésekor a GmB 45/80-55 értékei voltak a legkisebbek, legkedvezőbbek. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen elvégzett hasonló vizsgálaton viszont a fáradási paraméterei a PmB 25/55-65-nél nagyobb, de a hagyományos 50/70-es bitumen értékeinél kisebbek voltak.

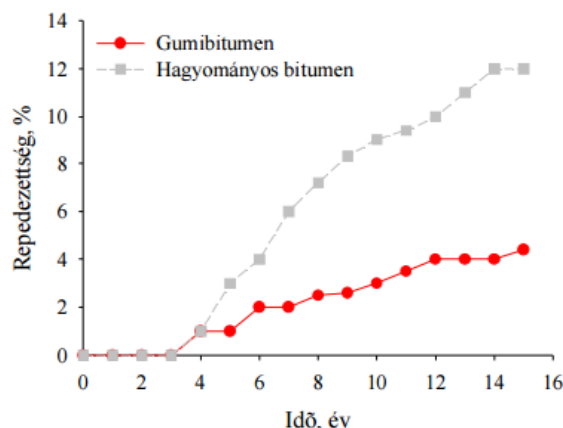
Fraas-törés hasábhajlító reométerrel  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on elvégzett viselkedésvű vizsgálatok szerint a gumiőrleménnyel módosított bitumen és -aszfalt kis hőmérsékletű viselkedése is felülmúlja az 50/70-es hagyományos és PmB 25/55-65 eredményeit. [Geiger A. 2008]

### 4.3. Költségelemzés

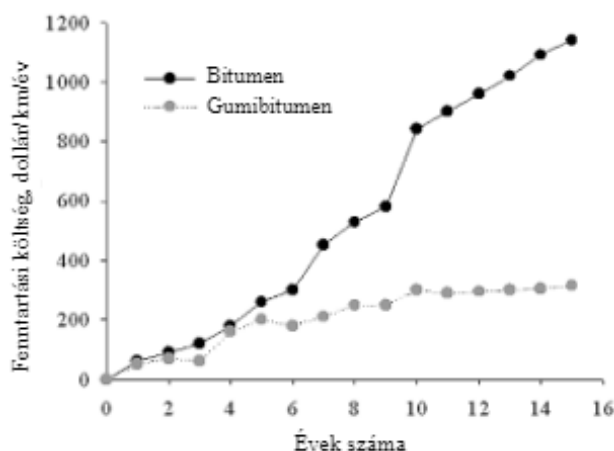
A Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. 2013 végén készített átfogó vizsgálata a 2004 és 2013 között Magyarországon megépült gumibitumennel és 50/70 hagyományos bitumennel készült utak aszfaltgyártásának és kopóréteg építésének költségeit tanulmányozta. Becsléseit a gumibitumen esetében a hagyományos 50/70-es bitumen alkalmazásának áraihoz képest +5%-kal számolta. Az 50/70-es bitumennel készült utak 10 éves élettartamához képest +50%-kal, 15 évre becsülhető a gumibitumen élettartama, viszont a fenntartási költsége még így is lényegesen kisebb. Ezek eredményeként az életciklus alatt akár 30%-os költségmegtakarítás is elérhető. Ezt szemlélteti a következő három diagram. Nem utólagos szempont az sem, hogy a gumibitumennel készült utak környezetre gyakorolt hatása kisebb, mint a hagyományos útépítési bitumenekkel készült utaké. Az aszfaltgyártás és útfelújítás energiaigénye és  $\text{CO}_2$  kibocsátása is kisebb. [Geiger A. 2008]



1. ábra: Hagományos és gumibitumennel készült utak élettartama



2. ábra: A hagyományos és a gumibitumennel készült utak repedezettségének mértéke az évek múlásával



3. ábra: A hagyományos és a gumibitumennel készült utak fenntartási költségei az évek múlásával [Geiger A. 2008]

A grafikonokból leolvasható, hogy a gumibitumen utak fenntartási költségei már az első évben kisebbek a hagyományos utak költségeihez képest. A sima bitumen 10 éves várható élettartamának elérésekor a gumibitumen fenntartási költségei még a felét sem érik el a hagyományos bitumenének. 15 éves élettartammal számolva a gumibitumen utak fenntartási költségei még mindig csak a hagyományos bitumennek megépült utak 5-6 éves költsége körüli mértékre várhatók.

Az útburkolat állapotjellemezői a hagyományos bitumenes kötőanyagú utak esetén egy kezdeti lassú leromlást követően átválnak egy gyors meredekségű állapotromlásra, majd egy bizonyos értéket elérve elkezd stagnálni. Az utak felújítását ezért nehezebb kalkulálni és ütemezni. A gumibitumen utak ezzel szemben közel lineáris görbe szerint romlanak, ami kedvezőbb a felújítási beavatkozások ütemezésekor is.

Az útpályaszerkezetek egyik legnagyobb ellensége a víz, ami a réseken és repedéseken behatolva tud igazán látványos és gyors tönkremenetelt okozni. A vizsgálatok alapján megbecsülhető, hogy a gumibitumennel készült utak 15 éves korukban nagyjából még csak annyira lesznek töredezettek és berepedezettek, mint egy hagyományos bitumennel készült út 6-7 éves korában.

#### 4.4. Beépített anyagok

Jász-Nagykun-Szolnok megyében a 3121. számú úton (11+588 – 20+003 km) a 8,4 km hosszon közel 300 tonna 45/80-55-ös gumibitument építettek be az üledékes kővázú, normál forgalomra tervezett AC 11 kopó aszfaltkeverékbe. A maradó alakváltozás és merevség vizsgálatot a Hódút Labor végezte, mely vizsgálat alapján a normál kővázú GmB kötőanyagú kopóréteg teljesítette az F és mF jelű keréknyomvályú-képződés követelményeit. A mért 3,5%-os maradó alakváltozás és 4680 MPa komplex modulus (hagyományos aszfaltkeverék komplex modulusa: 6800-7100 MPa) vizsgálati eredmények szerint a GmB 45/80-55 kötőanyagú AC 11 kopó aszfaltkeverék deformációnak ellenálló, mégis a kisebb komplex modulus értéke miatt rugalmas, kevésbé repedező pályaszerkezet építésére alkalmas. [Geiger A. 2008]

11+588 – 15+375 km	Réteg típusa	Anyaga	Vastagsága (cm)
	Kopóréteg	AC 11 kopó GmB 40/85-55	4
	Kiegyenlítő réteg	AC 11 kötő 50/70	2,5-6,0
	Meglevő itatott makadám pályaszerkezet		
15+375 – 19+000 km	Kopóréteg	AC 11 kopó GmB 40/85-55	4
	Kiegyenlítő réteg	AC 11 kötő 50/70	4
	Meglevő itatott makadám pályaszerkezet		
19+000 – 20+003 km	Kopóréteg	AC 11 kopó GmB 40/85-55	5
	Kötőréteg	AC 11 kötő 50/70	4
	Kiegyenlítő réteg	AC 11 kötő 50/70	2,5-6,0
	Meglevő itatott makadám pályaszerkezet		

2. táblázat: Beépítési rétegvastagságok

[Geiger A. Holló A., Tartós aszfaltutak a MOL új termékével, 2014. július]

#### 4.5. *Vízzáróság*

A pályaszerkezetre hulló csapadékot minél hamarabb el kell vezetni, hogy a járművek utáni vízfelverődés ne legyen nagy, ne forduljon elő vízen futás és a fényszórók visszatükröződő hatása se legyen zavaró csapadékos, nedves időben.

A megfelelő tömörítés után még gumihengert is használtak a felület jobb vízzáróságának érdekében. A bevibrált aszfaltréteg felületén levő nyitott pórusokat így le tudták zárni a felkúszó bitumenes habarccsal anélkül, hogy a felület érdessége csökkent volna. [Geiger A. 2008]

#### 4.6. *Beépítési tapasztalatok*

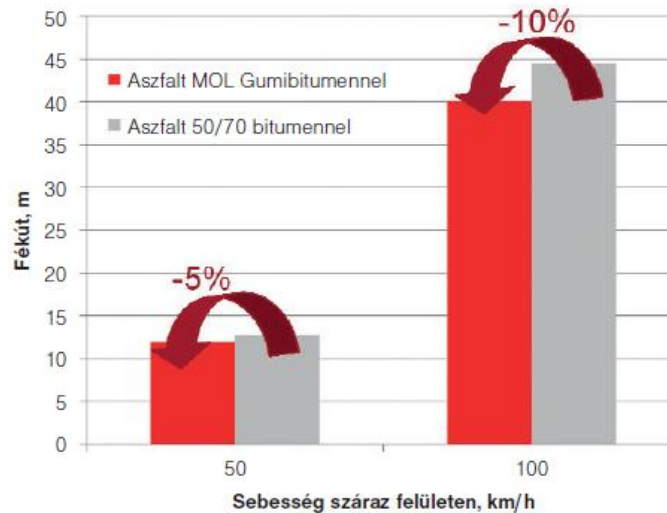
Az AC 11 kopó GmB 45/80-55 aszfaltkeverékkel készült kopóréteg szabadhézag tartalma és kötőanyag tartalma is kielégítette az ÚT 2-3.302 Útügyi Műszaki Előírás követelményeit. A folyamatos beépítés és az előírt hőmérsékleten való tömörítés, valamint a megfelelő hézagtartalom érdekében 18-20 percenként szükséges a 170 °C-os aszfaltszállítványok helyszínre érkezése. [Geiger A. 2008]

#### 4.7. *Plasztikus deformáció*

A PmB és GmB 60 °C-on történő deformáció vizsgálata során azonos eredményeket kaptak, ami arra enged következtetni, hogy a magas hőmérsékletű (nyári) viselkedése is hasonló a két anyagnak. Közepes hőmérsékletű viselkedés vizsgálatakor (fáradás) a PmB jobban teljesített, mint a GmB, viszont alacsony hőmérsékletű (téli) viselkedés vizsgálatával arra jutottak, hogy a GmB kisebb repedési hőmérséklettel rendelkezik, vagyis jobb a hideg oldali viselkedése. [Geiger A., Holló A. 2014. július]

#### 4.8. Féktávolság

A Continental Teves főleg gyalogátkelők környezetében féktávolság-vizsgálatokat végzett (2007 őszén) a hagyományos és GmB aszfaltutakon. A GmB aszfaltutakon 5-10%-os féktávolság csökkenést mértek a hagyományos aszfaltutak féktávolságaihoz képest. [Geiger A., Holló A. 2014. július]



4. ábra: A gumibitumen és hagyományos aszfaltutak fékútjainak összehasonlítása

#### 4.9. Közlekedési zajszint mérés

Közlekedési zajszint méréseket is végeztek AC 11 és SMA 11 utakon GmB és PmB kötőanyagok felhasználásával. Mindkét esetben legalább 3 dB-lel kisebb értéket mutattak ki GmB-vel készült aszfaltutakon. [Geiger A., Holló A. 2014. július]

A közlekedési zajszint mérések a 9. pontban kerülnek bővebb kifejtésre.

Aszfalt típusa	Kötőanyag	Közlekedési zaj 20°C-on, dB
SMA11	65/105-65 PmB	85,1
SMA11	MOL Gumibitumen	81,9
AC11	50/70 bitumen	80,2
AC11	MOL Gumibitumen	77,1

-3,2 dB  
-3,1 dB

5. ábra: Közlekedési zajszint mérések eredményei

#### 4.10. Tapadás

A százhalombattai Erőmű út kopórétegét 2013 szeptemberében építették meg gumibitumen felhasználásával. Egy-egy sávját két egymást követő napon aszfaltozták. A második nap elején az előző nap húzott aszfalt tengelyét függőlegesre vágták a következő sáv fogadásának előkészítő lépéseként, de a megszokott kézi módon (lapáttal, csákánnyal) nem tudták eltávolítani a fogadóréteghez való nagy tapadása miatt. A levágott aszfaltmaradékot sem tudták egyszerűen szétdarabolni, tehát nem csak a fogadó felülethez tapadt jól, hanem egymáshoz is. Végül gépi erővel távolították el a felesleges aszfaltot. [Geiger A., Holló A. 2014. július]

### 5. A gumiőrlemények összetételének hatása a gumibitumen tulajdonságaira

A műszaki gumihulladékon, személy- és teherautó-abroncon és ezek keverékéből készült őrleten, valamint egy nagy természetes izoprén (NR) tartalmú őrleményen végzett gumianalitikai vizsgálatok során azt állapították meg, hogy a gumibitumen tulajdonságait leginkább a következő három dolog határozza meg: hamutartalom, acetonban oldható rész és mesterséges poliizoprén tartalom. Ezek alapján létrehoztak egy minőségi előírást, amelyet teljesítő gumiőrlemények alkalmasak lehetnek gumibitumen gyártására. [Gergó, Geiger, Bartha]

Gumiőrlemény	Előírás
Szemcseméret (mm)	max 2 mm
Tapadó nedvesség (m/m%)	max 0,7 %
Hamutartalom (m/m%)	max 8 %
Acetonban oldható rész (m/m%)	max 12 %
Koromtartalom (m/m%)	max 35 %
Összes kaucsuk tartalom (m/m%)	min 50 %
mesterséges poliizoprén (NR+IR) tartalom (m/m%)	min 22 %
Kompatibilitási hányados*	min 1,5 %

\* (NR+IR)/(acetonban oldható rész + hamutartalom)

3. táblázat: Gumiőrlemények minőségi előírásai [Gergó, Geiger, Bartha]

Az acetonban oldható rész a gumiőrlemény lágyító olaj-tartalmával van szoros kapcsolatban. Ez nagy mennyiségben ronthatja a gumibitumen lágyuláspontját és dinamikai viszkozitását.

A hamutartalom a gumi előállításakor felhasznált szerves töltőanyag mennyiségével áll szoros kapcsolatban. Ha ez nagy mennyiségben található az őrleményben, akkor a gumibitumen gyártásakor felszabadulva nagymértékű szétüledést okozhat, ami a termék minőségének romlásával jár.



A nagyobb természetes és mesterséges izoprént (NR+IR) tartalmazó gumibitumen rugalmas tulajdonságai, lágyuláspontja és dinamikai viszkozitása is kedvezőbb. Ezek mellett a tárolási stabilitást is kedvezően befolyásolja, mivel jobb beoldódást eredményez, ami miatt kisebb a szétüledési hajlam.

Magas kompatibilitási indexű gumiőrlemény alkalmazásával kedvező lágyuláspont és dinamikai viszkozitás érhető el 135 és 180 °C-on egyaránt, valamint kevésbé hajlamos a szétüledésre, így megfelelően stabil termék gyártása lehetséges. [Gergő, Geiger, Bartha]

## 6. Magyarországon megépült gumibitumenes kötőanyagú aszfaltutak

Útépités helye	Építés éve	Kivitelező	Aszfalt típus
Zalaegerszeg, 7410 sz. út	2012	Hornyák	AC 11 kötő AC 16 kopó (F)
Százhalombatta, MOL Dunai Finomító főútja	2012	Hornyák	AC 16 Kopó (F)
Kákics, 5806 sz. út	2012	Pentavia	AC 11 kopó
Jánoshida – Jászboldogháza, 3121 sz. út	2013	Duna Aszfalt	AC 11 kopó
Mohács – Kölked, 5117 sz. út	2013	Strabag	AC 11 kötő AC 11 kopó
Százhalombatta, Erőmű út	2013	Puhi-Tárnok	AC 11 kopó
Cigánd – Pácin, 3835 sz. út	2013	Colas	AC 22 kötő (F) AC 11 kopó (F)
Budapest, Grassalkovich út	2014	Strabag	AC 22 kötő (F) AC 11 kopó (F)
Villányt elkerülő út	2014	Strabag	AC alap, kötő és kopó réteg

4. táblázat: Különböző kötőanyagok SHRP szerint mért jellemzőinek összehasonlítása  
[Nemzeti Közlekedési Napok 2014]

## 7. USA – történeti áttekintés

Különböző kutatási projektek foglalkoznak adatok értékelésével, főleg a hagyományos sűrű hot mix aszfaltkeverékek eredményeivel. Sűrű aszfaltkeverékeket az USA-ban leginkább 1956 és 1995 között építettek. A mérnöki tervezéshez szükséges adatokat és tapasztalatokat az 1956 és 1965 között létrejött korai beépítésekből gyűjtötték össze. A mix 1966-tól fokozatosan átalakult, amikor az ADOT átvette a Hveem tervezési módszert. Az 1956 és 1965 között megépült aszfaltmixek kötőanyagai 200/300, 120/150 vagy 85/100 penetrációjú bitumenek voltak, amiket az American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) tervezett és tesztelt. A legtöbb esetben a kötőanyagok vizsgálati eredményei és tesztjei összhangban voltak az American Society for Testing and Materials International (ASTM) eredményeivel.

Az 1980-as évek elején az ADOT (Arizona Department of Transportation) elkezdte alkalmazni a Marshall tervezési módszert. 1966-tól az 1990-es évekig a következő kötőanyagokat alkalmazták: 200/300, 120/150, 85/100, 60/70 és 40/50 penetrációjú bitumen (AASHTO), AR2000 és AR4000, AC30 és AC40 (AASHTO), PBA 3, PBA 4, PBA 6, PBA 7 (PCCAS) és 1997 óta Performance Grades keverékeket, mint a PG 70-10.

Arizonában a gumibitumen 80% forró aszfaltkeverékhez alkalmas bitumen és 20% abroncs hulladékból előállított gumiőrlemény keveréke. Az elmúlt évtizedekben a gumibitument stress absorbing membrane interlayer (SAMI) réteggként használják. Ez egy 2,0-3,0 liter/m<sup>2</sup>-es gumibitumen záróbevonat. [Krishna Prapoorna Biligiri, George B. Way, 2013]

Charles McDonald a 60-as években kevert gumit az aszfaltkeverékbe, amivel az volt a célja, hogy az arizonai útfelületeken levő repedéseket javítsa. A fáradási eredmények és a kedvező ár/teljesítmény arány eredménye, hogy már az egész világon (USA, Portugália, Spanyolország, Ausztria, Németország, Svédország, Ausztrália, Dél-Afrika, Kanada és Kína a teljesség igénye nélkül) elterjedt. Chicagói kutatások is foglalkoztak a környezeti szempontból fenntartható közúti hálózattal. Kalifornia állam élen jár a környezetvédelmi kérdésekben, ahol már a burkolatok 35%-át lecserélték erre az aszfaltkeverékre.

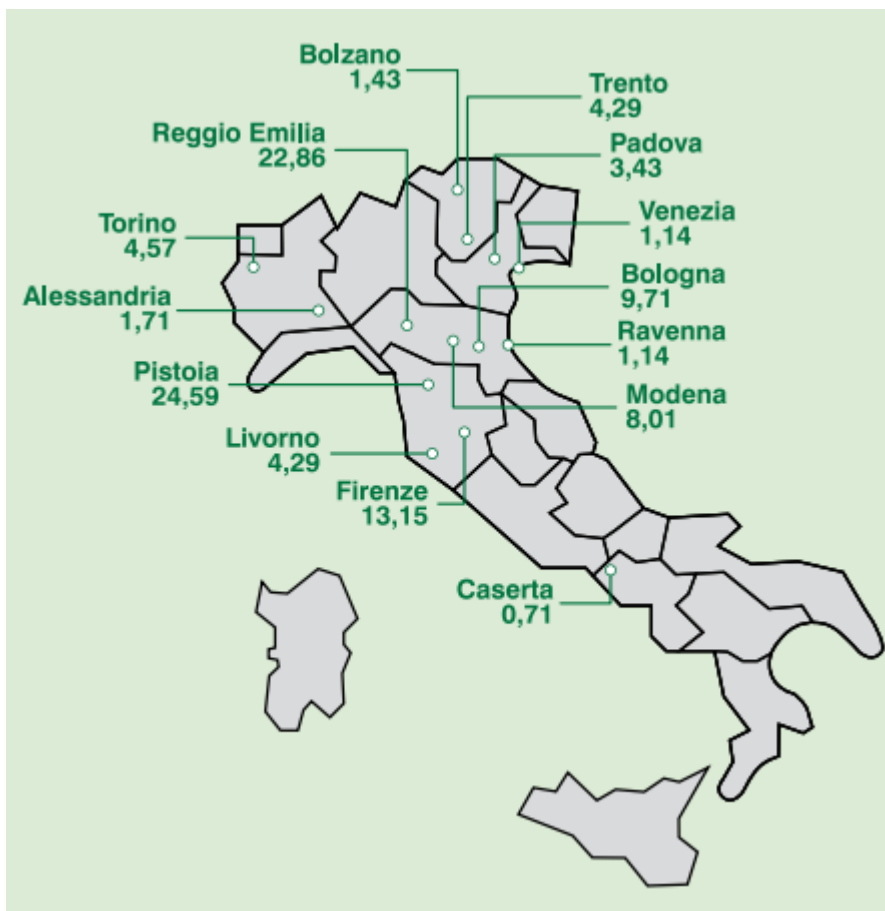
1991-ben az Intermodal Surface Transportation Efficiency Act (ISTEA) §1038(d) rendelete alapján egy bizonyos mennyiségű gumiabroncsból újrahasznosított gumiőrleményt kellett felhasználni az aszfaltburkolatok készítésekor 1994-től kezdődően. Bár az NHS a rendeletet feloldotta 1995-ben (§205(b)), rengeteg ilyen út épült meg és számtalan kutatás tárgyát képezte. Sok államban megszűnt a gumibitumenes aszfalt építése a rendelet feloldásával, azonban Floridában, Texasban és Rhode Islandben is folytatták az alkalmazását. 2005-ben a State of California Public Resource Code Section §42700-42703 jogszabályt adott ki a gumibitumenes aszfalt használatáról. A gumival modifikált aszfalt kötőanyag kutatása és fejlesztése a gumibitumen kötőanyagokra is kiterjedt. A cél az üzemben módosított aszfaltkeverékek előállításának csökkentése és a beépítési eredmények feldolgozása volt. A kevés gumibitumen beépítésével kapcsolatos kudarc a keverési eljárásához kapcsolódó rossz minőségellenőrzéshez volt kapcsolható.

Az USA-ban túlnyomó részt meleg éghajlati övezetben használták a gumibitumenes aszfaltkeveréket, ezért várhatták, hogy hideg éghajlatú utakon nem fog olyan jó teljesítményt nyújtani. A tömörítéssel voltak problémák a hideg éghajlatú területeken, ami mára már ismert beépítési problémából fakad: nagy viszkozitású anyaggal dolgozva nehéz a terítés hideg körülmények között. Az elmúlt években ez már ezeken a területeken is jól használható, mivel valamivel magasabb a kötőanyag tartalma az ilyen területekre beépíteni kívánt keverékeknek a jobb tömöríthetőség érdekében.

A meleg aszfaltmix (WMA) és gumibitumen technológiáinak kombinációjával csökkenthető a termelési hőmérséklet és szintén megkönnyíthető a terítés valamint a tömörítés is. Nem elhanyagolandó szempont, hogy így a munkásokat érő füst koncentrációja is kisebb, mint a magasabb hőmérsékletű keverékek beépítésekor.

## 8. Olaszország

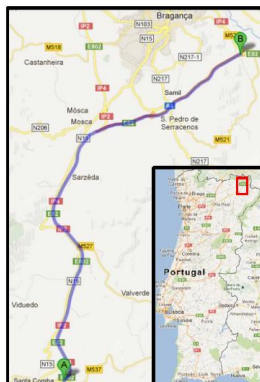
Olaszországban már több mint 50 km épült gumibitumenes keverékkel. Ilyen beavatkozások történtek Toszkánában (Emilia Romagna és Bolzano tartományban) is. A kísérletek célja a közlekedési zaj kibocsátásának csökkentése volt a városi területeken. A gumírozott aszfalt rendkívül csendes és a tapadása is optimális. Ez a kopóréteg a kedvező zajszint mellett a légköri hatásoknak is jobban ellenáll, valamint vízelvezetési szempontból is kedvező. Ez utóbbi miatt nedves időben jobb láthatóságot és tapadást biztosít.



6. ábra: 2007 és 2012 között megépült gumibitumen utak Olaszországban (beépítés km/sáv)

## 9. Portugália

### 9.1. IP4



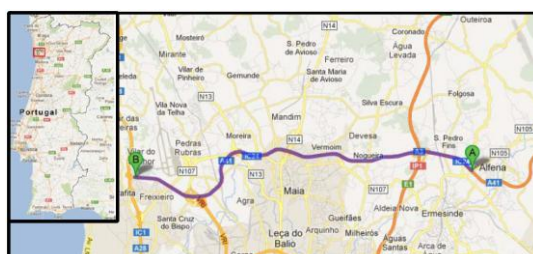
7. ábra: Az IP4-es út 19,6 km hosszú szakaszának felújítása Santa Comba de Rossas (193 + 500 km) és Bragança (213+100 km) között.

Az IP4-es út építése 1989-ben fejeződött be, azonban két évvel később a burkolaton hosszanti repedések jelentek meg. Később mozaikos repedések borították az egész szakaszt. 2002-ben a Bragança Közúti Igazgatóság (DEB) kezdeményezett egy rehabilitációs projektet. Úgy döntöttek, hogy a meglévő burkolatot remix eljárással újrahasznosítják cement hozzákeverésével, majd gumibitumenes kopóréteget építenek rá. A munka 2001 októberétől 2002 végéig tartott, amit Gabriel A. S. Couto tervei alapján, S.A. e Jeremias de Macedo & Companhia kivitelezett.

### 9.2. A41/IC24

A Grande Porto koncesszió része, ami az A41/IC24 főút Freixieiro és Alfena közti szakasz teljes hosszát: 14,25 km-t (8. ábra) érint. A beavatkozás célja az IC24-es út javítása, bővítése és erősítése volt. A fejlesztést PORTUSCALE (Construtoras das Auto Estradas do Grande Porto) végezte. A kivitelezéssel a Mota-Engil céget bízták meg.

A javított burkolat korábban mindkét irányban kétsávos (2x2) volt. A beavatkozás célja az volt, hogy irányonként egy új sáv épüljön meg, így mindkét irányban három sávossá bővítsék az utat.

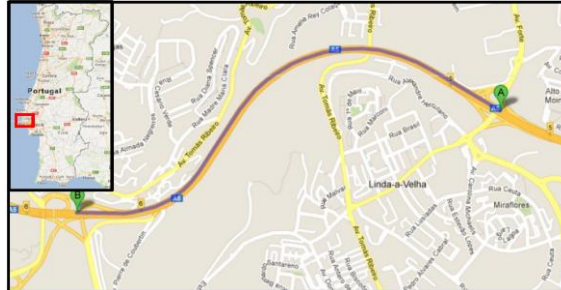


8. ábra: Az A41/IC24 felújított szakaszának beépítése és elhelyezkedése

Az egész vonalon geológiai és geotechnikai méréseket végeztek. A pálya egész hosszán gumibitumenes kötőanyagú kopóréteget építettek be (gumiőrlemény szemnagysága: 0/11 mm, porozitása: 18,3%)

### 9.3. A5

Lisszabon területén található A5-ös autópályának Linda-a-Velha (5+500 km) és Estádio Nacional (8+000 km) közötti szakaszát fejlesztették és erősítették meg.



9. ábra: Az A5 Szakasz beépítése és elhelyezkedése

Elsőször a 40-es években került megépítésre. Később Lisszabon jobb elérhetősége érdekében, a forgalom növekedése miatt bővítésre volt szükség. Utoljára 1990-ben szélesítették és javították ezt az utat.

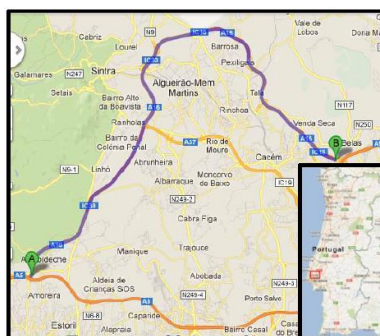
A 15 és 18 m-es betontáblák általában a közepükön repedtek meg, néhány esetben el is törtek. A hossz- és keresztirányú repedések elértek a táblák hézagait is. 2006-ig tartott a deformációk helyreállítása és a burkolat megerősítése a Brisa koncesszió részeként.

A bitumenes réteg teljes vastagsága (a helyszínen vett minták alapján) 9,5 és 22,5 cm közötti, általában 14-18 cm.

Tekintettel a meglévő burkolat leromlott állapotára, a végső felület kialakítása előtt profil helyreállítást végeztek. A betontáblák repedéseinél változó vastagságú bitumenes AC 20 réteg alá üveg- vagy szénszálalás hálót helyeztek.

### 9.4. A16

Az A16 az Ascendi koncesszió mintegy 23 km-es része. Elhelyezkedését az következő ábra mutatja be.

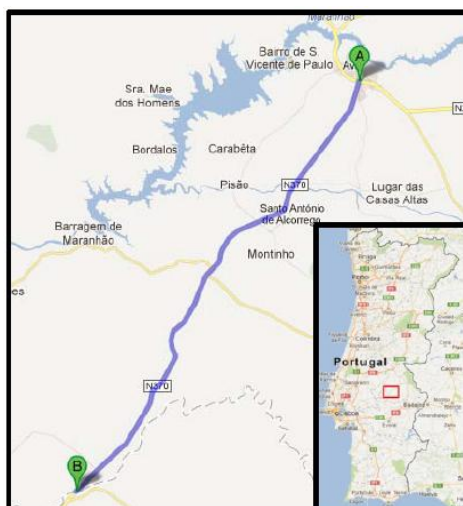


10. ábra: Az A16 szakasz beépítése és elhelyezkedése

### 9.5. EN 370

A Mota-Engil cég által végzett munka az EN 370-es út Avis (21+050 km) valamint Portalegre és Évora határa (km 35 + 584) közötti szakaszán több mint 14,5 km út felújítását jelentette.

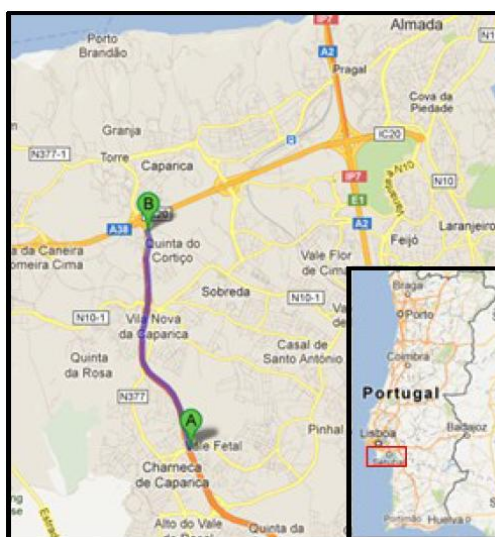
A kopóréteg beépítése előtt egy 4 cm vastag AC 20-as szabályozó réteget fektettek. Az érdesített kopóréteg Dias (2011) által kifejlesztett száraz eljárással előállított gumival épült meg.



11. ábra: Az EN 370 szakasz beépítése és elhelyezkedése

### 9.6. IC32

Az IC32 (jelenleg A33) Casas Velhas/Palhais részén kb. 3 km hosszú szakaszon lágy aszfaltos gumibitumennel épült meg. Az 12. ábra mutatja a beavatkozás helyét.



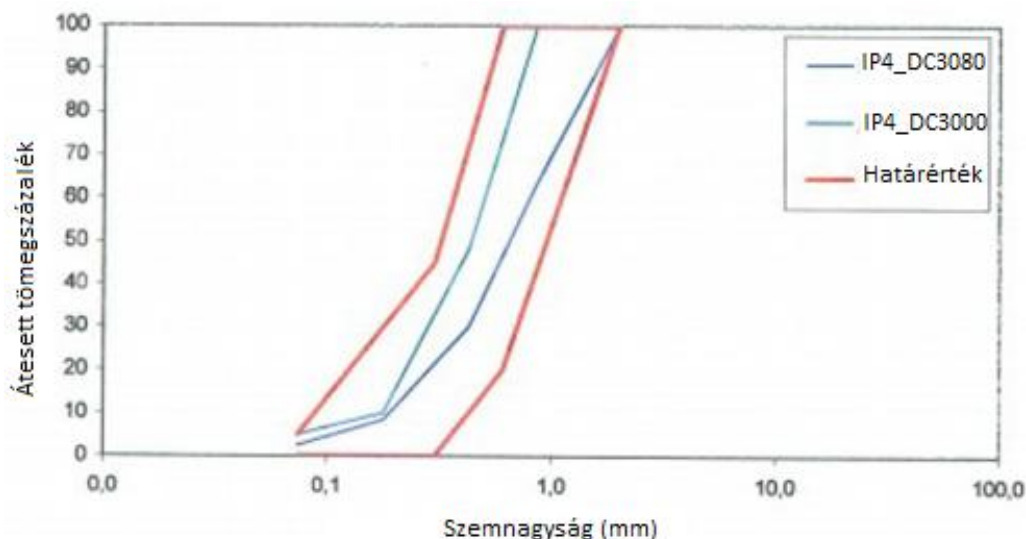
12. ábra: Az IC32 szakasz beépítése és elhelyezkedése

### 9.7. Portugál beépítési adatok összefoglalása

Szemcseátmérő (mm)	IP4		A5	határérték	A16	
	DC3080	DC 3000			szemcseátmérő (mm)	áthullott %
2,000	100	-		100	1	100
1,180	-	-	100	65-100	0,8	100
0,850	64	100	95-100	-		
0,600	-	-	85-100	20-100		
0,425	30	48	45-70	-		
0,250	-	-	5-25	0-45		
0,177	8	9	-	-		
0,075	3	6	0-5	0-5		

5. táblázat: A gumiőrlemény szemcseméretének összetétele  
[Gruas, 2009. március]

Az IP4-es úton végzett munkához két féle gumiőrleményt használtak. A javító réteghez DC3000-as, a kopóréteghez DC3080-as jelű gumit építettek be. A gumi szemeloszlását ASTM D5644-96 (Standard Test Method for Rubber Compounding Materials) szabvány szerint határozták meg újrashasznosított vulkanizált gumiból. A gumiőrlemény szemeloszlása a kopórétegben 0,075/0,85 mm, a javító rétegben pedig 0,075/0,425 mm. Ezt szemlélteti a fenti táblázat IP4-es oszlopa és a lenti grafikon.



53. ábra: Az IP4-es úthoz felhasznált gumiőrlemény és a határértékek szemeloszlási görbéi

Tulajdonságok / Útszakaszok	IP4	EN 370 – 20 és 30 % gumit tartalmazó bitumen értékei
Penetráció (25 °C, 100 g, 5s), 10 <sup>-1</sup> mm	46	38
Lágyuláspont, °C	54,2	55,3
Kinematikus viszkozitás (135 °C), mm <sup>2</sup> /s	663	-
Rugalmasság, %	-	9
Viszkozitás, cP	-	102

6. táblázat: Az IP4-es úthoz felhasznált bitumen tulajdonságai  
[Gruas, 2009. március]

Az IP4 kopórétegéhez újrahasznosított gumival kevert bitument használtak. A beépítéskor egy hagyományos, 35/50 névleges penetrációjú és közel 50 °C-os lágyulásponttal rendelkező bitument alkalmaztak.

Az A16-os út felújított szakaszának kopórétegét hagyományos rugalmas szerkezetre építették. A kopóréteg 2,5 cm vastag szakaszos szemeloszlású gumival elkevert lágy bitumenből készült. A hagyományosnál nagyobb viszkozitású, 35/50-es penetrációjú bitument alkalmaztak, amely kedvező rugalmassági tulajdonságokat és nagyobb öregedési ellenállást eredményezett.

Az EN 370-es úthoz alkalmazott bitumen megfelel a Galp által szállított hagyományos 35/50-es névleges penetrációjú bitumennel. A keverékhez használt 35/50-es bitument 170 és 180 °C között tárolták. A tömörítést 165 és 175 °C között végezték.

IP4		
Réteg típusa	Kőanyag típusa	%
Kopóréteg	Kavics 10/15	40
	Kavics 5/10	33
	Por	24
	Portland cement	3
	A gumi aránya a bitumenben	8,1
Javítóréteg	Kavics 12/16	6,4
	Kavics 6/12	49,7
	Por 3/6	24,8
	Por 0/3	9,2
	Finom rész	1,8
	A gumi aránya a bitumenben	8

7. táblázat: Kőanyag-összetétel 1/2  
[Gruas, 2009. március]



A5		A16		EN 370	
Névleges szitaméret (mm)	Átesett anyag tömegszázaléka (%)	Névleges szitaméret (mm)	Átesett anyag tömegszázaléka (%)	Névleges szitaméret (mm)	Átesett anyag tömegszázaléka (%)
1,180	100	12,5	100	14	100,0
0,850	95-100	10	75-97	10	92,0
0,600	85-100	4	14-24	8	66,6
0,430	45-70	2	11-22	4	25,3
0,250	5-25	0,5	8-16	2	17,9
0,075	0-5	0,063	5-7	0,500	10,6
				0,063	5,1

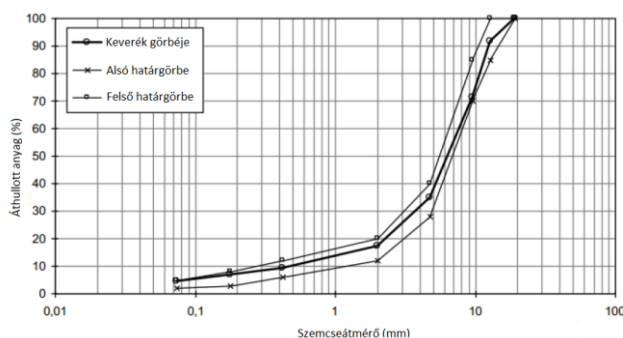
8. táblázat: Kőanyag-összetétel 2/2  
[Gruas, 2009. március]

A5		A16		EN 370		IC32	
Adalékanyag	Frakciók aránya	Adalékanyag	Frakciók aránya	Adalékanyag	Frakciók aránya	Adalékanyag	Frakciók aránya
Szemcsés frakció 4/6 bazalt	49%	kavics 6/12	76%	Zúzott kő 6/14	65%	Gránit 6/10	74%
Szemcsés frakció 6/10 diorit	39,9%	por 0/3	20%	Zúzott kő 4/6	15%	Mész 0/4	12%
Hidraulikus mész	1,8%	finom rész (CEM II, hidraulikus mész vagy mészkő por)	4%	Kavics 0/6	18%	Kavics 0/4	10%
Gumibitumen	9,3%			Finom rész	2%	Finom rész	4%

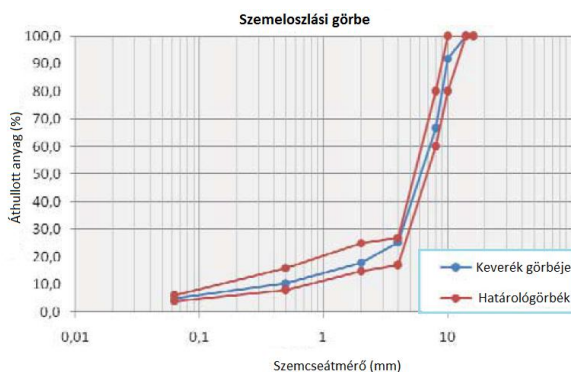
9. táblázat: Építéskor használt kőanyagok  
[Gruas, 2009. március]

	A5	A16	EN 370	IC32
Porozitás (%)	12-18	min 12	7,4	13,2
VMA (%)	-	min 18	-	24,0
Gumi aránya a kötőanyaghoz képest (%)	-	-	21,8	-
Sűrűség g/cm <sup>3</sup>	-	-	-	2,12
Keverék kötőanyag-tartalma (%)	-	6 ± 0,5	8,6	-
Metilénké érték (g/kg)	-	max 0,8	-	-
Vízfelvétel	-	max 2%	-	-

10. táblázat: A különböző utak egyéb tulajdonságai  
[Gruas, 2009. március]



64. ábra: Az EN 370-es út felújításakor használt kőanyagok szemeloszlási görbéje



75. ábra: Az IC32-es út felújításakor használt kőanyagok szemeloszlási görbéje

### 9.7.1. Portugál gumibitumen utak beépítési rétegvastagságai

Az A5-ös út előkészítő munkáinak befejezése után polimerrel modifikált bitumenemulziót permeteztek a felületre, végül 3 cm vastagságú gumibitumen kopóréteget építettek.

Az IP4-es út 196+970 és 207+380 km közötti szakaszán a meglévő burkolatot újrahasznosították cementtel, így körülbelül 35 cm-es réteget alkotva. Az újrahasznosított meglévő burkolatot a helyszínen keverték össze 3,5 tömegszázalék cementtel (CEM II / BL 32,5N).

Az újrahasznosított anyagból előállított szerkezet 16 cm bitumenes rétegből és 14 cm zútottkőből áll elő. Az új cementtel kezelt alapréteg és a kopóréteg is tartalmaz gumibitumént.

IC24		
Réteg típusa	Anyaga	Vastagsága (cm)
Kopóréteg	Gumival kevert bitumen	3
Kopóréteg	AC 20 kopó	5
Kötőréteg	AC 20 kötő	8+8 vagy 8+9
Kötőréteg	Nagy szemcseméretű zútottkő	15
Alapréteg	Nagy szemcseméretű zútottkő	15

10. táblázat: Az IC24-es út beépítési vastagságai

[Gruas, 2009. március]

Az IC24-es út felújított szakaszának beépítési vastagságait az előző táblázat részletezi. Az alsó bitumenes réteg és az alapréteg között impregnálást végeztek egy lassan kötő kationos bitumenemulzióval (úgynevezett ECL-1), amit  $1,0 \text{ kg/m}^2$  arányban alkalmaztak. A rétegek közötti összekapcsoló elem egy gyorsan kötő kationos bitumenemulzió (úgynevezett ECR-1), amit  $0,5 \text{ kg/m}^2$  arányban alkalmaztak. A kopó- és kötő réteg között alkalmazott impregnálást polimerekkel módosított bitumenemulzióval végezték  $0,5 \text{ kg/m}^2$  arányban.

A sérült burkolaton és keresztmetszetekben előkészítő munkára volt szükség, ahol mozaikos hámlás miatt nem volt folyamatos a burkolat kapcsolata. Ezekben a helyeken további marásra volt szükség, ami így elérte a 7 cm-t. A bitumennel impregnált geotextília kihelyezése után elérték az AC 20-as réteg magasságát. Az úttest szélének azon a helyein, ahol a szemrevételezéskor repedéseket észleltek, ott elvégezték a rések alatti tömörítést is. [Rodrigues 2012. december]

## 10. Zajszintmérés

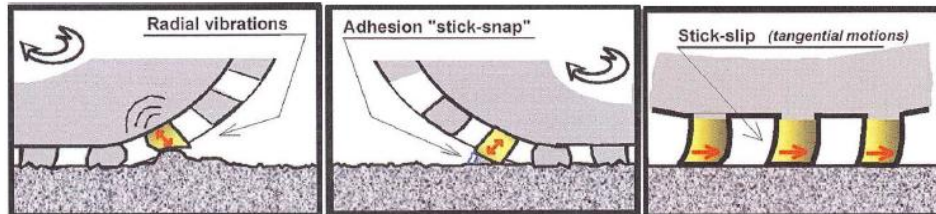
A gördülési zaj kialakulását befolyásoló egyik tényező az útburkolat jellege, hiszen a szemnagyságtól, a porozitástól és a felületi egyenetlenségtől függően az útburkolat más-más módon viselkedik.

A gördülési zaj kialakulását jelentősen befolyásoló másik tényező a gépjármű sebessége. Általános szabályként elmondható, hogy az 50-60 km/h sebességgel vagy ez alatt közlekedő könnyűgépjárművek esetében a zaj túlnyomórészt mechanikai eredetű, viszont az ennél nagyobb sebességgel közlekedők esetében a zaj inkább a gördülésből származik. A nehézgépjárművek esetében ez a határ 70-80 km/h.

A kísérletek azt is kimutatták, hogy a gumiabroncs és az útburkolat között fellépő kölcsönhatás szerepet játszik a gördülési zaj kialakulásában, a gumiabroncs felépítésétől és anyagától függően. Az útburkolattal való kölcsönhatása számos zajkeltési mechanizmust eredményez. Ezeket a mechanizmusokat rezgési és aerodinamikai csoportokra oszthatjuk.

A rezgési mechanizmus során a gumiabroncs és az útburkolat között határfelületi súrlódás jön létre. A gumiabroncsok barázdáinak az útburkolattal való érintkezése során lokálisan ható, alacsony frekvenciájú zajt kibocsátó (<100 Hz) rezgések keletkeznek, amelyek nagy jelentőséggel bírnak a ferde barázdáltságú gumiabroncsok esetében.

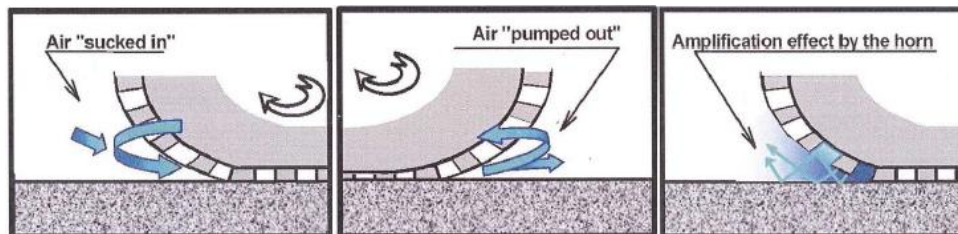
A gumibroncsok felületi barázdái a mozgás irányába ható hosszirányú rezgéseket bocsátanak ki. A gumibroncs és az útfelület között adhézió lép fel. Ez nem más, mint a gumibroncs felülete és az útfelület közötti szívóhatáshoz hasonló tapadási súrlódás. Miközben a gumibroncsok felületi barázdái érintkeznek az útfelülettel, tapadási súrlódás jön létre tangenciális rezgéseket eredményezve.



16. ábra: A gördülési zaj kialakulásának mechanizmusa  
[Gruas 2009. március]

Miközben a gumibroncs felülete érintkezik az útfelülettel, a köztük rekedt levegő összenyomódása és kitérülése eredményezi a szívóhatást. Ez nem más, mint az aerodinamikai mechanizmusok által keltett gördülési zaj.

Ezek a mechanizmusok mind a gördülési zaj erősödését, mind a csökkenését eredményezhetik. A közepes és magas frekvenciájú (> 1000 Hz) gördülési zaj kialakulását ugyanezen mechanizmusok okozzák. A levegő szívóhatásának következtében keletkező zajszint egyenes abroncsbarázdáltság esetén nő, viszont bizonyos fokig ferde abroncsbarázdáltság esetén csökken.



17. ábra: A gördülési zaj kialakulásának mechanizmusa  
[Gruas 2009. március]

## 10.1. Helyszíni zajszintmérés

A közúton végzett helyszíni zajszintmérés során olyan zajszintmérőt használunk, amely rögzíti a mikrofon (vagy mikrofonok) által begyűjtött hangot és azt a határértékekkel összeveti. A közúti zajszintmérésre szolgáló mikrofonok mind helyhez, mind járműhöz rögzített módon üzemelhetnek.

### 10.1.1. Terepen rögzített mikrofonok

#### 10.1.1.1. Valós forgalmi mérések

A zajszennyezettségi problémák megoldása céljából végeznek valós forgalmi méréseket. Ez a módszer azonban nem alkalmas annak a kimutatására, hogy az útburkolat felületi tulajdonságai hogyan befolyásolják a zajszintet, hiszen ez utóbbi elsősorban a forgalom mértékétől függ.

#### 10.1.1.2. Zajszintmérés gyorsuló gépjármű elhaladásakor (APB módszer)

Az Acceleration Pass-By-nak nevezett mérési módszert fejlesztették ki először, amelyről az ISO 362:1998 szabvány ad leírást. A vizsgált szakasz felületének tulajdonságaira az ISO 10844:1994 szabvány ad minősítési kategóriákat. Ezen mérési módszer során a gépjármű közel állandó sebességgel halad egy kijelölt szakasz eléréséig, majd maximális sebességre kapcsolva addig gyorsul, amíg túlhalad a vizsgált útszakaszon.

A gépjármű pályájának számos szakaszán mérhetünk maximális zajszintet, alapértéket azonban csak a gépjármű gyorsulásakor beállt zajszintből veszünk. Ezen mérési módszer során a motor-és kipufogózaj valamint a gördülési és aerodinamikai zaj is hozzáadódik a mért értékhez.

#### 10.1.1.3. Zajszintmérés holtponton áthaladó gépjármű esetében (CB módszer)

A Coast-By-nek nevezett mérési módszer az előző módszer egyik változata. A módszer alkalmazása során a gépjármű motorját kikapcsolják a mérési vonalhoz érkezés előtt és áthaladnak vele a holtponton. Ezzel a mérési módszerrel meglehetősen jól lehet jellemezni a gördülési zajt; a hátránya azonban az, hogy a háttérforgalom hatással lehet a mért értékekre. Amíg elfogadható eredményeket nem kapunk, a zajszintmérést újból és újból meg kell ismételni.

#### 10.1.1.4. Zajszintmérés állandó sebességgel közlekedő gépjármű elhaladásakor (CPB módszer)

A Controlled Pass-By az előző mérési módszer egy másik változata, amelyet eddig főként Franciaországban alkalmaztak. Ezen mérési módszer során kiválasztanak néhány, különféle előírásoknak megfelelő gépjárművet és egyenként, állandó sebességgel, járó motorral áthaladnak velük a vizsgált útszakaszon. A forgalom okozta kellemetlenségek elkerülése céljából, a méréseket éjszaka vagy lezárt útszakaszon végzik.

#### 10.1.1.5. Elhaladó járművek statisztikája (SPB módszer)

Ezt a mérési módszert arra használják, hogy kimutassák, hogy az útburkolat milyen hatással van a városban élőket érintő gördülési zaj kialakulására. A Statistical Pass-By módszerről az UNE-EN ISO 11819- 1:2002 szabvány ad leírást. A módszer alapját a jelentős számú, különböző sebességgel haladó gépjármű (Személy- és kis tehergépkocsi, közepesen nehéz- vagy nehéz tehergépkocsi) által keltett zaj mérése képezi.

A mért értékek alapján határozzuk meg az SPBI zajszint indexet. Ez a módszer nagyon hasznos olyan kutatások során, amelyek a vizsgált pontok útburkolatának zajkeltő hatását hivatottak összehasonlítani különböző időjárási és forgalmi viszonyok között. Ugyanakkor ez egy lassú mérési eljárás is, hiszen csak egy adott vizsgálati pontra igaz értékek megállapítását teszi lehetővé.

### **10.1.2. Járműre rögzített mikrofonok:**

#### 10.1.2.1. Terepen végzett zajszintmérés (CPX módszer)

Ez a mérési módszer a legalkalmasabb a gördülési zaj jellemzésére, amelynek alkalmazása során egy vagy több mikrofont helyezünk ki a jármű és az útburkolat érintkezési felületének közelében. A közel-téri mérést a kerék közelében tartókonzolokra rögzített mikrofonok segítségével vagy utánfutóval végezzük.

#### 10.1.2.2. Zajszintmérés laboratóriumban

A laboratóriumi kísérletek során az impedancia módszert alkalmazzák a legtöbbit. A módszer mérési eljárásáról az EN ISO 10534-2:2001 szabvány ad leírást. Az impedancia-cső egy olyan henger alakú műszer, amely a hangelnyelés mérésére szolgál. A mérés során kibocsátott hanghullámok a cső belsejében vagy visszaverődnek, vagy elnyelődnek. A cső belsejében elhelyezett mikrofonokon keresztül mérik a keletkező hangot, amelyből a feldolgozást követően meghatározzák a hangelnyelési tényezőt. A hangelnyelési tényező függ az anyag sűrűségétől, lyukacsosságától és a köztük lévő kapcsolattól. Helyszíni mérés során az impedancia-csövet egy speciális műszer segítségével helyezik rá az útburkolat felületére.

### **10.1.3. Zajszintmérés empirikus becslés alapján**

Ezzel a módszerrel nem méréseket, hanem zajszint becslést végzünk többé-kevésbé egyszerű számítási rendszerek segítségével. A módszer alkalmas zajtérképek készítésére is, ugyanakkor nem teszi lehetővé az útburkolat felületi tulajdonságainak a pontos meghatározását.

## **10.2. Gumiőrleményes burkolat funkcionális sajátosságainak vizsgálata**

A bitumen burkolat számos, évekig tartó kutatás tárgyát képezte bel- és külföldön egyaránt, hiszen ezek használata igen elterjedt az egész világon. A továbbiakban a fentiekben leírt felületi tulajdonságokra vonatkozó kutatásokat fogom bemutatni.

A legtöbb ilyen jellegű kutatást az Egyesült Államokban végezték. Egy, a Kansas állambeli Közlekedési Főosztály által végzett zajszintmérés során gumiőrleményes beton felhasználásával előállított aszfaltkeverékeket vizsgáltak. A kutatás során azt mérték, hogy a vizsgált útszakaszok zajszintje hány százalékkal csökkent.

A gördülési zaj mérése során a CPB (Controlled Pass By) módszert alkalmazták. Ezt Spanyolországban az állandó sebességgel haladó gépjárművek által keltett gördülési zaj méréseire használják. A vizsgálati sebesség 88 km/h (55 mérföld/óra) volt.

A Federal Highway Administration (FHWA) szakemberei számos zajszintmérést végeztek az SPB módszer alkalmazásával, 88 km/h sebességgel haladó gépjárművek segítségével, különböző vizsgálati útszakaszokon. Az eredmények elemzését követően az alábbi következtetésekre jutottak:

- A betonburkolat 3 dB-lel nagyobb zajt kelt, mint a sűrű bitumenkeverék.
- A nyitott hézagú burkolat körülbelül 1,5 dB-lel kisebb zajt kelt, mint a sűrű keverékek.
- Kamion elhaladásakor a betonburkolat 2 dB-lel nagyobb zajt kelt, a nyitott hézagú burkolat pedig 0,5 dB-lel kisebbet, mint a bitumenes burkolat.

A Federal Highway Administration és a National Center for Asphalt Technology (NCAT) közös kutatást indítottak 2002-ben, hogy a laboratóriumi és a CPX módszerrel mért zajértékek között korrelációt találjanak és ennek megvalósítása céljából két kutatócsoportot állítottak fel. Az egyiket az Arizona Department of Transportation (ADOT) részére, a másikat pedig a National Center for Asphalt Technology (NCAT) részére.

A kutatás első részében azt vizsgálták, hogy a gumibroncs barázdáltsága milyen hatással van a gördülési zaj kialakulására.

Tire Type	CPX Noise Level dB(A)
ASTM Slick	91.2
UniRoyal Tiger Paw	92.4
ASTM 501- Ribbed	93.8
Firestone FR 380	93.9
MasterCraft Glacier Grip	94.7
Goodyear Aquatread	94.9
Michelin Rain Forest	95.2

**12. táblázat: Különböző abroncsok CPX eredményeinek összefoglalója**  
[Gruas 2009. március]

A kutatás második részében pedig zajszintmérést végeztek Phoenix nagyvárosi övezetében. Az általuk mért értékeket aztán összevetették az ADOT kutatócsoport által mért értékekkel. Szükséges volt azonban megvizsgálni, hogy a két kutatócsoport vajon két külön vontatójárművet használt-e a méréseik során. A mért értékek a lenti táblázatban láthatóak.

Pavement Surface	Aquatred dB(A)		Michelin dB(A)		UniRoyal dB(A)	
	NCAT	ADOT	NCAT	ADOT	NCAT	ADOT
1 - PCCP	101.5	99.9	103.9	104.0	104.0	101.8
2 - ARFC	93.2	93.6	96.4	95.4	96.7	94.6
3 - PEM	96.7	95.9	98.6	97.8	98.2	95.8
4 – SMA	96.8	95.5	99.0	97.2	98.6	96.9
Average	97.0	96.2	99.5	98.6	99.3	97.2

**13. táblázat: Zajszint mérési eredmények összehasonlítása**  
[Gruas 2009. március]

PCCP: Portland Cement Concrete Pavement

ARFC: Asphalt Rubber Friction Coarse

PEM: Porous European Mix

SMA: Stone Mastic Asphalt

Ahogy láthatjuk, az ARFC kopóréteg által keltett zaj kisebb, mivel a burkolat gumiőrleményes bitumenből készült.

A kutatás következő szakaszában CPX módszer alkalmazásával végeztek zajszintmérést szabadhézagú-, sűrű- és masztix aszfaltkeverékből készült burkolatokon. A New Jersey, Maryland, Colorado és Virginia államokban végzett mérések eredményei láthatók a 14. számú táblázatban, amely rámutat a zajszint és a maximális szemcseméret közötti összefüggésre. A táblázatból egyértelműen megállapítható, hogy a maximális szemcseméret növekedésével a zajszint is nő. Ezeknek a masztix aszfaltkeverékeknek a használata (Stone Mastic Asphalt) az Egyesült Államokban a legelterjedtebb.

State	Noise Level dB(A)	Mix	Date Placed
NJ	100.5	19 mm	-
MD	95.5	9.5 mm	2002
MD	97.7	12.5 mm	2003
MD	98.9	12.5 mm	2003
MD	99.0	19 mm	1994
CO	96.2	12.5 mm	2002
CO	96.3	19 mm	2003
CO	96.9	19 mm	2002
VA	100.0	12.5 mm	2003
VA	99.6	12.5 mm	2003
VA	98.8	12.5 mm	2003
VA	97.6	9.5 mm	2003
VA	97.4	9.5 mm	2003
VA	98.4	12.5 mm	2003
VA	99.4	12.5 mm	2003
VA	99.6	12.5 mm	2000
VA	98.8	12.5 mm	2003

**14. táblázat: SMA adalékanyagának maximális mérete a zajszint mérések alapján  
[Gruas 2009. március]**

Olaszországban is kutatást végeztek a szabad hézagú és a sűrű aszfaltkeverékekből készült útburkolatok zajszintjének összehasonlítása céljából. A mérések során megállapították, hogy a szabad hézagú keverékek alacsony frekvencián magas zajszintet eredményeznek, és ez összefüggést mutat a keverékek makrotextúrájával.

Dániában a CPB módszer alkalmazásával végeztek zajszintmérést szabad hézagú aszfaltburkolatokon. A következő táblázat mutatja a keverékek tulajdonságait.

Megnevezés	Évek	Textúra (mm)	Frakció	Vastagság (cm)	
Nyitott keverék	3	0,139	0,68-0,71	2,7	9,3
Nyitott keverék	3	0,119	0,72-0,77	3,5	8,7
Nyitott keverék	3	0,197	0,69-0,74	4,0	5,2
Gumibitumenes keverék	2	0,069	0,70-0,78	3,1	3,3
Nyitott keverék	4	0,125	0,78-0,83	-	3,3
Sűrű keverék	4	0,079	0,79-0,84	2,0	5,7
Masztix aszfalt	4	0,108	0,73-0,76	5,0	3,5

**15. táblázat: A Dániában tanulmányozott futófelület jellemzői  
[Gruas 2009. március]**



A kutatók a mérések során arra a következtetésre jutottak, hogy a különböző utak zajszintje között akár 2-3 dB eltérés is lehet, és a maximum 8-12 mm méretű, szabad hézagú felületek zajszintje 1 dB-lel kisebb a nagy pórustartalmú felületekéhez képest.

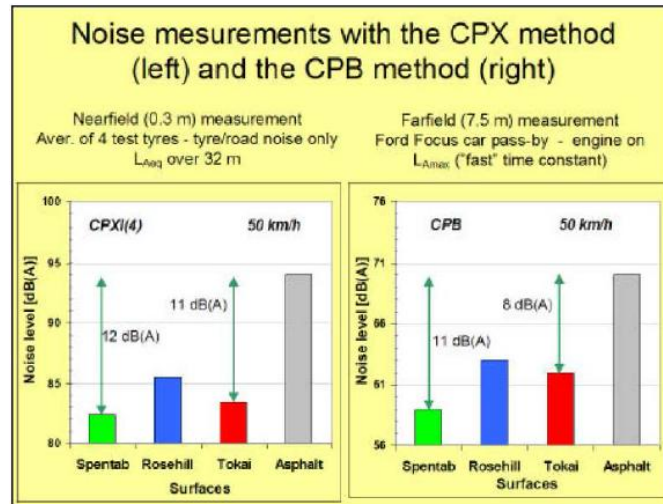
A FEHRL (Forum of European National Highway Research Laboratories) az 1989-es megalapítását követően egy, a SILVIA (SILenda VIA) névre keresztelt, nagyszabású kutatási projektet indított, amelyben osztrák, német, belga, holland, dán, francia, svéd, olasz, norvég, brit és lengyel laboratóriumok és kutatóközpontok is részt vesznek. A kutatási projekt célja, hogy biztosítsa a hatóságoknak a közutak zajszintméréséhez szükséges eszközöket. A sok mérés közül az egyik az alacsony zajszintű burkolat megvizsgálására irányult.

A kutatás során vizsgált összes anyag közül kiemelendők a porózus keverékek a nagy hézagtartalmuk, a kaucsuk-rostok és más elasztomereknek köszönhető rugalmas viselkedésük miatt. 2005-ben Ulf Sandberg és Björn Kalman a Svédországban végzett kutatásuk eredményeiről számoltak be, amelyben porózus kopórétegű útszakaszt vizsgáltak. A kopóréteget három keverék alkotta. Az első kettőt, vagyis a Tokai és Rosehill keverékeket 1x1 m<sup>2</sup>-es táblákban importálták Japánból és az Egyesült Királyságból. A harmadikat, vagyis a Spentab keveréket helyben állították elő.



8. ábra: Különböző keverékek beépítésének elrendezése

A CPX és CPB módszerek alkalmazásával végzett zajszintmérés során kapott eredmények azt bizonyítják, hogy a Spentab keveréknek a legjobb a zajelnyelő képessége.



9. ábra: Különböző keverékek zajszintmérése

Az aszfaltkeverékekben nem következett be sem felületi hámlás, sem kioldódás, viszont gyenge a tapadása az alapréteghez.



100. ábra: A rétegek tapadásának hiánya

Spanyolországban a COLLOSA nevű cég együttműködésben a CEDEX-szel és a CIDAUT Alapítvánnyal zajszint mérést végzett Valladolid néhány forgalmasabb utcáján a zajszennyezettség csökkentése céljából.

	1-es útszakasz	2-es útszakasz	3-as útszakasz
Bitumen típusa	60/70 bitumen	gumibitumen	BM-3c bitumen
Bitumen aránya a keverékben %	4,97	4,95	4,86
Marshall stabilitás %	1,914	10,8	14,9
Marshall deformáció %	2,48	16,4	21,3
Keverék hézagtartalma %	5,87	18,74	20,17
Tömörítés %	87	-	-

16. táblázat: Az útszakaszokhoz használt bitumenek tulajdonságai

[Gruas 2009. március]

A kutatók arra a következtetésre jutottak, hogy a 2-es számú vizsgálati útszakaszon használt keverék zajszintje a CPX módszer alkalmazása során átlagosan 1 dB értéket javult az 1-es számú vizsgálati útszakaszéhoz képest. Ugyanakkor a 2-es és 3-as számú vizsgálati útszakaszokon hasonló értékeket mértek, de a 2-es számú útszakasz, amelynek burkolata kaucsukot is tartalmazott zajkeltés szempontjából jobb besorolást ért el. A CPB módszer alkalmazása során a 2-es számú vizsgálati útszakasz zajszintje az 1-es számú útszakaszéhoz képest 1 dB-t csökkent. [Gruas 2009. március]

## 11. Vizsgálati nehézségek

A bitumenektől elvárjuk, hogy alacsony hőmérsékleten ne viselkedjenek ridegen, magas hőmérsékleten pedig ne lágyuljanak, illetve a tulajdonságait az idő múlásával is megtartsák, ne öregedjenek. A bitumenek osztályozásához a következő termékazonosító vizsgálatokat kell elvégezni:

- penetráció
- lágyuláspont
- Fraas-töréspont
- duktilitás

Fraas-féle töréspont MSZ EN 13163 szabvány szerinti vizsgálatokor homogén, előírt vastagságú bitumenfilmet kell felvinni az adott méretű lemezre, ami a gumibitumen inhomogenitása és a gumidarabok mérete miatt nem kivitelezhető. A gumibitumenek hidegviselkedésének meghatározásához tehát ez a vizsgálati típus nem ad pontos információt. Megoldás lehet a duktilitás (MSZ EN 13161) és a rugalmas visszaalakulás (MSZ EN 13398) 7°C-on, penetráció (ASTM D6114:97(2002)) 4°C-on történő vizsgálata. Mára már olyan szimulációs módszert is kidolgoztak, ami képes megjósolni az útépitési- és gumibitumenekből készült aszfaltok repedésének legvalószínűbb kiindulási helyét és a várható idejét. [Minhoto 2003]

Az aszfalt burkolatok minőségét és tartósságát nagyban befolyásolja a kötőanyag és kőzet közötti tapadás. Ha ez nem megfelelő, akkor minőségromláshoz vezet. Ennek az adhézióknak a javítására több gyártó készít és fejleszt tapadásjavító adalékokat. Az MSZ EN 12691-11:2006 szabvány („forgó palackos teszt”) szerint végzett laboratóriumi tesztek azt mutatták, hogy a vizsgálatok eredményeiben csak minimális különbséget okoznak a különböző adalékanyagok és az adalékanyag nélküli referencia mintától sincs jelentős eltérése.

Az osztrák ÖNORM B3682 statikus tapadásvizsgálathoz hasonlóan a kiértékelés szemrevételezéssel történik. Ez utóbbi vizsgálat szerint is alig van különbség az adalékokkal kezelt bitumenek tapadási tulajdonságai között. Európában még nincs általánosan elfogadott objektív módszer ennek az értéknek a meghatározására. Igazából a bitumenek tapadási tulajdonságaira jelenleg nincs szabvány szerinti követelmény, de a tapasztalatok alapján 70 % tapadási érték alatt nem megfelelő az adhézió. A 4 órás forgó palackos tesztet használták a jó minőségű venezuelai kőolajból származó 50/70 bitumen és a MOL üzemkísérleti gyártásából származó kémiailag stabilizált gumibitumen összehasonlítására, amihez mindkét esetben dolomit kőanyagot használtak. Az eredmények alapján a venezuelai kőolajból nyert bitumen a hazai adalékokat tartalmazó bitumenekhez hasonlóan nem megfelelő besorolást ért el.

A kémiailag stabilizált gumibitumen a hagyományos gumibitumenhez képest abban különbözik, hogy az előállítás során a gumiszemcsék duzzadása és a kénhidak felszakadása miatt bekövetkezik a gumi részleges oldódása. E mellett az oldott állapotba került polimerek is javítják a tapadást. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út- és Vasútépítési Tanszék dolomiton elvégzett MSZ EN 12697-12:2009 vízerzékenység vizsgálata szerint az adalékanyag nélküli referenciához képest néhány adalék (1 és 8 jelű adalék) rontott néhány (4 és 6 jelű adalék) kis mértékben javított a vízerzékenységen. A BME szakértőinek tanácsára figyelembe vették még a kezelt és referencia bitumenek száraz próbatesten végzett hasító-húzószilárdságának arányát. Ekkor 100 % feletti értéket mértek minden savas adalékkal és bázikus (dolomit) kővel készült aszfalt esetén.

A svédországi National Road and Traffic Research Institute által kibocsátott AA2-Static Immersion Test és annak módosított statikus vízbemerítési tesztjével és aszfaltvizsgálatával azonban rangsorolhatók az adalékok. Ez utóbbi vizsgálat elvégzéséhez a kőzetet 3,5 % bitumennel kell bevonni, amit szobahőmérsékletre való lehűtése után 24 órán keresztül (50/70 és 70/100 bitumenek esetén) 60 °C-os vízben kell tárolni. A tárolás után a kiértékelés vizuális alapon történik. A hazai építőipari gyakorlatok alapján néhány módosítást kértek a megbízók, mégpedig a vizsgálathoz használt kőzeteket vizsgálat előtt nem mosták, illetve az adalékot tartalmazó bitument 30 percig keverték 180 °C-on, ezzel modellezve a bitumen autótartályba töltését.



**21. ábra: A kémiailag stabilizált gumibitumen (balra) és a venezuelai kőolajból előállított 50/70 bitumen (jobbra) tapadása dolomiton 4 órás forgó palackos teszt után.**

Ennek és a tapadásjavítóval adalékolt bitumenek MSZ EN 12591:2009 vizsgálati eredményeinek összesítésével sikerült rangsorolni a tapadásjavító adalékanyagokat. Jelentős eltérés mutatható ki a kémiai összetételében hasonló adhéziót javító adalékok eredményei között. A legjobb eredmények úgy érhetők el, ha a kőzet típusa alapján választunk adalékot – pl. bázikus kőzethez savas adalékot. [Geiger A., Holló A. 2010]

## 12. Tulajdonságok összehasonlítása

Bitumen és kőzet közötti tapadás: Az aszfaltok vízerzékenységét leginkább az ásványi adalékanyag tulajdonságai határozzák meg. A kötőanyag tulajdonságainak lényegesen kisebb szerepe van a bitumenleválásban. Ezek mellett a vízerzékenységet a keverék előállításának körülményei és a beépítés módja, tömörítése is befolyásolja. Továbbá nem elhanyagolható a bitumenleválás szempontjából a bitumen viszkozitása aszfaltkeveréskor, a keverés intenzitása és időtartama. A vizes károk kialakulásának befolyásoló tényezői a kőzet felületi porossága és az ásványi agyag tartalma is. Nem utolsó szempont a kőzetet bevonó bitumenfilm vastagsága sem.

A bitumenek empirikus termékazonosító vizsgálatai nem minden esetben jelzik előre a bitumen várható öregedési viselkedését. Ennek megoldása lehetne a viselkedésvű, reológiai kötőanyag vizsgálatok alkalmazása.

A gumibitumenek tárolási stabilitása jobban jellemezhető a dinamikai viszkozitás különbség értékével, mint a lágyuláspont különbség meghatározásával, mivel az előbbi jobban közelíti a valóságban lejátszódó folyamatokat, amivel szigorúbb felhasználási előírásokat lehetne alkalmazni. [Gergó, Geiger, Bartha]

A gumibitumenek szétüledésének elkerülése érdekében általában már 0,2 tömegszázalék bisz-szukcinimid adalékkoncentráció használata is elégséges.

Stabilabb diszperziók a túl hosszú reakcióidő miatt erősen devulkanizált gumibitument hoznak létre. Ezek a gumibitumenek útpépítésre nem használhatóak, de szigetelőanyagként még alkalmazhatóak.

A gumi kémiai kapcsolatban van a bitumennel, ezért a gumibitumen vízzáró, kémiailag ellenálló membránréteget képez például meddőhányó, kilúgozó tavak, szennyvíz csatornarendszerek, vízi erőművek gátjainak szigetelésekor, és sokféle beton felületen.

A gumibitumen gyártásakor felszabaduló gázok egészségkárosító hatásokkal rendelkeznek, de toxicitás szempontjából eltérő különbségeket nem találtak egy aszfaltkeverő üzemhez képest. A gyártáskor keletkező kellemetlen szaghatásokat okozó gázokat az alumínium-szegény, regenerálható Y-zeolit adszorbens jól megköti. A gumiőrlemény aktiválása általában aromás duzzasztó olajjal és vegyszerrel is történik, de környezetvédelmi szempontból ezeket ki lehet hagyni. [Renátó 2014]

## 13. Környezettudatosság

A hulladék gumiabroncsok kezelése és ártalmatlanítása már régóta probléma. Az abroncsok nagy térfogata megnehezíti a begyűjtést, a szállítást és a feldolgozást is. A használt gumiabroncsok egyik újrafelhasználási lehetősége az újrafutózás, amivel az abroncsok élettartama megtöbbszörözhető. Az abroncsok energetikai hasznosítása is lehetséges a hulladék elégetésével és fűtőanyagként való felhasználásával. Általános felfogás szerint a gumiabroncs újrafelhasználása az

abroncs őrlémményé alakításával kezdődik és az acél, az erősítőszálak valamint más szennyező komponensek eltávolítása után különböző termékek előállítására való alkalmassá tételével ér véget. A gumiszemcsék felületét hidrogén-peroxidos vízzel vagy plazmával kezelve is lehet aktiválni a jobb tapadás elérése érdekében. Ha megfelelő devulkanizáló módszert választanak az újrahaznosítás során, akkor sokkal több gumiőrleményt adhatnak a friss gumikeverékhez. Műszakilag kevésbé értékes termék előállítható ragasztó hozzáadásával és sajtolással (pl. gumitégla, vasúti keresztezés burkolata, mozgatható fekvőrendőrök készítésekor). Az újrafelhasználás során előállított gumiőrlemény nagy mennyiségben való felhasználását teszi lehetővé az útépitési bitumenekbe való keverésük és az így előállított gumibitumenek felhasználása aszfaltkeverékhez. [Geiger, Bíró, Gergó 2008]

GmB termékek felhasználásakor azonos ásványianyag-összetétel mellett 0,0-0,2%-kal több kötőanyag szükséges, mint a normál bitumen alkalmazásakor.

180-185 °C hőmérsékletű aszfaltkeveréknek nagy távolság (100 km) és 10 °C körüli környezeti hőmérséklet esetén is megfelelő a tömöríthetősége. [Geiger A., Holló A. 2014. július] A magyar építőipari szakma hagyományokhoz való ragaszkodása miatt az az elterjedt felfogás, hogy minnél melegebb az aszfalt, annál jobb. Ennek energetikai, károsanyag-kibocsátási és vízfelhasználási hátrányai is vannak az építőmunkások egészségkárosodása mellett.

Előnyök	Hátrányok	
Kedvezőbb öregedés és hideg-viselkedés	A túlságosan finom morfológiájú gumibitumen rosszabb fáradási tulajdonságokat mutat, mint a durvább elegyek	
	A bitumen olajos része csak akkor hatékony, ha a gumi vulkanizáltságának foka kicsi	
	Az összetevők körültekintő megválasztása szükséges, különben a gumiőrlemény nem fejt ki eléggé kedvező hatását	
Hidegtörések szimulációja: RTFOT, TFOT, PAV-SHRP	Fraas töréspontot csak homogén bitumenfilmre vizsgálnak (gumibitumen inhomogén) (Ez a típusvizsgálat kiváltható a bal oldalon felsorolt vizsgálatokkal)	
Duktilitás 7 °C-on		
Rugalmas visszaalakulás 7 °C-on		
Penetráció 4 °C-on		
Nyomvályúsodás jelentősen csökken (elasztikusabban viselkedik)	Viszkozitás: megfelelő keverékekkel bizonyos határokon belül, széles tartományban tudjuk változtatni a tulajdonságokat	
Beépítés: normál bitumen viselkedése 135-180 °C között newtoni de a gumiőrleményt tartalmazó bitumen viselkedése inkább viszkoelasztikus		
Nagyobb élettartam	Nehéz a szakmával elfogadtatni az újításokat	
Kisebb életciklus-költség		
Kisebb deformálódás		
Kisebb kőkipergés, jobb tapadás		
Kisebb közlekedési zaj		
Könnyebb jégmentesítés		
Szélesebb alkalmazhatósági hőmérséklet-intervallum		
Jobb tapadás, nagyobb csúszásgátlás - pl. repülőter kifutópályáin		
Jegesedéskor keletkező jégdarabok a rugalmas felületen a forgalom hatására összetöredeznek – útbiztonság		
Vékonyabb burkolat - költségek kompenzálása?		
Hidak mozgó elemeire közvetlenül fel lehet vinni gumibitumen réteget		
Kémiaailag módosított bitumenek reprodukálhatósága megbízható		
Használt gumi felhasználás		
Kisebb energiaszükséglet		
Alacsony vízfelhasználás		
Kevesebb CO <sub>2</sub> kibocsátás		
Kedvező fáradási tulajdonságok		
Nedves időben jobb láthatóságot és tapadást biztosít		
Jobb vízelvezetés - pl. felületi bevonat		Megfelelő kialakítással

Összefoglaló táblázat: Gumibitumen előnyeinek és hátrányainak összehasonlítása

## 15. Összefoglalás

A dolgozat megírásakor a nemzetközi átfogó kitekintés volt a célom. A kémiaiilag stabilizált gumibitumen felhasználásával készült utak sok szempontból kedvezőbbek a hagyományos vagy polimerrel modifikált bitumennel megépült utaknál. Megfelelő felületi egyenletességgel rendelkezik, így a lehető legkisebb az okozott menetzaj ezeken a pályákon. Ez a tulajdonsága inkább külterületi, nagy sebességű pályákon jelent hatalmas előnyt a környéken lakók számára.

Ezzel az anyaggal meg lehet rövidíteni a járművek féktávolságát, ami belterületen gyalogátkelők közelében kifejezetten szükséges lenne. A baleseti statisztikák is javíthatóak lennének, mivel rengeteg baleset és koccanás elkerülhető lenne annak a néhány deciméternek köszönhetően, amit a gumibitumenes kopóréteg vagy felületi bevonat nyújtani tud 50 km/h-val közlekedő járművek fékezésekor.

A gumibitumenes aszfalt rendkívül csendes és a tapadása is optimális. A légköri hatásoknak is jobban ellenáll, ezért kedvező vízelvezetéssel rendelkezik. Ennek tudható be a csapadékos és nedves időben tapasztalható jobb láthatóság és tapadás. Nedves időben is megfelelő a csúszásellenállása. Alkalmazásával kisebb mértékű lehet a járművek utáni vízfelverődés, illetve kedvezőbb a fényszórók visszatükröződő hatása csapadékos időben.

Nincs túlzott mértékű öregedése és jó hidegviselkedési tulajdonságokkal rendelkezik. Kis maradó alakváltozásai és kis komplex modulusa miatt plasztikus deformációknak kifejezetten ellenálló, mégis rugalmas (kevésbé repedező) pályaszerkezet építésére alkalmas. GmB 45/80-55 AC 11 kopó (F) és AC 16 kopó (F) aszfaltok teljesítik a PmB-vel gyártott mF kopórétegű aszfaltoknál engedett max 5%-os maradó alakváltozást.

### ***Kulcsszavak:***

Gumi, bitumen, gumibitumen, gumiaszfalt

### ***További kutatás***

Ezzel a dolgozattal a diplomamunkám megalapozása történt, és a további kutatásaim során a gumibitumen és hagyományos utak nedves felületeinek csúszásellenállását valamint vízfelverődését tervezem laborvizsgálatokkal összehasonlítani.



## Idézett forrásmunkák

Bíró Szabolcs. „Kémiaileg stabilizált gumibitumenek előállítása és vizsgálata.” 2005.

Defoor, Frans Maurice Joseph. „Process for preparing bitumen/rubber compositions.” *US 6025418*, 2000.

Geiger András, Bíró Szabolcs, Gergó Péter. „Hulladék gumiabroncsok hasznosítása, gumibitumenek előállítása és alkalmazása.” 2008: 224-228.

Geiger András. „Gumivalmodifikált bitumen (GmB) gyártása, és a felhasználásával készült aszfaltok beépítési tapasztalatai.” *HAPA, A Magyar Aszfaltipari Egyesület hivataloslapja*, XIX. évfolyam 2014/1. szám: 19-25.

Geiger András, Holló András. „A bitumen és kőzet közötti tapadás - Fejlesztési törekvések a bitumen minőségének javítása érdekében.” 2010.

Geiger András, Holló András. „Tartós aszfaltutak a MOL új termékével” *Természet világa*, 2014. július: 300-303.

Gergó Péter, Geiger András, Bartha László. „A gumiőrlemények összetételének hatása a gumibitumen tulajdonságaira.” 70-74.

Gruas, Josep M. „Efecto de la utilización de mezclaz bituminosas con polvo de neumático sobre las características funcionales del pavimento.” 2009. március.

Krishna Prapoorna Biligiri, George B. Way. „Comparison of Laboratory and Field Aging Properties of Asphalt-Rubber and Other Binders in Arizona” 2013.

Memon, M. „Homogeneous crumb rubber modified asphalt.” *US 5704971*, 1998.

Minhoto, J. C. „Low-Temperature influence in the predicted pavement overlay.” *Asphalt rubber proceedings 2003*, 2003: ISBN 85-903997-1-0, 167-181.

NR2C. „New Road Construction Concepts.” 2008. április: 108-123.

Pászti Renátó. „Gumibitumennel készített aszfaltkeverékek mechanikai tulajdonságai” 2014.

Rodrigues, Marco Filipe Simoes. „Misturas Betuminosas com Incorporacao de Borracha de Pneu - A Experiencia Portuguesa.” 2012. december: 67-83.

Stevens, J. C. „Asphalt modified with olefin/vinylidene aromatic monomer interpolymers.” *US 6107374*, 2000.