



Habosított bitumen aszfaltkeverékek kötőanyagaként

Ali Saleh¹, Gáspár László²

¹ Széchenyi István Egyetem, 9026 Győr, Egyetem tér 1.

² KTI Nonprofit Kft., 1119 Budapest, Than Károly u. 3-5.

E-mail: ali.b.saleh.090@gmail.com, gaspar.laszlo@kti.hu

DOI: [10.36246/UL.2022.1.01](https://doi.org/10.36246/UL.2022.1.01)

KIVONAT

Világszerte törekszenek az energiafelhasználás csökkentésére, ez alól az útépités sem kivétel. Ezt a célt, egyebek mellett, mérsékelten meleg aszfalt (WMA) gyártásával lehet elérni. Ez utóbbi kötőanyaga a habosított bitumen (foamed bitumen) lehet. Ekkor a keverési és a beépítési hőmérséklet a hagyományos aszfaltkeverékénél 20-40 °C-kal alacsonyabbnak választható. A bitumenhabosítás lényege, hogy a nyomás alatt levő, forró bitumént vízzel együtt permetezik a keverőtérbe, ahol a bitumen felhabosodik, az adalékanyag szemcséihez a hagyományos aszfaltkeverékekénél tapasztaltnál hatékonyabban tapad. A cikk ennek a környezetkímélő aszfalgyártási eljárásnak egyes tervezési, technológiai, teljesítményi és ökológiai kérdéseit érinti, amelyeket egy folyó PhD-kutatás során tártak fel.

Kulcsszavak: bitumenhabosítás, habosított bitumen, mérsékelten meleg aszfalt, aszfaltlaboratóriumi vizsgálatok, környezetvédelem

ABSTRACT

Efforts are being made to reduce energy consumption worldwide, and road construction is no exception. This goal can be achieved, among other things, by producing warm mix asphalt (WMA). The binder of the latter may be foamed bitumen. The mixing and laying temperatures can then be selected to be lower by 20-40 °C than those of the conventional asphalt mix. The idea of bitumen foaming is that the hot bitumen under pressure is sprayed together with water into the mixing chamber, where the bitumen foams, adhering to the aggregate grains more efficiently than in conventional asphalt mixtures. The article addresses some of the design, technological, performance, and ecological issues of this environmentally friendly asphalt manufacturing process that have been revealed in an ongoing PhD research.

Keywords: bitumen foaming, foamed bitumen, warm mix asphalt, asphalt laboratory tests, environmental protection

Ali Saleh

Okl. építőmérnök, diplomáját 2015-ben szerezte a Thisreen Egyetemen (Szíria), habosított bitumen témában; Latakia kikötőben különböző mérnöki feladatokat hajtott végre; 2020 szeptembere óta a Széchenyi István Egyetemen, Győrben, Stipendium Hungaricum ösztöndíjas, PhD-hallgató, 6 publikáció szerzője.

dr. Gáspár László

PhD, DSc, okl. mérnök, okl. gazdasági mérnök, 1971 óta a KTI Nonprofit Kft. alkalmazottja, jelenleg kutató professzor, 1999 óta a Széchenyi István Egyetemen, Győr dolgozik, most professzor emeritus, 459 publikáció szerzője, amelyekre 730 független hivatkozás ismert, 621 szakmai előadást tartott.

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi évtizedekben számos kutató foglalkozott környezetbarát útépitési, -felújítási és -fenntartási technológiák kifejlesztésével. A leglényegesebbnek tekinthető újdonság a mérsékelt meleg aszfalt (WMA, Warm Mix Asphalt) technológiájának kidolgozása volt, amelynek három kategóriája a következő [1]:

- szerves adalékszerek alkalmazása,
- kémiai adalékszerek alkalmazása,
- habosított bitumen használata.

A világszerte elterjedt technológiák közel 60%-a habosított bitumen kötőanyagot választott. A bitumen mintegy 15-szörös térfogatnövekedéssel járó habosítása azzal az előnnyel jár, hogy aszfaltkeverék készítésekor a kötőanyag – időlegesen elért – kisebb viszkozitása és nagyobb fajlagos felülete lehetővé teszi annak az adalékanyagvázbán való hatékonyabb eloszlását.

A bitumenhabosítási paraméterekre vonatkozó – a víztartalom és a keverési hőmérséklet által befolyásolt – szabványos követelmények a következők:

- expanzió (térfogatbővülés): a habosítás előtti bitumentérfogatra vonatkoztatva,
- felezési idő: az az időtartam, ameddig a bitumenhab térfogata a habosítás után felére csökken [2],
- habindex: a bitumenhab összehúzóási görbéje alatti, meghatározott határok közötti terület, amely a bitumen habosíthatóságának jellemzője, adott habosítási vízmennyiség adagolása mellett [3],
- a félig stabil buborékok „összeomlási” aránya (k-érték): a habosított bitumen felületének előírt időnként készült fényképfelvételek alapján végzett elemzése, amelyből az összeomlás folyamatáról és a buborékméret eloszlásáról lehet tájékozódni, 1 %-nyi víz adagolása mellett [4].

2. BITUMENES HABOSÍTÁSI TECHNIKÁK

A Csanyi által 1959-ben szabadalmaztatott [5], habosított bitumen gyártási folyamatának lényege, hogy speciális gépekben, forró bitumenbe, előírt nyomáson, hideg vizet fecskendeznek be. Különböző technológiákat alkalmaznak, amelyekben a bitumen tömege 1-3%-nyi, a bitumen hőmérséklete 140-200 °C-os és a légnyomás 100-1000 kPa-t tesz ki. A habosítási folyamat során, a kötőanyagban levő vízgőzt kisebb-nagyobb vízbuborék formájában bitumennel bevonják.

A habosított bitument közutakon az 1950-es évek közepén hasznosították először, a gőzzel habosított forró folyékony bitument talajok és burkolat- alap szilárdítására alkalmazták. 1968-ban a Mobil Oil Australia gőzbefecskendezéssel javította a kezdeti habosítási technikát, amely lehetővé tette a víz hozzáadását a tágulási kamrában [6]. A habosított bitument számos anyag stabilizálására használták, beleértve a bontott aszfaltot (RAP, Reclaimed Asphalt Pavement Material) hidegen való újra hasznosítását. A habosított bitumen bevonó képességének és bedolgozhatóságának javítása érdekében, a kötőanyagot különböző hőmérsékletekre előmelegített adalékanyagokkal keverték össze.

Az 1990-es években a habosított bitumen speciális berendezésgyártója, a Wirtgen GmbH folytatta a habosított bitumen gyártási folyamatának fejlesztését olyan adagolórendszer előállításával, amely víznek légnyomás melletti befecskendezését alkalmazza [7].

Ezt a rendszert számos, jelenleg használt habosított bitumen hideg újra hasznosító berendezésben alkalmazzák, amelyben az anyag átmeneti alacsony viszkozitású állapotát tudják előállítani, amikor is az, a térfogat növekedése mellett, folyékonyból gőz halmazállapotúvá válik.

A bitumenbuborékok adalékanyaggal való súrlódás során történő aprózódása következtében keletkező „törmelékek” az adalékanyag finom részecskéihez tapadnak. Nyomás alatt, pedig olyan bitumenmasztixszá válnak, amely az addig bevonatlan adalékanyag szemcséket képes megkötni [8].

A legújabb habosítási technológiák zeolitok, azaz a belső szerkezetükben mintegy 18-20 m%-nyi vizet tartalmazó fémadalékok beépítésén alapulnak; a zeolit adagolási aránya az aszfalt teljes kötőanyagára vonatkoztatva 5%-os [9]. A zeolitok – a belső szerkezetükben tárolt víz fokozatos felszabadulásának köszönhetően – a bitumen habosodását lehetővé teszik. A zeolitos víz kibocsátása a kristályos szerkezetből hosszú távú folyamat. Ezért lehetséges – a gyártás, az építés és a tömörítés során – a mérsékelt meleg aszfaltkeverék (WMA) megmunkálhatóságának javítása [10].

3. A HABOSÍTOTT BITUMEN ALKALMAZÁSA, ELŐNYÖKKEL ÉS KORLÁTOKKAL

A habosított bitumennel történő stabilizálás megnövekedett nyírószilárdságra, kohéziós szilárdságra, nagyobb hajlítószilárdságra és nedvességállóságra vezet [11].

A habosított bitumenkeverékek megfelelősége főként az adalékanyag-szemcsék egymásba kapcsolódási (interlocking) erőtől függ, míg a meleg aszfaltkeverékek mechanikai teljesítményét azok masztix-kohéziójának és az adalékanyagok egymásba kapcsolódási erőinek kombinációja határozza meg [12].

A habosított bitumennek nagyon sok granulált anyaggal szemben tapasztalt kompatibilitása következtében, jelentős mértékben hozzájárul az útépitések fenntarthatóságához; szükség esetében, adalékszer-kombinációk is hozzáadhatók [13].

Az aszfaltkeverék tervezésekor az egyik legfontosabb kritérium a habosított bitumen kötőanyag szükséges mennyisége. Nagy kötőanyag-tartalom esetében, a hatékony bitumenes kötőhatás eléréséhez, viszonylag sok finom ásványi anyagra van szükség. Az irányelvek azt javasolják, hogy az optimális habosított bitumenes kötőanyag-mennyiséget a közvetett húzószilárdság (ITS) és a habosított bitumentartalom közötti kapcsolat alapján kell kiválasztani [14]. Egyes kutatók azt ajánlják, hogy az optimális kötőanyagtartalmat a merevségi modulus értéke alapján határozzák meg.

A habosított bitumen világszerte az útépitésben meglehetősen sok alkalmazási területre talál. Ezek között a legelterjedtebbek a hidegaszfalt rétegek, a helyszíni talajstabilizálás és a régi aszfaltburkolatok újra hasznosítása. Előnyének tekintik, hogy a bitumenemulzióéhoz képest, rövidebb a kötési ideje.

Kedvező körülmény, hogy a habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeverék bitumen-lefolyás vagy kioldódás nélkül tárolható. Tekintettel arra, hogy ez az aszfalttípus a szokásosnál hosszabb ideig bedolgozható marad, a tömörítéssel és a felületképzéssel kapcsolatos időbeli korlátok érdemlegesen kitolódnak. Az is egyértelműen előnyös tulajdonsága, hogy a habosított bitumennel készült aszfaltkeverékek kedvezőtlen időjárási körülmények között is beépíthetők anélkül, hogy annak jó minőségét veszélyeztetnénk.

Az elmúlt években számos, a habosított bitumennel kapcsolatos kutatási munka az anyag teljesítményének értékelésére és leromlási folyamatának nyomon követésére irányult. A tanulmányok kimutatták, hogy a habosított bitumenes kötőanyagú aszfaltkeverékek öregedési (leromlási) sebessége a magasabb hőmérséklettel és a bitumenhabosítás során alkalmazott víztartalom mennyiségével közvetlen kapcsolatba hozható. További lényeges kutatási irány az éghajlatváltozás veszélyeivel és a jó minőségű, elsődleges, útépitési alapanyagokkal való takarékoskodással összefüggő, döntési lehetőségek feltárása. Ebbe a sorba tartozik olyan aszfaltkeverékek gyártása, valamint stabilizációs technológiák alkalmazása, amelyek habosított bitument és újra hasznosított adalékanyagokat is tartalmaznak [16]. Ezeket az anyagokat különböző forgalmi terhelésű útpályaszerkezetek egyes rétegeiben hasznosítják.

4. A HABOSÍTOTT BITUMEN MINŐSÉGI PARAMÉTEREI ÉS AZOK OPTIMALIZÁLÁSA

A habosított bitumen minősége elsősorban a következő paraméterektől függ [4]:

- a bitumen típusa és eredete,
- a bitumen hőmérséklete a habosítás során,
- a habosított bitumen permetezési aránya,
- habot stabilizáló adalékok alkalmazása,
- a habosítási eljárás során használt víz mennyisége,
- a felhasznált víz hőmérséklete,

- a felhasznált levegő mennyisége.

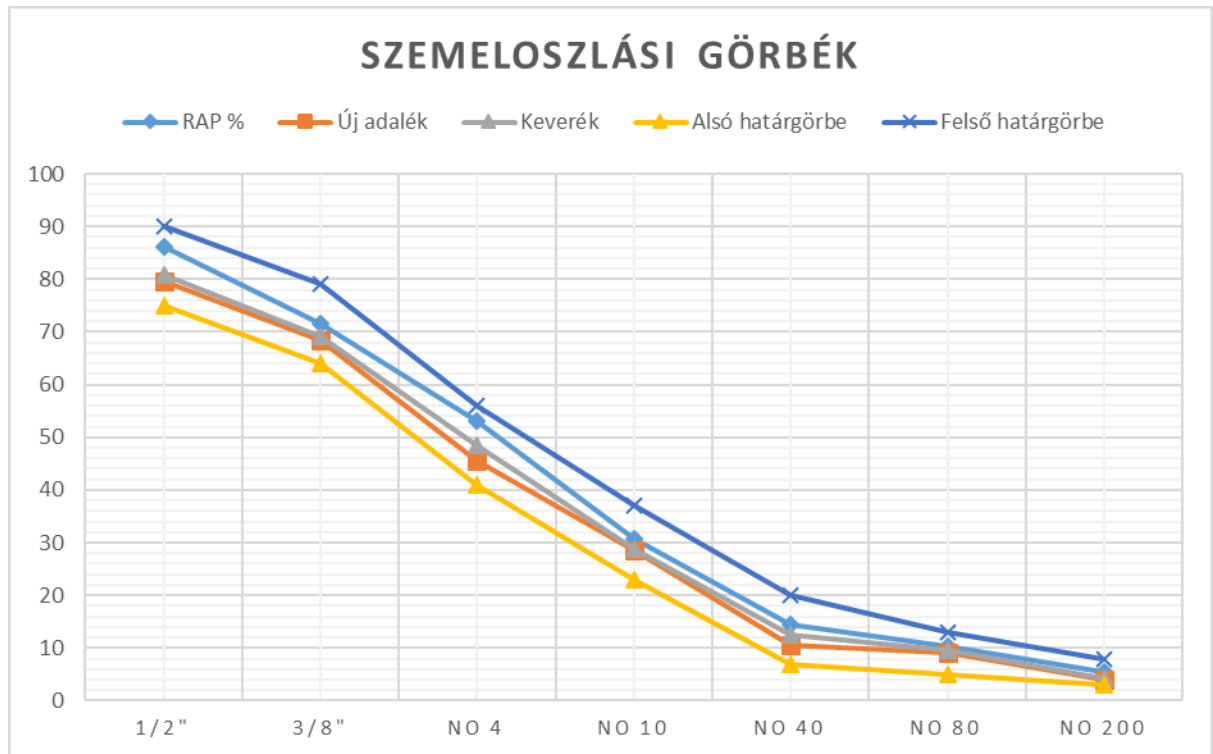
A szilárdulás (curing) az a folyamat, amelynek során a habosított bitumenkeverékek (FBM), a víz térfogatnövekedése során, szilárdabbá vagy merevebbé válnak. A folyamat meglehetősen bonyolult, mivel a víz a habosított bitumenkeverék tervezésének egyes szakaszaiban különböző szerepet játszik. A habosított bitumenkeverékek szilárdulását befolyásoló tényezők a következők:

- hőmérséklet,
- páratartalom,
- szél,
- az adalékanyag szemeloszlása és más jellemzői,
- rétegvastagság,
- a víz kezdeti mennyisége,
- kötőanyag,
- cement- vagy adalékszer-tartalom,
- a legfelső pályaszerkezeti réteg,
- a vízelvezetési rendszer állapota,
- forgalmi terhelés.

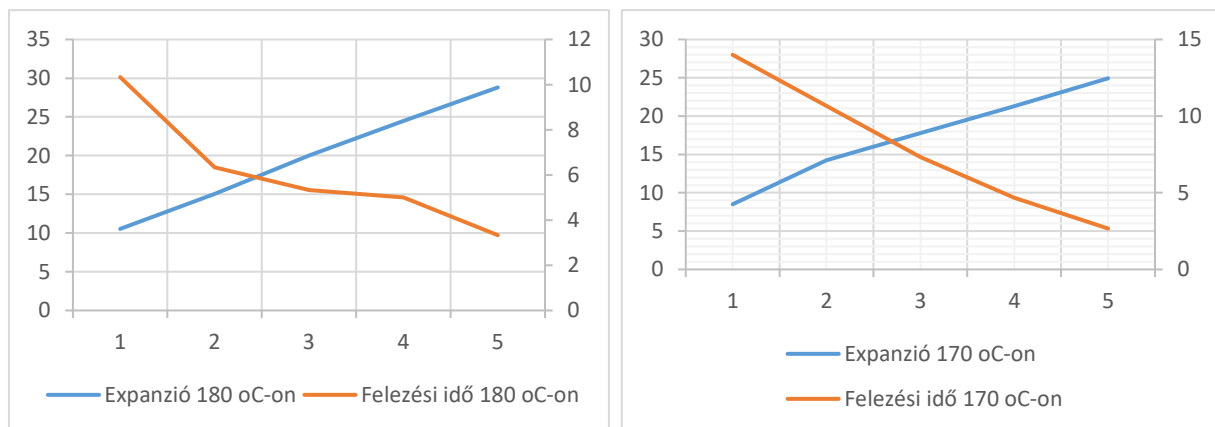
A hagyományos aszfaltkeverékek gyártásánál a lényeges kötőanyagjellemzők a penetráció, a lágyuláspont és a viszkozitás; a habosított bitumennél azonban ezek a jellemzők nem elegendők. A legnagyobb térfogatnövekedési arány és a felezési idő is a kötőanyag típusának jellemzésére szolgál. A legnagyobb térfogatnövekedési arány – a habosítási eljárás utáni bitumentérfogat és a kezdeti térfogat aránya – a maximális tágulási arány pedig közvetlenül az ismert térfogatú edénybe történő permetezés után határozható meg. Ez a paraméter a habosított bitumen viszkozitását jellemezi, és a habosított bitumen nedvesítő képességével és a gyártott aszfaltkeverék bedolgozhatóságával is kapcsolatban van. A felezési idő az az időtartam, amely azon időpontok között telik el, amikor a habosított bitumen eléri maximális térfogatát, majd pedig ennek az értéknek a felét. A felezési idő a habosított bitumen stabilitásának mértéke, és arányos az aszfaltkeverék előállításához rendelkezésre álló idővel.

Egy közelmúltbeli szíriai kutatás az aszfaltkeverékekre összpontosított, amelyeket részben újrahasznosított aszfaltból (RAP) származó adalékanyaggal állítottak elő. A bitumenes habosítási paramétereknek a habosított bitumen minőségére és a habosított bitumenes kötőanyaggal készült aszfaltkeverékek Marshall-stabilitására gyakorolt hatását mérték fel [15, 16]. Az adalékanyag-keveréknek 50%-át „szűz” és 50%-át bontott aszfalt képezte, gyakorlatilag ugyanolyan szemeloszlással (1. ábra). Ez utóbbi kötőanyaga PG 76-28 típusú volt. (A PG – Performance Grade – jelzés az amerikai Superpave (SUPERior PERforming Asphalt PAVements, Különlegesen Kedvező Teljesítményű Aszfaltburkolatok) szabályozás szerint, olyan kötőanyagokra vonatkozik, amelyek magas burkolati hőmérsékleten a nyomvályú-képződésnek és alacsony burkolati hőmérsékleten a termikus repedésnek ellen tudnak állni [17]). A kutatás során, a habosított bitument 1-2-3-4%-os víztartalommal, valamint 160, 170 és 180 °C-os bitumen hőmérséklettel tervezték, háromféle bitumenhez (50-70-es, 70-100-as és 60-70-es penetrációjú szortékhoz). Az előállított különféle habosított bitumen-változatok minőségét az elterjedt mutatókkal (térfogatváltozási arány és a felezési idő) jellemezték (1-3. ábra) [18].

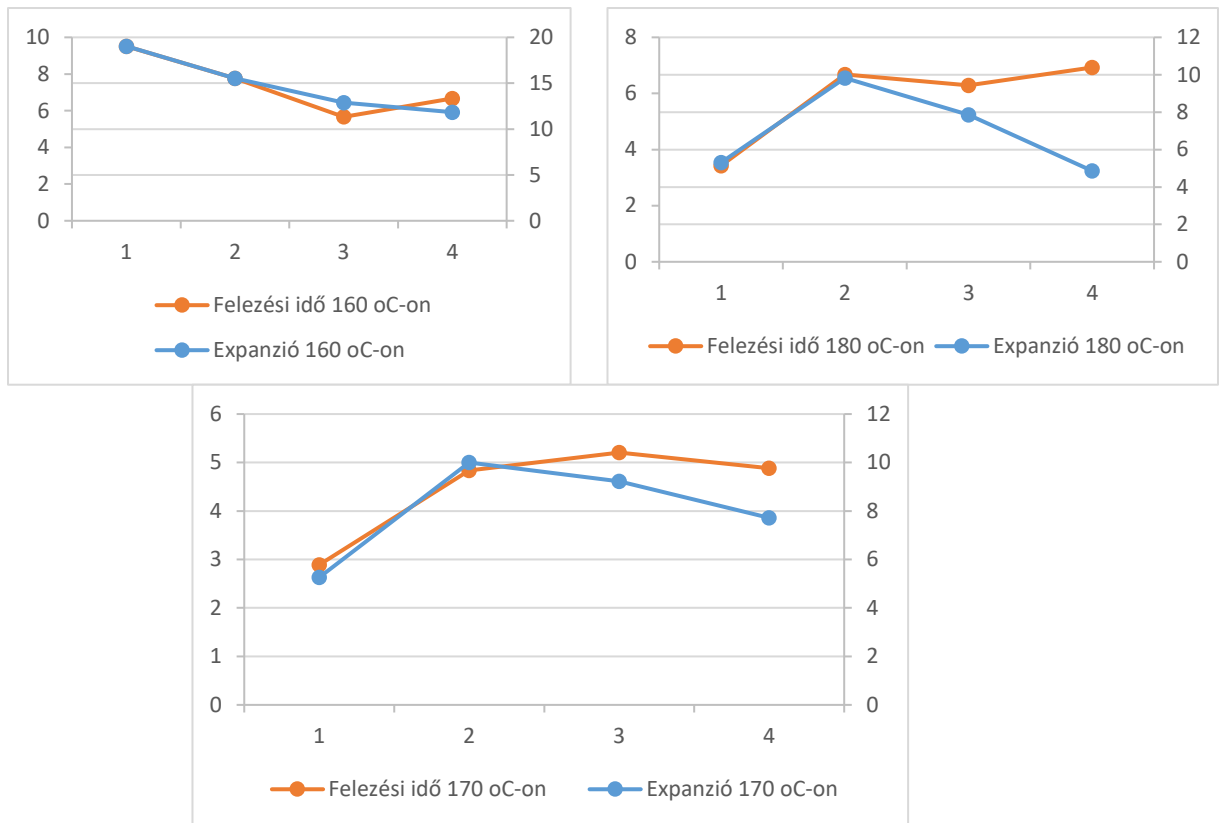
Az optimalizáló vizsgálat eredményeként, a 3. ábrán látható, hogy habosított bitumen esetében, 160°C-os hőmérsékleten az optimális víztartalom 2,5%-nyinak adódott.



1. ábra. (a): Az ásványi anyagkeverék és egyes elemeinek szemeloszlása.



2. ábra. A 60-70-as penetrációjú bitumen habosítási paramétereit.

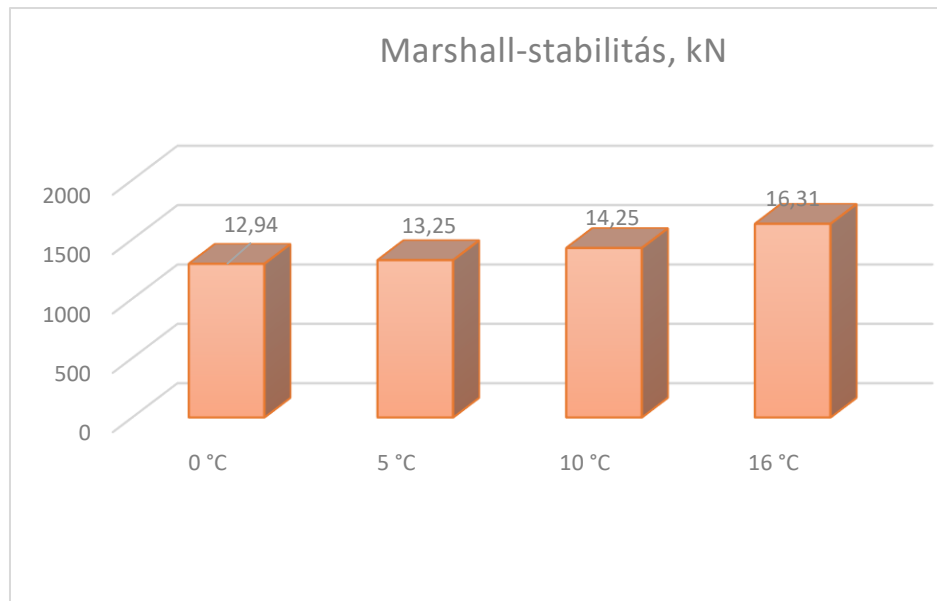


3. ábra. A 70-100-as penetrációjú bitumen habosítási paramétereit.

Az elővizsgálat során optimálisnak bizonyult technikával előállított, habosított bitumént kötőanyagként választott aszfaltkeverékeket laboratóriumban, 0, 5, 10 és 16 °C-os léghőmérsékleten vizsgálták. Annak megállapítására törekedtek, hogy az expanzió és a felezési idő kombinálásával kapott ún. Habindex (Foam Index) mekkora víztartalom mellett bizonyul a legkedvezőbbnek. A 2,5 %-nyi habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeveréket mechanikus laboratóriumi keverőberendezésben gyártották. A keveréktervezéshez 2x75 ütéssel készült Marshall-próbatestek minőségjellemzőit vették alapul. Az 5. ábra azt szemlélteti, hogy a habosított kötőanyagú aszfaltkeverékek Marshall-stabilitása (kN) a léghőmérséklet függvényében hogyan változik. Látható, hogy a csökkenő hőmérséklet hatására némileg kisebb Marshall-stabilitás mérhető. Ennek okát az aszfalt próbatestekben levő nedvesség „aktiválódásában” és az anyag keménységének változásában lehet megtalálni. A bitumencseppek hőmérséklete hirtelen csökken, és viszkozitása megnövekszik, amikor a hideg adalékanyagokkal kapcsolatba kerülnek. Ebből adódóan, a kisebb mértékű adhézió gyengébb keverékminőséghez vezet, mivel nem mindenhol tud az ásványi anyag szemcséi körül homogén mátrix kialakulni.

Megállapították, hogy a habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeverékek az alacsony hőmérsékletre kevésbé érzékenyek, mint a hagyományos összetételűek.

Annak érdekében, hogy a habosított kötőanyagú aszfaltkeverékek hosszú távú teljesítményét (állapotváltozását) reálisan fel lehessen mérni, a következő, időjárási szélsőségeken tapasztalható minőségjellemzők jövőbeni meghatározására lesz szükség: fáradással szembeni ellenállás, keréknyomvályú-képződéssel szembeni ellenállás, törési energia.



4. ábra. A habosított kötőanyagú aszfaltkeverékek különböző hőmérsékleteken mért Marshall-stabilitása (kN).

5. NÉHÁNY KÖRNYEZETVÉDELMI SZEMPONT

A mérsékelt meleg keverékek Útügyi Műszaki Előírásai [19] szerint, azok gyárthatók a hagyományos aszfaltok maximális hőmérsékletén is (180 °C), ám ezzel energiaszükséglet nem takarítható meg. Amennyiben csak a HMA által megengedett legkisebb, 140 °C-os gyártási hőmérséklethez tartozó energiafelhasználás értékeit vizsgálják, ahhoz képest a bitumenhabosításos technológiával gyártott keverékek előállításakor, jelentősen alacsonyabb energiaigény érhető el [20], 185 MJ/t helyett 155 MJ/t, mintegy 16%-os csökkenéssel. Ha az egyes aszfaltkeveréktípusoknak azok átlagos gyártási hőmérsékletén kapott eredményeit veszik vizsgálat alá, akkor a hagyományos aszfaltkeverékekre 204 MJ/t, bitumenhabosításon alapuló technológiával készült keverékekre pedig 175 MJ/t kapható, ami mintegy 14%-os csökkenésnek felel meg.

A két aszfaltkeveréktípus előállításakor keletkezett CO₂-emisszió nagyságát, kg/t mértékegységben, összehasonlították. A szimuláció eredményei azt mutatták, hogy mind a fűtőolaj, mind pedig a nagyobb fűtőértékű gáz fűtőanyag alkalmazása esetében, a bitumenhabosításos technológia alkalmazásával átlagosan 17%-os csökkenés érhető el, (Megjegyzendő, hogy ha a habosított bitumen kötőanyagú aszfaltkeveréket a technológiai szempontból még megengedett legalacsonyabb hőmérsékleten gyártanák, a CO₂-emisszió mértékében elért megtakarítás a 19 %-ot is elérné.)

Ennek a cikknek a szerzői, másik publikációjukban [21] rámutattak arra, hogy az előbbieken felvázolt környezetvédelmi előnyöket jelentősen meghaladó mértékű csökkenés érhető el az energiafelhasználás és a káros anyag kibocsátás tekintetében, ha a habosított bitumen kötőanyag mellett, az adalékanyag érdemleges részét bontott aszfalt képezi [22].

6. ÖSSZEFOGLALÓ MEGJEGYZÉSEK

Az új aszfaltkeverékek készítése és beépítése, közismerten, nagy mennyiségű üvegházhatású gáz kibocsátásával jár. A habosított bitumen mérsékelt meleg aszfaltkeverékben, helyszíni és telepi talajstabilizációs technológiákban, valamint bontott aszfaltok újra hasznosítási eljárásaiban való alkalmazása az említett probléma jelentős mértékű csökkentését teheti lehetővé.

A habosított bitumen (foamed bitumen) keverési és beépítési hőmérséklete a hagyományos aszfaltkeverékénél 20-40 °C-kal alacsonyabbnak választható. Ezzel jelentős mennyiségű megtakarítás érhető el az energiafelhasználásban és az üvegházhatású gázok mennyiségében.

A cikk olyan laboratóriumi vizsgálatokról is beszámol, amely egyrészt a bitumenhabosítási eljárás optimalizálását tűzte ki céljául, másrészt pedig a habosított kötőanyagú aszfaltkeverék Marshall-

stabilitásának hőmérséklettől való függéséről szolgáltat információt. Emellett ennek a környezetkímélő aszfalgyártási eljárásnak olyan tervezési, technológiai, teljesítményi és környezetvédelmi kérdéseit is érinti, amelyeket egy folyó PhD-kutatás során tártak fel.

7. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: Zaumanis, M. 2014: Warm mix asphalt. In *Climate Change, Energy, Sustainability and Pavements* (pp. 309-334). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44719-2_10.

[2]: Balázs J. 2014: Hideg remix eljárások hazai alkalmazása a külföldi gyakorlat tükrében. BME Infrastruktúra-építőmérnök MSc diplomamunka, 105 p.

[3]: Newcomb, D.E., Arambula, E., Yin, F., Zhang, J., Bhasin, A., Li, W., Arega, Z. 2015: Properties of Foamed Asphalt for Warm Mix Asphalt Applications. Washington DC, NCHRP Report 807 Transportation Research Board, 126 p..

[4]: Bairgi. B.K., Tarefder, R.A. 2017: A Synthesis of Asphalt Foaming Parameters and Their Association in Foamed Binder and Mixture Characteristics. ASCE Proceedings, T&DI Pavement Conference, PA, USA, pp. 256-267, <https://doi.org/10.1061/9780784480939.023>.

[5]: Csanyi, L. 1957: Foamed asphalt in bituminous paving mixtures. Highway Research Board Bulletin 160, pp. 108-122.

[6]: Adams, T. 2022: Foamed Bitumen – from an Australian perspective. GRT Product Finder In Industry Articles, pp. 3, <https://globalroadtechnology.com/foamed-bitumen-from-an-australian-perspective/>.

[7]: Wirtgen, 2012: Wirtgen cold recycling technology. Wirtgen GmbH Windhagen, Germany, 370 p.

[8]: Sabita, 2020: Technical guideline: Bitumen stabilised materials. A guide for the design and construction of bitumen emulsion and foamed bitumen stabilised materials, Southern African Bitumen Association, pp. 221.

[9]: PQ Corporation 2012: Production, testing and compaction details. Advera WMA. Warm mix asphalt, 38 p.

[10]: Pitawala, S., Sountharajah, A., Grenfell, J. 2019: Experimental characterisation of fatigue damage in foamed bitumen stabilised materials using dissipated energy approach. *Constr. Build. Mater.*, 216, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.267>

[11]: Zaumanis, M., Cavalli, C., Poulidakos, L. D. 2020: Effect of rejuvenator addition location in plant on mechanical and chemical properties of RAP binder. *Int. J of Pave. Eng.* (21) (4) pp. 507–515. <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1492133>.

[12]: He, G., Wong, W. 2007: Laboratory study on permanent deformation of foamed asphalt mix incorporating reclaimed asphalt pavement materials, *Constr. Build. Mater.*, 21 (8), pp. 1809–1819, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.024>.

[13]: Fu, P., Jones, D., Harvey, J. T., Halles, F. A. 2010: Investigation of the Curing Mechanism of Foamed Asphalt Mixes Based on Micromechanics Principles. *J. Mater. Civ. Eng.*, 22 (1), pp. 29–38, [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000009](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000009).

[14]: Saleh, A., Gáspár, L. 2021: Advantages and limitations of using foamed bitumen. *Acta Technica Jaurinensis* Vol. 14, No. 3, 10 p., <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00587>

[15]: Huan, Y., Jitsangiam, P., Nikraz, H., R. Grant 2012: Mechanical Characteristics of Foamed Bitumen Mixtures in Western Australia. Proceedings of the 2nd Inter Conf on Transp Geotech, Sapporo, Japan, pp. 309-314.

[16]: Saleh, A., Gáspár, L. 2021: Performance of foamed bitumen bound asphalt mixtures under various mixing and compaction temperatures. *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*, Volume 7, Issue 12, pp. 15-21. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/NRCMB>

[17]: Martin Asphalt Company 2016: Performance Graded Asphalts – Product Data Sheet. MARTIN Asphalt Company, 1 p.

[18]: Jenkins, K. J., van de Ven, J. L., de Groot, A. 1999: Characterisation of Foamed Bitumen 7th Conference on Asphalt Pavements M. F. C. for Southern Africa, 18 p.

[19]: e-UT 05.02.11. 2018: Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok keverékeinek követelményei. Útügyi Műszaki Előírás 61 p.

[20]: Nádas R. 2015: Aszfaltkeverékek energiatartalmának vizsgálata. Útügyi lapok 3 (6) 8 p.

[21]: Saleh, A., Gáspár, L. 2021: Functional and environmental impacts of the use of reclaimed asphalt pavement materials and of foamed asphalt. Acta Technica Jaurinensis 14 (2) <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00590>

[22]: Saleh, A. 2019: The possibility of design the asphalt mixture using foamed asphalt, Tishreen University Journal. - Engineering Sciences Series (41) (3) [Online]. Available: <http://journal.tishreen.edu.sy/index.php/engscnc/article/view/8779>.