A kiselejtezett gumiabroncsok anyagának hasznosítása

Tárgyszavak: használt gumiabroncsok; hasznosítás; lerakási tilalom; őrlés; szétválasztás; anyagok felhasználása; gumicsíkok mint betonadalék.

Az Egyesült Államokban évente 242 millió használt gumiabroncsot cserélnek le, ami a teljes szilárd lakossági hulladék 1,2%-a. Az USA Környezetvédelmi Hivatalának (EPA) becslése szerint *2–3 milliárd abroncs halmozódhatott már fel különböző illegális lerakókban szerte az országban*. A hulladékabroncs környezetvédelmi, egészségügyi és esztétikai szempontból is jelentős problémát jelent, amelyre mind újabb és újabb megoldásokat próbálnak találni.

Az a tény, hogy *Európában 2003 áprilisa óta nem lehet használt abroncsot hulladéklerakókban elhelyezni, még nagyobb lendületet adott az új technológiák kifejlesztésének és újabb feldolgozó üzemek létrehozásának. Ausztriában 2002 tavaszán avattak fel egy üzemet, amely a maga 30 E t/év kapacitásával az egész osztrák igény mintegy kétharmadát képes kielégíteni.* Németországban évente mintegy 650 E tonna használt abroncsról kellene gondoskodni, amiből eddig mindössze maximum 90 E t-t dolgoztak fel.

Az USA-ban azt vizsgálták, hogy szál formájúra vágott abroncshulladékkal lehetne-e a betonok szívósságát javítani.

A használt autóabroncs mint nyersanyagforrás

Az egyik lehetőség az abroncs alkotórészeire való bontása (gumiőrlemény, acél és textilszál). A gumi szétválasztásához kriogén (cseppfolyós nitrogénben végzett) őrlést kell alkalmazni. *Hagyományosan a használt abroncsokat pirolízissel vagy égetéssel ártalmatlanították.* A pirolízis során szerves olajok, gázok és korom képződnek, de a folyamat energiaigényes. Mivel a keletkező kormot csak meglehetősen drágán lehet aktív szénné alakítani, az eljárás sem gazdaságilag, sem környezeti szempontból nem túl előnyös. Ennél nem rosszabb a cementművekben történő elégetés sem, hiszen ott közvetlenül használják ki a szerves anyagok fűtőértékét.

Az Ausztriában beindított üzem „meleg" és hideg őrlési eljárások kombinációját használja az abroncsok hasznosításában. Az abroncsok mintegy 65%

gumit, 30% acélt és 5% kordszövetet tartalmaznak. A személyautók abroncsaiban kevesebb az acél, és valamivel több a textília, a teherautókében az arány fordított. A gumik összetétele sem egészen egyforma: az erős igénybevételnek kitett teherautó-abroncsokban több a természetes kaucsuk, a személyautókéban a műkaucsukok (pl. sztirol-butadién) dominálnak. Ha a teherautó-abroncsok acélerősítését nem távolítják el, az károsíthatja az aprítóberendezéseket. Az eltérések miatt az ausztriai üzemben elkülönítve és más berendezéseken dolgozzák fel a személyautók és a teherautók abroncsait. Az első lépés mindkét esetben azonos: szobahőmérsékleten („melegen”) tenyérnyi nagyságú darabokra vagdalják az autógumikat, amit további darabolás, majd méret szerinti szitálás követ. A vastartalmú komponenseket mágnessel, a könnyű textilalkotókat lefúvással különítik el. A „meleg” granulálás eredménye kb. 4 mm átlagos átmérőjű gumiőrlemény. Ezt követi egy alacsony hőmérsékleten (cseppfolyós nitrogénnel –100 °C-on) kriogén hűtés alatt végzett további őrlés. Erre azért van szükség, mert a gumi csak üvegesedési hőmérséklete alatt válik elég merevvé ahhoz, hogy mechanikailag darabolni lehessen. Ilyen feltételek mellett a gumi kb. 0,25 mm átmérőjű szemcsékre őrölhető. A szemcseméret-eloszlás valamennyire befolyásolható a hűtés mértékével. Az utolsó lépésben eltávolítják a még megmaradó acél- és textilmaradványokat, az előbbit dobmágnesekkel, az utóbbit finom szitákkal. Mindennek eredményeként 99,9%-os elválasztási hatásfokot lehet elérni. 1 tonna gumiőrlemény előállításához mintegy 1,5 tonna cseppfolyós nitrogént használnak fel.

A felhasználás lehetőségei

A 30 E t feldolgozott abroncsból mintegy 18–20 E tonna gumigranulátum képződik, amelyből kb. 6 E t gumiőrleménnyé alakítható. A granulátum és a finom őrlemény nem csak szemcseméretben, hanem felhasználhatóságban is különbözik. A granulátum felszíne szabálytalan, a kriogén őrlés után azonban meglehetősen sima felszínű, nagyjából izometrikus részecskék képződnek. A granulátumot mérete és jellegzetességei miatt inkább *sportfelületek* gyártásában, *hangszigetelésként* és *padlóadalékként* lehet hasznosítani. Használják még *olaj megkötésére* is, hiszen vizet nem, csak olajat szív fel, és úszik a víz színén, tehát nem okoz további környezetszennyezést. A granulátumot és a finom őrleményt együtt is használják pl. *bevonatok vagy cipőtalpak gyártásához*. Nagy mennyiségben alkalmaznak gumigranulátumot az *útépítésnél aszfaltadalékként*, mert mintegy felére csökkenti a képződő zajt (ún. „suttogó” aszfalt), jobb az abroncsok tapadása, nagyobb az aszfalt élettartama (kisebbek a fagykárok), kisebb a fékút.

A finom őrleményt *újabb gumiabroncsok gyártásánál* vagy műanyagadalékként lehet használni, többek között az *autóiparban* is, pl. ütköző gyártásánál. A többi elkülönített alkotórész is hasznosítható: *az acél nagyolvasztókban*,

a textil pedig részben abroncsgyártásban, részben szigetelőanyagként vagy a textilipar más területein.

Abroncshulladék mint betonadalék?

A portlandcementből készülő betont széles körben használják a vasútépítésnél. Ennek a betonfajtának nagy a nyomószilárdsága, közepes a húzószilárdsága, és nagyon rossz az ütésállósága. Az ideális vasútépítő betonnak nagyobb húzószilárdságot és ütésállóságot kellene mutatnia. Általában minél nagyobb a beton szilárdsága, annál kisebb az ütésállósága. *Mivel az abroncsok nagyon szívósak, arra gondoltak, hogy abroncshulladék hozzáadásával javítható a betonok ütésállósága. Az abroncshulladék javíthatja a szívósságot, az ütésállóságot, a plasztikus folyási képességet, ami jól kamatoztatható ütközésgátló és hangelnyelő betonokban.* Teherhordó alkalmazásokban azonban gátolta a felhasználást az, hogy az abroncshulladék jelentősen csökkenti a beton szilárdságát.

Rövid szálak (pl. acélszálak) hozzáadásával a beton szilárdsága és ütésállósága is növelhető. Ennek alapján várható, hogy ha az abroncshulladékot makroszkópos szálak és nem vagdalék formájában adják a betonhoz, tovább javíthatók annak tulajdonságai, és esetleg teherhordó alkalmazásokban is használható lesz. Mivel makroszkópos szálak szobahőmérsékletű vágással is készíthetők az abroncsokból, ez jelentős megtakarítást jelent a kriogén őrléshez képest, amellyel az aszfaltmódosításhoz használt törmelékgumit készítik. A továbbiakban egy vizsgálat eredményei láthatók, amelyek célja a makroszkópos szálas gumiőrlemény hatásának vizsgálata a beton szilárdságára.

Betonminták készítése

A beton készítéséhez I típusú portlandcementet, kavicsot, homokot, vizet és DARAVAIR 1000 adalékot használtak. Összehasonlító keverékként egy 40 MPa nyomószilárdságú betont alkalmaztak (ACI 211.1 betonszabvány). Az abroncshulladékkal módosított keverékekben a kavics 15%-át (V/V) helyettesítették szemcsés vagy szálas abroncshulladékkal. A tömegarányok az alapkeveréknél a következők voltak:

– cement : víz : kavics : homok : adalék = 1 : 0,50 : 3,50 : 1,88 : 0,001

míg az abroncshulladékkal módosított keverékben:

– cement : víz : kavics : abroncshulladék : homok : adalék = 1 : 0,50 : 3,40 : 0,10 : 1,88 : 0,001

A bekevert betont kiöntötték, majd 28 napig ellenőrzött körülmények között szilárdították. A feldolgozhatóság vizsgálatára a friss keveréken elterítési és levegőtartalom-vizsgálatot is végeztek.

A gumihulladék részben személygépkocsik abroncsaiból, részben személyautók és teherautók kevert abroncsaiból származott. Egyes abroncsokban voltak acélmerevítők, másokban nem. A szemcsés hulladékot aprítógéppel, a szálas hulladékot vágógéppel állították elő. A szemcsés hulladék kb. 1:1 arányban tartalmazott személygépkocsikból és teherautókból származó gumit, és acélhuzal is volt benne. Szálas hulladékot többféle abroncsanyagból is készítettek: személygépkocsi- és teherautó-abroncs 1:1 arányú keverékéből és csak személyautó-abroncsokból, acélhuzallal és anélkül. A szálhossz hatásának vizsgálata céljából különböző hosszúságú gumiszálakat használtak. Összesen hétféle keverék készült (*1. táblázat*), amelyekből 152 mm (6 inch) átmérőjű és 308 mm (12 inch) magas hengereket gyártottak (fajtánként 6 párhuzamos). Ezekből hármat a nyomómodulus és nyomószilárdság mérésére használtak fel (ASTM C39 szabvány szerint), hármat pedig ún. hasított húzóvizsgálatra (ASTM C 496 szabvány szerint).

1. táblázat

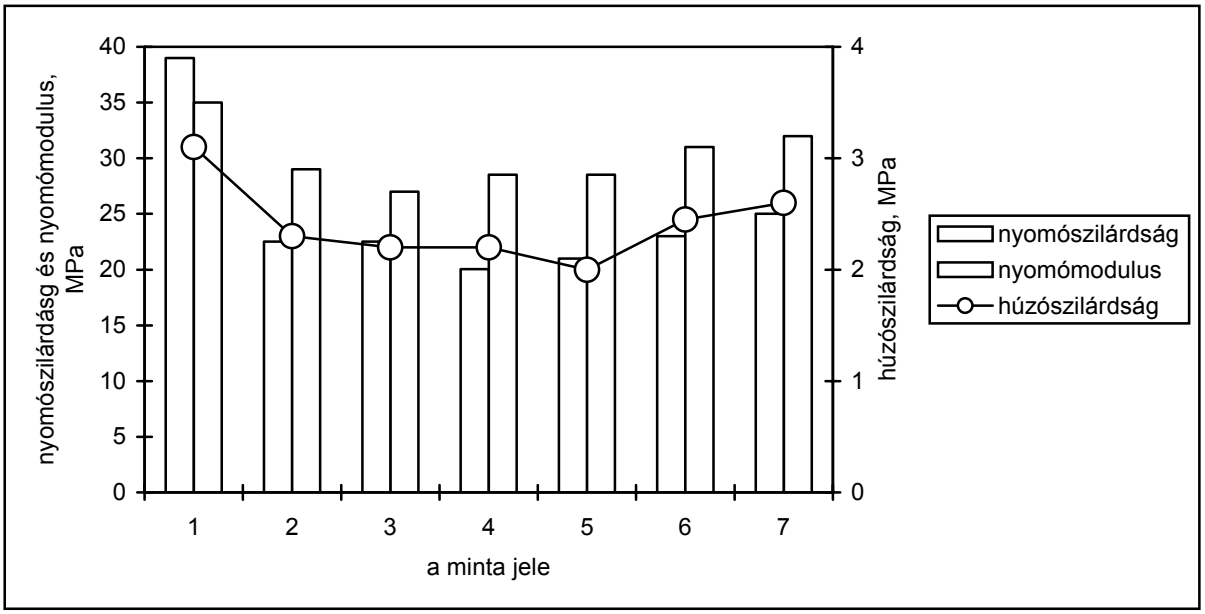
A vizsgálatokban használt betonkeverékek adalékanyagai

A keverék száma	Az abroncshulladék eredete és formája	A gumirészecskék mérete, mm		
		hossz	szélesség	magasság
1	nincs gumiadalék			
2	kevert teherautó- és személyautó-abroncs darabkák acélerősítéssel	25	25	5
3	személyautóabroncs-szálak acélerősítés nélkül	25	5	5
4	személyautóabroncs-szálak acélerősítés nélkül	51	5	5
5	személyautóabroncs-szálak acélerősítés nélkül	76	5	5
6	személyautóabroncs-szálak acélerősítéssel	51	5	5
7	kevert teherautó és személyautóabroncs-szálak acélerősítéssel	51	5	5

A vizsgálatok eredményei és értelmezésük

A feldolgozhatósági vizsgálatok azt mutatták, hogy a teríthetőség és a levegőtartalom csak minimálisan változik meg az abroncshulladék hatására, vagyis az eredeti feldolgozástechnológia továbbra is használható. A húzóvizsgálatokból az derült ki, hogy a feszültség–nyúlás görbék eleje ugyan hasonló, de a *gumiadalékot is tartalmazó minták sokkal nagyobb deformációnál mentek végleg tönkre, mint az eredetiek,* vagyis a disszipált energia, ami a szívóssággal arányos, sokkal nagyobb. Ez azt jelenti, hogy a gumiadalékkal készített beton dinamikus terhelésfelvétele és repedésgátló képessége sokkal nagyobb, mint a hagyományosé. *A hagyományos beton a terhelhetőségi maximum ki-*

alakulása után gyakorlatilag szétesik, az abroncshulladékkal feljavított változatok viszont még jelentős további deformációt szenvednek anélkül, hogy szétesnének. Ennek eredményeként az adalékolt betont fel lehetne használni a hangelnyelésen és ütközők készítésén túl teherhordó és járdaelemekben is – feltéve, hogy szilárdsága kielégítő. A 28 napos mintákon mért nyomószilárdságokat, modulusokat és húzószilárdságokat az *1. ábra* mutatja.



1. ábra A hét különböző betonminta mechanikai tulajdonságai

A növekvő szívóssággal és a gyakorlatilag változatlan feldolgozhatósággal szemben a szilárdsági és modulusértékek csökkennek a módosított betonokban. Az 1. (összehasonlító) mintához képest a nyomószilárdság 35,6%-tól (7. keverék) 46,7%-ig (4. keverék) terjedő, a húzószilárdság 15,7%-tól (7. keverék) 36,0%-ig (5. keverék) terjedő, a modulus pedig 10,1%-tól (7. keverék) 22,4%-ig (3. keverék) terjedő mértékben csökken. A nem egyforma mértékű csökkenés azonban azt mutatja, hogy a szálas adalékot tartalmazó keverékekben sikerült javulást elérni azokhoz a keverékekhez képest, amelyek csak gumidarabokat tartalmaztak. A 2. és 7. keverék között pl. csak az a különbség, hogy az egyikben szemcsés, a másikban szálas abroncshulladék van, ami 10% körüli javulást jelent a különböző fizikai jellemzőkben. Várható, hogy teherautó-abroncsok hulladékának alkalmazásával a szilárdság még tovább is növelhető. A 4., 6. és 7. keverékekben használt szálas adalékok hossza egyforma, csak merevségük különböző. A 4. keverékben olyan abroncshulladék volt, amely nem tartalmazott acélerősítést, a 6. keverékben volt acél, a 7. mintába pedig teherautó-abroncs hulladékát is kevertek. A merevség tehát a 3-4-7

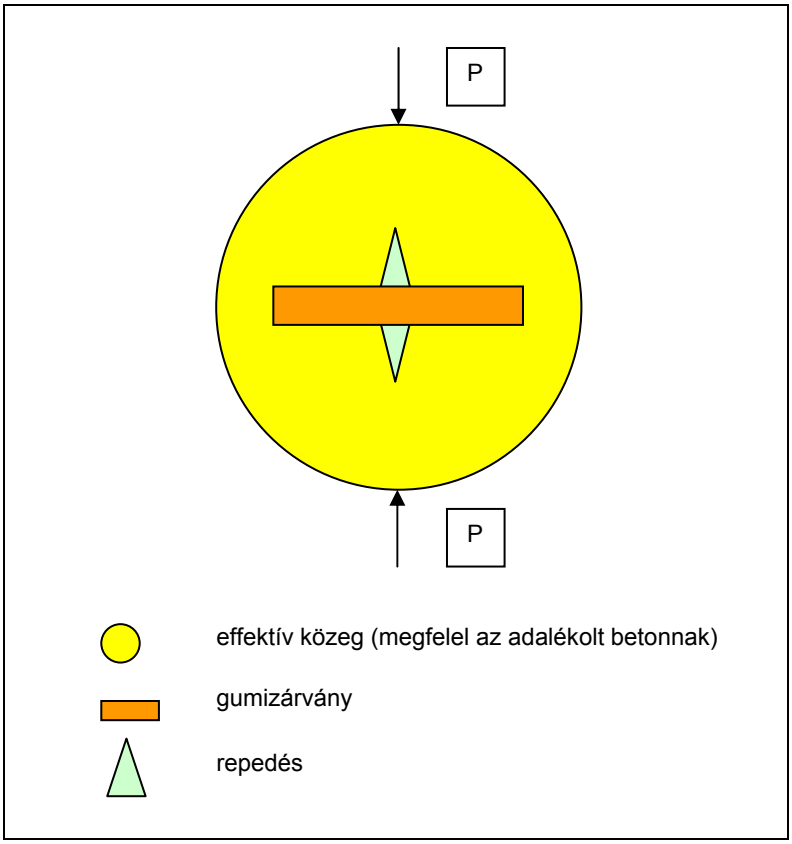
sorban nő, és ez megmutatkozik a beton tulajdonságaiban is (főként a 7. keverékében).

Ismeretes, hogy az erősítő hatás kialakulásához egy bizonyos minimális szálhossz/átmérő arány szükséges. A rendelkezésre álló vágógép tulajdonságai miatt az itt alkalmazott, 25 mm-es szálak hossz/átmérő aránya mindössze 5 körül volt. A 3., 4. és 5. keverékekben a hossz/átmérő arány fokozatosan nőtt, de meglepő módon azt tapasztalták, hogy növekvő szálhosszal csökkent a szilárdság. A közelebbi vizsgálat azt mutatta, hogy e szabálytalanság oka a szálak egymásba gabalyodása és összeállása a keverés során. Az 5. keverékben különösen egyenetlen széloszlást tapasztaltak. Jelenleg a legfeljebb 5 cm hosszúságú szálak alkalmazása javasolható. Lehet, hogy a jövőben érdemes lesz továbbfejleszteni a vágógépeket, hogy keskenyebb szálakra lehessen vágni az abroncsokat.

A fejlesztés további irányának kijelölése végeselemes számítások (FEM) segítségével

A mérési eredmények jobb megértéséhez és a továbbfejlesztéshez arra van szükség, hogy jobban megértsék az abroncshulladékot tartalmazó beton feszültség–nyúlás viszonyait. Ennek elősegítésére végeselemes (FEM) módszerrel számításokat végeztek olyan kompozitmintán, amelyben egy indirekt nyúlásnak kitett minta (*2. ábra*) erő–deformációs viszonyait elemezték. Mivel a nyújtáskor a terhelés tengelyirányú, a test deformációja sík megnyúlásként modellezhető. Mikroszkopikusan egy betonmátrixba ágyazott gumizárványról van szó, ahol a beton jellemzőire egy effektív (a kompozit tulajdonságaival megegyező) értéksort kell alkalmazni. A modellezéshez COSMOS/M programot használtak, háromszög alakú koordinátahálózattal, szálas és szemcsés abroncshulladékot feltételezve. A terhelés leírására 500 N/mm-es lineáris feszültséget alkalmaztak. A modellezésnél feltételezték, hogy a repedés már megjelent, mert különben nem lehetett jelentős különbséget látni az adalékolt és a nem adalékolt rendszer viselkedése között – illetve összevetették a repedés előtt és a repedés megjelenése után számított adatokat. A számításokból kiderült, hogy a szálas gumiadalékot is tartalmazó rendszerben kisebb feszültség alakul ki, mint a szemcsés gumiadalékot tartalmazókban, vagyis az ilyen rendszer nagyobb teher viselésére képes, ami összhangban van a mérésekkel. A szálas adalékot tartalmazó rendszerekben egy bizonyos modulushatárérték felett a gumi modulusának nagyobb hatása van a kialakuló feszültségre, mint szemcsés adalékok esetében (minél nagyobb a modulus, annál kisebb a feszültség). Jellegében hasonló, de abszolút számértékeiben különböző kép alakul ki a repedés megjelenése után is. A számítások azt igazolják, hogy érdemes megtartani az acélhuzal adalékot is, mert a modulus növelése csökkenti a kialakuló feszültséget – megint csak összhangban a megfigyelésekkel. (Ez azt is jelenti, hogy ebben az alkalmazásban – eltérően az ab-

roncshulladék aszfaltadalékként való felhasználásától – nem kell eltávolítani az acélhuzalokat, ami jóval olcsóbbá teszi az eljárást). A számítások azt is kimutatták, hogy a szálas adalék hossz/átmérő arányának főként a repedések megjelenése után van jelentősége: minél nagyobb ez a hányad, annál kisebb a kialakuló feszültség. Ez is támogatja azt a törekvést, hogy a gumiabroncsok vágásakor igyekezzenek minél vékonyabb szálakat hasítani az anyagból.



2. ábra A végeselemes számításokban használt modell

A számítások és mérések tehát egyértelműen arra utalnak, hogy

– *érdemes az abroncshulladékot beton ütésállóságának javítására használni,*
– *a gumiadalék nem rontja jelentősen a beton feldolgozhatóságát, megtartható az eredeti keverési és feldolgozási technológia,*
– *szálas alakban, az acéltartalom megtartásával kisebb szilárdságcsökkenés várható, mint ha az abroncsokat egyszerűen feldarabolnák, és úgy adnák a betonhoz,*
– *törekedni kell arra, hogy minél nagyobb hossz/átmérő aránnyal lehessen felvágni az abroncsokat.*

Az egyre erősödő környezeti tudatosság és a szigorodó törvényi szabályozás erős ösztönzést jelent a fejlesztők és a beruházók számára is, hogy a hegyekben álló hulladékabroncsokból hasznos végtermékeket készítsenek, ami persze elkerülhetetlenül növelni fogja a termékek árát, de ez az ára annak, hogy lassabban merítsük ki a meg nem újuló erőforrásokat, és ne terheljük meg elviselhetetlenül környezetünket.

Dr. Bánhegyi György

Mertig, U.: Neue Rohstoffe aus alten Reifen. = Kunststoffe, .94. k. 2. sz. 2004. p. 82–83.

Li, G.; Garrick, G. stb.: Waste tire fiber modified concrete. = Composites: Part B, 35. k. 4. sz. 2004. p. 305–312.