

## 5.2 | **Abroncshulladék hasznosítása építőmérnöki szerkezetek alapozásában**

*Tárgyszavak: gumiabroncs; hulladék; újrahasznosítás; talaj; kitöltő anyag; cement.*

### **Az abroncshulladék problémájának súlya**

Az USA-ban évente mintegy 266 millió hulladék abroncs képződik, ami személyenként kb. egy hulladék abroncsnak felel meg. Ennek 24%-át deponálják, vagy legális (esetleg illegális) tárolókba kerül. Mindössze 4% hasznosul építőmérnöki projektekben. A probléma mértéke már csak azért is tudatosodott az Egyesült Államokban, mert az abroncsgyártók és az autógyárak több millió hibás kereket vontak ki a forgalomból. Mivel a hulladék abroncs deponálása ma már tilos, szükség van jó, innovatív hasznosítási technológiákra, megoldásokra. Különösen nagy az érdeklődés az építőmérnöki alkalmazások iránt, ahol fel lehetne használni az abroncsok kis sűrűségét és nagy rugalmasságát. Az alábbiakban egy ilyen jellegű hasznosítás laboratóriumi léptékű demonstrációjáról lesz szó.

Az építőmérnöki munkában eddig is volt igény ellenőrzött jellemzőkkel rendelkező, kis szilárdságú anyagok iránt, amelyeket önthető kitöltő anyagnak neveznek. Egyedül Dél-Karolina államban évente kb. 11 500 m<sup>3</sup> ilyen anyagot használnak fel, és ez a mennyiség várhatóan tovább nő. Ilyen anyagokat a legkülönbözőbb helyeken alkalmaznak, pl. támfalak feltöltésénél, járdaalapozásoknál, föld alatti üregek feltöltésénél, alagútszigeteléseknél, föld alatti tartályok esetében stb. A portland-cementből készülő betonhoz hasonlóan az önthető kitöltő anyag is egy cementszerű termék, amelyet helyben kevernek össze és folyékony állapotban juttatnak be az alkalmazás helyére. Az anyag 24 órán belül megköt, és ahogy a cement meg a puccolános alkotók (pl. pernye) hidratálódnak, a rendszer megszilárdul. A kitöltött rész megkeményedése után

terhelés alatt sem süllyed meg. A betonnal szemben az önthető kitöltő anyag saját szintjét beállítja és magától tömörödik, kikeményedés utáni szilárdsága pedig sokkal kisebb a betonénál. Szilárdságát úgy állítják be, hogy az a tömörített talajéhoz legyen hasonló – mert így sokkal egyszerűbb nagy üregeket feltölteni, mint földdel. Az 1. táblázat adatai szerint a standard önthető kitöltő anyag cementet, pernyét és finomszemcsés aggregátumot (homokot), valamint vizet tartalmaz. A fő komponens a finomszemcsés aggregátum, ami a teljes tömeg kétharmadát is kiteheti. Gyakran használnak ASTM C 33-02a szabvány szerinti homokot, mert ez könnyen beszerezhető az előregyártott-beton gyárakból. Ennek következtében az önthető kitöltő anyag sűrűsége rendszerint közel áll a tömörített talajéhoz (1,8–2,3 g/cm<sup>3</sup>).

1. táblázat

A tipikus önthető kitöltő anyagokban alkalmazott komponensek mennyisége és fizikai jellemzői.

Komponens	Tipikus ömlesztett sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	Tömeg a kitöltő anyag egységnyi térfogatában (kg/m <sup>3</sup> )	Teljes tömegszázaléka (%(m/m))
Cement (Portland I)	3,15	30	1,4
Pernye (C vagy F osztály)	2,20–2,80	360	16,4
Finom aggregátum	2,65	1500	68,5
Víz	1,00	300	13,7
Összes		2190	100

Esetlegesen kéznél levő reciklátumokat is használhatnak az önthető kitöltő anyagokba homok helyett, de a keletkezett rendszer tulajdonságait gondosan meg kell vizsgálni. Próbálkoztak üvegtörmelékkel, öntészeti homokkal, szitált mészkővel, egyes államokban már a szabványok is engedélyezik jól definiált reciklátumok felhasználását finomszemcsés aggregátumként. Mivel az ásványi eredetű reciklátumok sűrűsége hasonló a homokéhoz, az önthető kitöltő anyag sűrűsége sem nagyon változik. Egyes esetekben azonban arra lenne szükség, hogy a kitöltő anyag tömegét csökkentésük, pl. azért, hogy az alatta levő talaj ne tömörödjön. Ilyen esetekben jó szolgálatot tehet az abroncshulladék-őrleményből készült finomszemcsés aggregátum.

## **Az abroncshulladék építőmérnöki jellegű hasznosítása**

Az abroncshulladék-darabokat és ezek granulált változatát, az abroncshulladék-őrleményt már eddig is számos építőmérnöki alkalmazásban hasznosították. A darabolt hulladék abroncsok 2,5–30 cm-es darabokat tartalmaznak, többnyire acélabroncs darabokkal és textilhulladékkal, amelyek a vágási felületeken megjelennek. Elég sokat vizsgálták a darabolt abroncshulladék alkalmazását támfalakban, utak szivárgó rétegeiben, ahol a kis sűrűséget, a nagy áteresztőképességet, a hőszigetelést, a tartósságot és a kompresszibilitást ki lehet használni. Sok esetben ez a fajta hulladék jelentette a legolcsóbb megoldást más kitöltő anyagokkal szemben. A gumiőrlemény a darabolt gumihulladékból készül, az acél és textilkomponensek eltávolítása után. Szerkezete szemcsés (granuláris), a szemcsék mérete a nagyon finom részecskétől a homokszemcse méretig terjed. Az őrölt abroncshulladékot sikerrel alkalmazták aggregátumként aszfaltbetonban és portlandcement betonban is. Aszfaltfelületekben alkalmazva egyenletesebbé teszi a felületet, csökkenti a repedezést, javítja a kocsik menettulajdonságait. Habarcsban vagy betonban a gumiőrlemény csökkenti a sűrűséget és a nyomószilárdságot. Az erőműi pernye hozzáadásával a sűrűség még tovább csökkenthető. A gumi jelenléte csökkenti a rugalmassági modulust, de növeli a duktilitást (a képlékeny alakíthatóságot). Mindezek a tulajdonságok hasznosak pl. árkok betemetésénél vagy csövek beágyazásánál, amely az önthető kitöltő anyagok tipikus alkalmazási területe.

Kétségtelen, hogy a reciklált hulladékokban sok értékes nyersanyag van és felhasználásukkal csökkenthető a deponált hulladék mennyisége, de kérdés, hogy szabad-e használni őket földfelszín alatti, talajvízzel érintkező alkalmazásokban? Az ASTM D 6270-98 szabvány szabályozza az abroncsokból kioldható fémek és szerves vegyületek mennyiségét. A vizsgálatok szerint a vizes extrakció nem old ki egészségre káros anyagokat az abroncsból. Kis pH mellett inkább fémek, nagy pH mellett inkább szerves anyagok oldódnak ki. Leginkább olyan környezetben célszerű az abroncshulladék alkalmazása, ahol a talajvíz közel semleges. A konkrét, talajokban végzett vizsgálatok is azt mutatták, hogy abroncshulladék jelenlétében a kiterjesztett ivóvízszabványnál magasabb vas- és mangánkoncentráció alakult ki. Mivel a kiterjesztett ivóvízszabvány a víz esztétikai és nem egészségügyi tulajdonságaira vonatkozik, ez csak akkor okoz problémát, ha az adott szövetségi állam ivóvízszabvány előírásai nagyon szigorúak. Ami a szerves vegyületeket illeti, a talajvízszint

feletti alkalmazásoknál nem mutathatók ki, talajvíz alatti alkalmazásoknál azonban igen. Ezért az ASTM D 6270-98 csak a talajvíz feletti alkalmazásokat engedi, amíg be nem bizonyosodik, hogy a kioldott szerves vegyületek nem károsak az egészségre. A gumiőrleményre vonatkozó környezeti vizsgálatok sem mutattak ki semmilyen káros hatást, sőt még előnye is van, amennyiben megköti az illékony szerves anyagokat (VOC = illékony szerves komponens).

## **Önthető kitöltő anyagok vizsgálata gumiőrlemény adalékkal**

Az alábbi adatok olyan önthető kitöltő anyagokra vonatkoznak, amelyek homok helyett gumiőrleményt tartalmaznak aggregátumként. Az adatok most csak egyetlen gumiőrlemény-típusra vonatkoznak, de később célszerű megvizsgálni a nyersanyag típusának hatását is a folyós és a megkötött anyag tulajdonságaira. A 2. táblázat tartalmazza a vizsgálatban alkalmazott portlandcement és pernye átlagos összetételét. A vizsgálatokban szobahőmérsékletű csapvizet használtak. Három keverék esetében egy Specrete Intrusion Aid<sup>®</sup> márkanevű viszkozitáscsökkentő adalékot is alkalmaztak, amely csökkenti a vízigényt és a elkülönülési (szegregációs) hajlamot, kontroll alatt tartja a duzzadást és növeli a szilárdságot is. A gumiőrleményt újrafutózott teherautó-abroncsokból vették. Ha a futófelület elkopik az abroncson, a teherautók esetében olcsóbb lehántani a régi futófelületet és újat készíteni, mint venni egy új abroncsot. Egy forgókés segítségével a futófelületet 15 cm-es és keskenyebb csíkokra vágják, majd ezt őrlik meg. Mivel a futófelület nem tartalmaz szálas anyagot, a futófelületekből olcsóbban lehet gumiőrleményt gyártani, mint a teljes abroncsból. A gumiőrleményből három méretosztály érhető el: 30-as, 40-es és 60-as szítaszámú. A 30-as a legdurvább, ezt használták az itt leírt vizsgálatokhoz. A használt őrlemény száraz volt, de az saját tömege 2,4%-ának megfelelő mennyiségű vizet képes megkötni a felületén. Ez több, mint a homoknál észlelt 0,5%-os érték. Ezt figyelembe kell venni a cement hidratálásához szükséges víz mennyiségének megállapításakor. A homoktól leginkább a gumiőrlemény sűrűsége tér el. A 0,53–0,60 g/cm<sup>3</sup>-es sűrűség jóval kisebb, mint az egyéb, a folyékony kitöltő anyagokban használt aggregátumok sűrűsége. A cementalapú keverékekben a könnyű adalék (pl. perlit, vermikulit) hozzáadása gyakran szételegyedési problémákhoz (szegregációhoz) vezet. A gumiőrleményt tartalmazó keverékeknél vizuális ellenőrzéssel ilyen felületi réteg kialakulását nem lehetett megállapítani, az

eloszlás a kikeményedett mintában is egyenletes volt. A 3. táblázat a gumiőrlemény és néhány más aggregátumként használt anyag sűrűségét és árát hasonlítja össze, aminek alapján a gumiőrlemény kedvező helyet foglal el a könnyű kitöltő anyagok között.

2. táblázat

A kísérletekben használt I. típusú portlandcement és pernye vegyi összetétele

Vegyület	%(m/m)	
	I. portlandcement	Pernye
Kalcium-oxid, CaO	1,3	63,2
Szilícium-dioxid, SiO <sub>2</sub>	52,5	20,2
Alumínium-oxid, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,6	6,3
Vasoxid, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,4	3,4
Magnézium-oxid, MgO	0,9	2,5
Kén-trioxid, SO <sub>3</sub>	0,7	2,6
Nátrium-oxid, Na <sub>2</sub> O	0,6	0,7
Kálium-oxid, K <sub>2</sub> O	–	0,3
Egyéb	11,0	0,8

3. táblázat

A gumiőrlemény összehasonlítása néhány más kis sűrűségű aggregátummal

Kis sűrűségű aggregátum	Száraz tömb-sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	Száraz halmazsűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	Körülbelüli ár (USD/t)
Gumiőrlemény	0,53–0,60	0,4	>200
Specrete microlite®	0,40–0,45	0,1	500
Vermikulit	2,5 (nem duzzasztott)	0,06–0,16 (duzzasztott)	100–150
Perlit	2,2–2,4 (nem duzzasztott)	0,30–0,40 (duzzasztott)	320–400

Az önthető kitöltő anyagok fizikai tulajdonságainak (folyóképesség, területi hajlam, térfogati stabilitás, kötési idő, nyomószilárdság) el kell érniük bizonyos határértéket ahhoz, hogy a gyakorlatban használhatók

legyenek. Adott cement-, pernye-, aggregátumtípus használata esetén, adott vízmennyiség mellett a kitöltő anyag tulajdonságai elsősorban a komponensek arányától függenek. Az összetételt a víz/cement hányadossal (w/c) vagy a víz/cementszerű anyag hányadossal (w/cm) jellem-

4. táblázat

A gumiőrleményt is tartalmazó önthető kitöltő anyag  
minták összetétele

Jelölés	Víz/cement (w/c) hányad	Víz/cement- szerű anyag (w/cm) hányad	Gumiőrlemény	
			%(m/m)	%(V/V)
1,5–24-F	1,5	0,6	24,3	48
1,75–23-F	1,75	0,7	23,2	46
2–22-F	2	0,8	22,2	44
2–22	2	0,9	22,3	44
2,5–21	2,5	1,0	20,5	40
3–19	3	1,2	19,0	37
3–29	3	1,6	28,5	48
3–38	3	2,4	38,0	57
4–17	4	1,6	16,6	32

zik, az utóbbiban a cementszerű anyagba a cementet és a pernyét is beleszámítják. A nagyobb w/c és w/cm hányadok jobb folyóképességet eredményeznek, de csökkentik a térfogati stabilitást, a kötési időt és a nyomószilárdságot, ezért a gumiőrlemény-aggregátumot tartalmazó önthető kitöltő anyagokra külön meg kellett állapítani az optimális értékeket. A 4. táblázat mutatja a vizsgálathoz elkészített keverékek összetételét. A 2–22 keverék pl. w/c=2 érték mellett készült és 22% gumiőrleményt tartalmaz. Az F jelű minták kis mennyiségű (0,5%) folyásjavító (fluidizáló) szert is tartalmaznak. Az eddig használt önthető kitöltő anyagok esetében a w/c érték általában 3 és 11 között változott, bár ezen a tartományon kívüli értékek is előfordultak. A pernye mennyiségének növelésével w/cm érték csökken, standard keverékek esetében általában 0,5 és 2,2 között van. A gumiőrleményt tartalmazó rendszerekben a w/c érték általában kisebb, mint a standard rendszerekben, de a w/cm érték hasonló. A gumiőrlemény kis sűrűsége miatt az aggregátumtartalom legfeljebb 38

%(m/m), ami jóval kisebb a homoknál megszokott 70%-os értéknél. A térfogatszázalékos mennyiség (32–57%) viszont jóval közelebb áll a standard rendszerekben megszokott 50 %(V/V) körüli értékhez. A legtöbb vizsgált rendszerben a gumi/cement tömegarány 1,3 volt (a 3–29 és a 3–38 keverékekben még ennél is nagyobb 1,9 és 2,6-os értékek szerepelnek). A laboratóriumi keverékek egy ötgallonos betonkeverőben készültek. A száraz komponenseket még a víz hozzáadása előtt összekeverték, majd a nedves keveréket 15 percig, 60 fordulat/perc sebességgel tovább kevertették. Ha fluidizáló adalékot is használtak, azt a nedves keverés első 10 percében adták hozzá a rendszerhez. A folyékony rendszer tulajdonságait közvetlenül a nedves keverés befejezése után határozták meg. A megkötött rendszerek tulajdonságainak meghatározásához legalább kilenc, 5,1 cm átmérőjű és 10,2 cm hosszú hengert készítettek. (Az újrafelhasználható, szétnyitható öntőszerszám PVC-ből készült). A minták keményítése nedves körülmények között zajlott a cementszerű anyagok folyamatos hidratálódása érdekében.

## A nedves keverék tulajdonságai

A nedves keverék jellemzői közül a legfontosabbak a folyóképesség (terülőképesség, a spontán vízszint-kialakulás érdekében), a térfogati stabilitás (a fázisszeparáció hiánya, hogy ne jelenjen meg elkülönült vízréteg a kötésben levő anyag felszínén, ami különösen nagy w/c értékeknél lép fel) és a kötési idő (a keverés befejezése és a megkötés közti idő). A fluidizálószerket a folyóképesség és a térfogati stabilitás javítása érdekében próbálták ki. A vizsgált keverékek esetében a kötési idő (amelyet kézi penetrométerrel /behatolásos mérő/ állapították meg) általában 24 óra alatt maradt. A nedves keverékekre vonatkozó adatokat az 5. táblázat tartalmazza. A folyóképességet egy 7,6 cm átmérőjű hengerből szabad felületre kifolyó anyag terülőképességével vizsgálták. A jól folyó anyagok 20–30 cm átmérőjűre is kiterülnek. Ennek a kritériumnak csak két keverék tett eleget, amelyek fluidizálószerrel tartalmaztak (ld. az 5. táblázat adatait és a 1. ábrát). A fluidizálószer csak a w/c = 1,75–2,00 tartományban „segítették” a rendszeren, a w/c=1,5 értékkel jellemezhető keverék egyáltalán nem folyt. A 20 cm-nél valamivel kisebb folyóképességű (2–22 és 3–38) keverékek használhatók ott, ahol nincs szükség nagymértékű terülésre. A 30 cm-nél nagyobb folyóképességű rendszerek csak abban az esetben használhatók, ha nem erős a szegregációs hajlam. Amint azt a 1. ábra mutatja, állandó gumi/cement hányados (1,3) mellett lineáris összefüggés van a folyóképesség és a w/c há-

nyad között. Az eredményekből úgy tűnik, hogy a gumiőrlemény alkalmazása esetén az 1,75–3 w/c aránytartomány eredményez használható keveréket, és időnként szükség lehet fluidizáló (folyást elősegítő) adalékanyagok használatára. Ami a fázisszeparáció – szegregációs hajlamot illeti, a szabvány 2%-ban szabja meg a határt. Ha 3%-os határkritériumot alkalmaznak, azt lehet mondani, hogy a w/c < 2 keverékek voltak elfogadhatók. A szegregációs hajlam meredeken nő a w/c > 2 értékek esetében. A szegregációs hajlam valamelyest befolyásolható még a keverés sebességével, idejével és az alkalmazott pernye mennyiségével. A gumival készült önthető kitöltő anyagkeverékek esetében növelni kell a keverés sebességét, idejét és a pernye mennyiségét, ha w/c > 2 keverékeket akarunk használni. A fluidizálószer hozzáadása csökkenti a szegregációs hajlamot. A kötési idő általában 1 nap alatt volt, de még a 140 kPa szilárdság eléréséhez szükséges idő is három kivétellel 1 napon belül volt. A szabvány erre a határra legfeljebb 3 napot ír elő, ezt csak egy rendszer nem teljesítette.

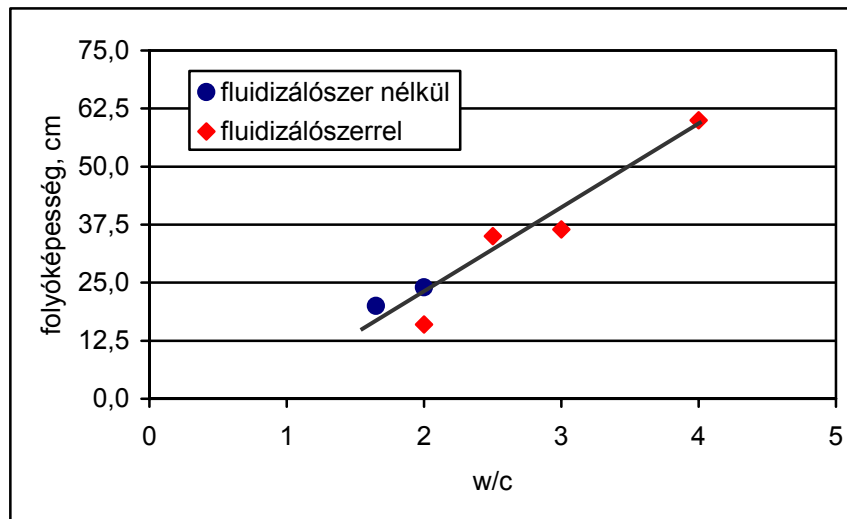
#### 5. táblázat

A gumiőrleményt tartalmazó, nedves kitöltő anyagkeverékek főbb jellemzői. A folyóképességet ASTM D 6103-97 szabvány szerint, a térfogati stabilitás (a folyadékréteg szegregálódását) ASTM D 4832-95e1 szerint, a kötési időt az ASTM C403/C403M-99 szerint határozták meg

Jelölés	Folyóképesség (cm)	Folyadékréteg szegregálódása, %(V/V)	Kötési idő (140 kPa elérése) (nap)
1,5–24-F	0	1,3	1
1,75–23-F	20,3	1,9	2
2–22-F	23,9	3,7	6
2–22	16,8	4,3	1
2,5–21	35,0	10,1	1
3–19	36,3	13,8	1
3–29	31,8	9,5	1
3–38	16,8	4,6	2
4–17	>60	29,9	1

Az 5. táblázat adatai alapján a 3–19, 3–29 és 3–38 keverékek adatait összehasonlítva képet kaphatunk a gumiőrlemény mennyiségének

hatására vonatkozóan. E három adat alapján úgy tűnik, hogy a gumiőrlemény mennyiségének növelése csökkenti a folyóképességet, és korlátok közé szorítja a szegregációs hajlamot. Ez lehetőséget kínál arra, hogy megfelelő kompromisszumos értéket állítsunk be, amelynél a folyóképesség még elfogadható, de a szegregációs hajlam sem túl nagy.



1. ábra A folyóképesség és az egyforma aggregátum/cement hányadossal jellemezhető keverékek w/c értéke közti összefüggés

## A megkötött rendszerek tulajdonságai

A megkötött rendszerek legfontosabb jellemzői a sűrűség és a nyomószilárdság. A könnyű aggregátummal készített kitöltő anyagoknak ott lehet jelentősége, ahol a kitöltés alatti talaj megsüllyedését el kell kerülni. A kitöltő anyagoknak a terhelhetőség érdekében egy bizonyos minimális szilárdságot kell mutatniuk, de van egy maximális szilárdsági érték is tekintettel az esetleges későbbi feltárára. A nyomószilárdságot az ASTM D 4832-95e1 szabvány alapján, külső geometriai határolás nélkül állapították meg 7, 14 és 28 napos mintákon. A későbbi esetleges feltárás miatt a szilárdság felső határát 345 kPa-ban állapították meg, míg alsó határértékként a talaj szilárdsága (35 kPa) használható. A keverékek sűrűsége 28 nap után 1,2–1,6 g/cm<sup>3</sup> között változott, de többnyire 1,3 és 1,4 g/cm<sup>3</sup> között mozgott, ami lényegesen alacsonyabb a megszokott kitöltő anyagkeverékekénél. Azt lehet mondani, hogy a gumimennyiség megduplázásával a sűrűség mintegy 25%-kal csökkent. A szegregációs

hajlam erősödésével a mért sűrűségi adatok nagyobb szórást mutatnak. A gumiadalék mennyiségének növelése csökkenti a szegregációs hajlamot, ezért homogénebb termék előállítását teszi lehetővé.

A szilárdsági értékeket a 6. táblázat foglalja össze. Az egyik váratlan megfigyelés a fluidizálószer hatására bekövetkező szilárdságcsökkenés a 2–22 keverék esetében. Az ismert, hogy az ilyen adalékok a kezdeti szilárdsági értéket csökkentik, de az eddig vizsgált rendszerekben a tartós szilárdságot inkább növelték. A gumiőrlemény hatása a szilárdságra nem egyértelmű, de annyi megállapítható, hogy adott w/c aránynál van egy optimum. A szilárdsági értékek szórása (az értéktartomány és az átlagérték hányadosa) a kötési idő növekedésével csökken, és 28 napnál általában 10% alá csökken. A cementalapú rendszerek szilárdságát leginkább a w/c, vagy a w/cm hányados befolyásolja, bár hatása van a töltőanyag és a cement-mátrix (jelen esetben a gumi és a cement) közti adhézió erősségének is. A hidratáció előrehaladásával a szilárdság általában nő. A 6. táblázat adatai szerint, amint várható, a szilárdság nő a w/c (és a w/cm) hányados csökkenésével, valamint a kötési idő növekedésével. A szilárdsági mérés erőváltozási diagramjaiból megállapítható a modulus (a kezdeti meredekségből), ami ugyancsak nő a kötési idővel. A modulus és a szilárdság hányadosa kb. 75, ami nagyjából megfelel a folyékony kitöltő anyagoknál tapasztalt értékeknek és a talaj jellemzőinek is. A tönkremenetelhez tartozó deformáció azonban nagyobb a gumiőrleményt is tartalmazó rendszerekben (4%), mint a hagyományos kitöltő anyagokban (2,5%).

## **A gyakorlati alkalmazás lehetőségei**

Az erősen csökkentett sűrűség miatt a gumiőrleményt is tartalmazó kitöltő anyagkeveréket lazább talajok fölött is nyugodtan lehet használni, vagy vastagabb réteget lehet vele feltölteni, mint a hagyományos anyagok esetében. Mindezt változatlan szilárdsági jellemzők mellett lehet elérni. Ha esetleg be is következne a töltés alatti talaj zsugorodása, a gumiőrleményt is tartalmazó kitöltő anyag nagyobb deformálhatósága miatt később következik be a kitöltött régió összeroppanása. A nagyobb hőszigetelő képesség és a szervesanyag-megkötő képesség a gumiőrleményt is tartalmazó rendszerek előnye lehet, ha pl. csővezetékek vagy szerves anyagot tároló tartályok köré injektálják őket.

A fenti adatok arra utalnak, hogy a nagy mennyiségben képződő abroncshulladékból származó gumiőrlemény jól hasznosítható folyékony kitöltő anyagrendszerekben, különösen ott, ahol kis sűrűségre, nagyobb

rugalmasságra, jobb hőszigetelő képességre és szervesanyag-abszorpció (VOC) képességre van szükség. A modellvizsgálatokból az is kiderült, hogy a recept megfelelő megváltoztatásával jól feldolgozható, megfelelően terülő, korlátozottan szegregálódó, kielégítő szilárdságú rendszerek készíthetők, amelyek minden tekintetben felveszik a versenyt az építőiparban és az építőmérnöki projektekben eddig használt, szabványosított anyagokkal. A gumiőrleményt is tartalmazó kitöltő anyagok használatát óvatosságból egyelőre a talajvízszint feletti alkalmazásokra korlátozták az esetleges szervesanyag-kioldódás miatt.

#### 6. táblázat

A 7, 14, és 28 nap után, geometriai korlátozás nélkül  
mérhető nyomószilárdság értékek  
(a tartomány a maximális és minimális értékek eltérését jelöli)

Jelölés	7 napos nyomószilárdság (kPa)		14 napos nyomószilárdság (kPa)		28 napos nyomószilárdság (kPa)	
	átlag	tartomány	átlag	tartomány	átlag	tartomány
3–38	179	28	228	0	269	14
3–29	–	–	566	131	766	56
3–19	331	21	359	41	483	89
2,5–21	932	186	1449	49	2601	152
2–22	–	–	897	63	1021	42
2–22-F	97	21	469	35	676	14
1,75–23-F	718	338	897	59	1194	14
1,5–24-F	114	83	1525	159	–	–

**Összeállította: Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes**

Pierce, C. E.; Blackwell, M. C.: Potential of scrap tire as lightweight aggregate in flowable fill. = Waste Management, 23. k. 3. sz. 2003. p. 197–208.

Pierce, C. E.; Blackwell, M. C.: A lightweight flowable fill using granulated rubber tires. = Journal of Solid Waste Technology und Management, 29. k. 1. sz. 2003. p. 31–41.