

MISKOLCI EGYETEM  
ELJÁRÁSTECHNIKAI TANSZÉK

## DOLGOZAT

ÉPÍTÉSI HULLADÉK ALAPANYAGÚ TERMÉKEKKEL  
SZEMBEN TÁMASZTOTT MINŐSÉGI KÖVETELMÉNYEK  
VIZSGÁLATA HAZÁNKBAN ÉS AZ EU-BAN

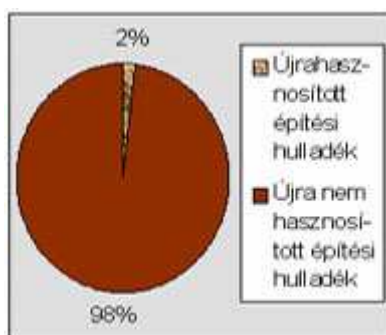
2003. augusztus 7.

Készítette: Mucsi Gábor  
*doktorandusz*  
Eljárástechnikai Tanszék

## I. BEVEZETÉS

A kommunális hulladékokhoz hasonlóan nagy mennyiségű építési hulladék keletkezik hazánkban és Európa más országaiban egyaránt. A különbség csak az, hogy a tőlünk nyugatabbra fekvő fejlettebb országokban a keletkezett hulladék minél nagyobb arányú újrahasznosítására törekszenek. A differencia számottevő, ha összehasonlítási példaként hozzuk Németország, Franciaország vagy Ausztria esetét. Ugyanis ezen országokban a keletkezett építési hulladékok 50-60%-át felhasználták másodnyersanyagként már a 90-es években [1].

Hazánkban jelenleg kb. 7 millió tonna ilyen típusú hulladék keletkezik évente, újrahasznosításuk aránya pedig mindössze 1-2%-ra becsülhető [2].



**I. 1 ábra:** Újrahasznosított építési hulladékok aránya hazánkban

Mivel az egyéb nem veszélyes települési hulladékok közé tartoznak, rendszerint hulladéklerakókban helyezik el. Mentségünkre legyen mondva, hogy a nyugat-európai országok eredményes működését támogatják különböző adókedvezményekkel és beruházási támogatással, amelyek reményeink szerint hamarosan Magyarországon is bevezetésre kerülnek.

## II. ÉPÍTÉSI HULLADÉKOK

Négy alapvető csoportba sorolhatjuk az építési hulladékokat. Ezek közül legnagyobb arányban a kiemelt föld képviselteti magát. Ezt követi a sorban az építési bontási törmelék, az építéshelyi hulladék és az útbontásból származó törmelék.

A kitermelt föld termőföldből, homokból, kavicsból és más kőzetanyagokból tevődik össze, ezért újrahasznosítása különösebb előkészítések nélkül egyszerűen kivitelezhető (útalapozás, feltöltés, talajszilárdítás, stb...).

A bontásból származó hulladék kezelése különlegesen aktuális kérdés, mert a jövőben az építés mellett a jelenleginél jóval nagyobb hangsúlyt kell fektetni a korszerűtlen, gazdaságosan már fel nem újítható épületek bontására és cseréjére. A bontott épületek száma jelenleg jóval elmarad attól, amit az épületállomány egészséges cseréje megkövetelne. Ez jelentős részben a nehezen bontható épületeket eredményezett építési technológiáknak tudható be. A jelenlegi probléma (pl. panel lakótelepek) megoldása hosszú időt vesz igénybe, ami a jövő nemzedékeit is érinti. A fenntarthatóság elve megköveteli, hogy a jövő generációk számára legalább a jelenlegi építési gyakorlatunk által ne súlyosbítsuk ezt a problémát. Ezért az új építés során kiemelt fontossággal kell kezelni a könnyű bonthatóság és újrahasznosíthatóság elvét. A könnyű bonthatóság elve mellett ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy a bonthatóság ne a növekedés-centrikus fogyasztói elv miatt legyen fontos, hanem a valós szükségletek kielégítésének esélyét biztosítsa és a fenntarthatóság célját szolgálja [2].

*Olyan technológiák alkalmazására kell tehát törekedni, melyek lehetővé teszik, hogy az épületek életciklusa végén:*

- könnyen bonthatók legyenek;
- az épület elemei és az építési törmelék minél nagyobb mértékben újrahasznosítható legyenek;
- a bontási hulladék az újrahasznosíthatóságnak megfelelően osztályozható legyen (pl. betontörmelék újrahasznosítása alapozásoknál és kiegészítő betonszerkezeteknél);
- az épület nem újrahasznosítható elemei a természet körfolyamataiba visszaalakuljanak.

Az egészségvédelem további intézkedéseket követel meg. Ilyenek például a következők: Az épületek bontásánál mintavétel az azbeszt tartalmú és a bitumenes anyagok mértékéről és ennek megfelelő bontási terv készítése. Kerülni kell az olyan anyagok beépítését, melyek bomlás, mállás, sugárzás miatt a bontási folyamat során egészségkárosító hatást okozhatnak, illetve ha egyszer ilyen anyag került beépítésre, akkor a bontás során gondoskodni kell megfelelő egészségi védelemről.

### III. NÉMET ELŐÍRÁSOK AZ ÚTBETON BONTALÉK ÚJRAFELHASZNÁLÁSÁRA

Nemsokára 200 km hosszú lesz a Bécs - Salzburg közti osztrák A1 (jobb) autópályán a régi betonburkolat felszedésével, törésével, osztályozásával nyert másod-adalékanyag (MA) felhasználásával készült kétrétegű, teljesen felújított "másodbeton" (MB) burkolat. Az *osztrák* előírás (2, 1996. a mosott kéregbetonba *nem* engedi meg a (MA) használatát. Azóta megjelent a pályabeton bontalék másodfelhasználására vonatkozó *német* irányelv is. Ez nem korlátozza a másod-adalékanyag (MA) felhasználását kétrétegű pályabetonok alsó rétegeire, hanem a kopásnak, sózásnak, fagynak kitett beton, tehát a felső réteg (kéreg a kétrétegű burkolatban), illetve az egyrétegű burkolat is építhető (MA)-gal, ha teljesülnek bizonyos feltételek.

A tőlünk nyugatra lévő *német nyelvű* országok tapasztalatait a továbbiakban elemezzük (Ausztria, Svájc, Németország), *de ezen kívül Hollandia* bontott beton (és téglá) töretének felhasználását és a *gazdasági hátteret tanulságként áttekintjük* 1993-as adatok alapján, - annál is inkább, mert a holland adatok *nem* csak útpályabetonból bontott (és pályába beépítendő) másod-adalékanyagra vonatkoznak.

**Hollandiában** évente 45 millió tonna (főleg folyami eredetű) homok és kavics adalékanyagot használ föl az építőipar, a fogyasztás további növekedésére nem számítanak. Évente 14 millió tonna építési és bontási törmelék termelődik. Ez a szám a közeljövőben növekedni fog: a kormányzat *2000-re a törmelék 90%-ának másodnyersanyagként* való felhasználását tűzte ki célul.

Azt írják, hogy az építési és bontási hulladék újrafelhasználási aránya és mennyisége 2000-re így alakul: az összesen 16 millió tonnából kb. 14 millió tonna másodnyersanyag lesz. A jelenlegi holland törőkapacitás 9,3 millió tonna/év. A bontási hulladéknak kb. 80%-a falazati- és betontörmelék. 1991-ben betonból 1; vegyes törmelékből 2,6; falazati törmelékből 0,7; aszfaltból 0,8 és "egyéb" anyagból 1,7 millió tonna másodnyersanyagot gyártottak, illetve választottak szét: az "egyéb"-ben föld-, homok-, iszap-, gipsz-, műanyag- és fatörmelék, illetve hulladék szerepel, amelyet jelenleg nem használnak föl.

Hollandiában 55 telepített és 100-nál több mozgó törőüzem van: az utóbbiak főleg egyes építőmérnöki (mélyépítési) műtárgyaknál dolgoznak és elsősorban nem is törtbeton adalékot készítenek.

A környezetvédelem és e kavicsvagyonnal való észszerű gazdálkodás érdekében a deponálási költségeket megemelték: néhány éve még 8 (UK), - manapság Hollandia nyugati részén már 40-50 a törmeléklerakás tonnánkénti költsége (1 1993-ban kb. 130 Ft).

A másodnyersanyag alkalmazását így mintegy kikényszerítik, - egyúttal a természetes kavicsvagyonnak kitermelése (a tájat elcsúfító bányagödrök nyitásának, majd a felhagyás után tóvá alakításának száma) csökken. A kavicsstermelő Limburg tartományban pl. 1989-ben még évi 10 millió, 1992-ben már csak 5 millió tonna Maas-kavicsot termeltek ki, - 2010-re a felső határ már csak 2, 5 millió tonna/év lesz avégből, hogy a kormány az elfogadott "Berni Konvenció" feltételeit teljesíthesse.

A Hollandiában eddig megtermelt másod-adalékanyagot inkább feltöltésekbe és útalap betonként, tehát igénytelenebb módon használták föl, - a nemrégien elkészült szabályozás alapján szerkezeti, teherviselő betonok is készíthetők, - noha még további szabályozási munka szükséges. E tekintetben az osztrák "Richtlinie" - 1992. február, - részletesebb és sokoldalú szerkezeti célú felhasználást is lehetővé tesz: B225 - ez kb. C 16/20 - és afölötti osztályú betonok is készíthetők, - igaz, hogy mosás és külön vizsgálatok árán.

**Svájcban** a (MA) hangsúlyos felhasználását azzal indokolják, illetve arra törekednek, hogy

- a még meglévő, szűkös kavicsvagyon megkíméljék, mert a lakosság ellenállása miatt bányanyitás már nem lehetséges
- a felújítások, átépítések során keletkező bontalékot nem hulladékként, hanem másod-építőanyagként kell kezelni
- az anyag körforgását és többcélú (újra) felhasználását meg kell szervezni
- a másod-anyagokat ott (oda) kell újra felhasználni, ahol (ahonnan) keletkeztek, kibontották, - tehát nem (vagy minél kisebb részét) kell depóniába szállítani.

A svájci 1990/91-es betonút-kísérletek szerint (St. Gallen, N13-as út) akár 100 %-osan helyettesíthető az útbeton adalékanyaga (MA)-gal: 375 kg/m<sup>3</sup> cementtartalommal, légbuborékképzővel és folyósítószerrel, 90 sec. keverési idővel 39-46 N/mm<sup>2</sup> nyomószilárdságú 5,0 - 5,8 N/mm<sup>2</sup> hajlítószilárdságú (28 n); 6,2 - 5,7 térf. % légtartalmú, megfelelő fagyállóságú és sűrűdésű (ingás SRT érték: 77-74) készíthető. A 66 %-os (MA)-gal - kb. ez felel meg az osztrák A1 kétrétegű pályabeton alsó rétegének - alig-alig kedvezőbbek az eredmények (III. 1. táblázat). Az osztrák A1 első 60 km-es (1993-ig) felújított szakaszának eredményei az 1. táblázatban találhatóak a 21 cm-es alsó rétegre.

III. 1. táblázat: Az osztrák A1 pályabeton adatai 1993-ig (Sommer)

Adatfajta, [N/mm <sup>2</sup> ]	hajlítószilárdság	nyomószilárdság
Átlag	6,5	40,7
Szórás, s	0,41	3,39
5 %-os küszöb	5,9	35,1
Követelmény	5,5	35

A svájciak hangsúlyozzák, hogy

- *röpítőtörőkkel* lehet az óbetonból a legjobb (MA)-ot készíteni,
- a bontalékot *3-4 frakcióra kell osztályozni* (nedvesen, lásd Ausztria)
- a (MA) frakciókat felhasználásuk előtt *legalább 48 órán át nedvesíteni kell*, hogy a régi cementkő vízzel telítődjék
- a *cementtartalmat* növelni kell (Magyarországon az 1 főre jutó cementfelhasználás lényegesen kisebb, mint nyugati szomszédainké)
- kovaliszt (szilikapor) adagolása növeli a szilárdságot
- az óbeton kloridtartalma elhanyagolható vasalatlan másodbeton pályalemezbe való felhasználáskor
- nem kell mindenáron (sem teljesen, sem részben) a 0/4 mm-es frakciót *új* természetes vagy tört homokkal helyettesíteni, - e tekintetben tehát a svájciak és a németek 3 "merészebbek",
- Svájcban kisebb szilárdságú és cementtartalmú (7 napos korban 2-4 N/mm<sup>2</sup>) stabilizációs alsó réteget írnak elő, mint amilyen a német HGT.
- homokos kavics vízáteresztő, *kötőanyag nélküli* ágyazó rétegen fekvő betonpályalemezeken 18-22 évnyi használat után *lépcsősődést* észleltek: a felszerkezet jobb vízvezetése és a cementkötésű alsó rétegek a megoldás; szemben pl. 9 -nek a 45 cm-es kavics rétegével.

A fenti ajánlásokat a svájci cementgyárak kutatóintézete dolgozta ki és ezeket kb. 1978 óta alkalmazzák, de csak 1994-ben kerültek be az új svájci "Betonburkolatok" szabványba (SN 640 461 Betonbeläge). **Ausztriában** (MA) esetén + 15 kg/m<sup>3</sup> cementtöbbletet írnak elő. **Németországban** azt is hangsúlyozzák, hogy az óbeton saját szilárdsága nem mindent eldöntő szempont, mert más külföldi tapasztalatok szerint a másodbeton v/c tényezője a döntő. (III. 2. táblázat)

III. 2. táblázat: A régi beton (óbeton) nyomószilárdságának hatása a másodbeton nyomószilárdságára

Az új másodbeton v/c tényezője	Az új másodbeton nyomószilárdsága (N/mm <sup>2</sup> ), ha az óbeton szilárdsága illetve v/c tényezője az alábbi					
	N/mm <sup>2</sup>		v/c		N/mm <sup>2</sup>	
	28	0,73	38	0,60	43	0,51
0,75	24,5		27,0		25,0	
0,60	28,5		30,5		30,0	
0,50	38,0		39,5		41,0	

A (MA)-ból készített *alsó réteg* - így a németek - *zsugorodása, duzzadása eltér* a kéregbetonétól és így azt számításba kell venni. Csak a *tényleges törőműről* levett (MA)-gal érdemes laborkísérleteket végezni, - laboratóriumi gépek töreitei félrevezetők. Az óbeton fagyállóságát *nem a belőle készített* (MA) *halmazon* kell vizsgálni, hanem az óbeton pályalemezen: ha ez légbuborékos (LP) betonból készült és az óbeton - pálya fagy- és egyéb károsodás (duzzadási reakció, pl. alkáli-szilika reakció, stb.) nélküli, akkor felső rétegbe, illetve egyrétegű pályába is alkalmas lehet.

### Hazai tapasztalatok és lehetőségek

1993-ban a BME Építőanyagok Tanszéke a SWITELSKY - ÚT-VASÚT Kft. megrendelésére, az általa tört (MA)-ból útalapbeton minőségű keverékeket készített, - egyúttal áttekintették a holland és osztrák akkori szabályozást és gyakorlatot. A betont akkori váci 250 kspc 60 jelű

cementtel készítették. A tört adalékanyagnak eredetileg 10-15 % volt 63 mm fölötti (a kiszárított (MA)-ot finomabb szeműnek mértük, mint a beérkezési természetes nedvességtartalmút). Szemmegoszlás: 4 mm-ig A63 és B63 közti, afölött B63 és C63 közti. A kérdés az volt, hogy a fenti cementtel az útalapbeton minőségi osztályok valamelyikét el lehet-e érni 100 %-os törtbeton adalékanyaggal, *osztályozás nélkül*. A 150 - 200 - 250 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú és  $k_{CF} = 0,76 - 0,85$  azaz kissé képlékeny, KK konzisztenciájú betonokon kapott eredmények a III. 3. sz. táblázatban találhatók.

III. 3. sz. táblázat: BME / SWITELSKY ÚT-VASÚT Kft. kísérletek 100 %-os törtbeton adalékanyaggal

Cementtartalom (kg/m <sup>3</sup> )	Nyomószilárdság N/mm <sup>2</sup> (átlag)			
	7 napos	14 napos	28 napos	68 napos
150	4,4	5,8	5,0	8,9
200	5,9	8,0	9,4*	10,4
250	6,4	9,3	11,4**	13,9

- ez kb. C4-nek felel meg \*\* ez kb. C6-nak felel meg A 0/63 mm-es (a d 63 mm szemcséket eltávolítottuk) *nem útbetontól származó töret minden változtatás nélkül alkalmas volt* kb. C4, illetve C6 útalapbeton készítéséhez. (A közeli jövőben 250 kspc 60-hoz hasonló kis klinkertartalmú cementeket - 22,5-ös jellel - fognak forgalomba hozni a Betonolith K+F Kft. és a cementgyárak kísérletei alapján; megbízó: ÁKMI.)

#### **Az aszfalttartalom hatása a másodbeton tulajdonságaira**

Az osztrák A1 autópálya nagyrészt másodbetonnal való felújítása előtt megvizsgálták, hogy a régebben még engedélyezett szöges gumiabroncsokkal kimélyített nyomvályúba és felületkiegyenlítésre alkalmazott kb. 2 cm-es aszfaltréteget bent lehet-e hagyni a 22 cm-es óbeton burkolat törésével kapott (MA)-ban. Azonos 0/4 (új) homokfrakcióhoz egyrészt tiszta 4/32 dunakavicsot, másrészt olyan 4-32 *tört tiszta másodbeton* (MA) adalékanyagot használtak, amelyben (mesterségesen bekeverve) 4 %, 19 %, végül 33 % aszfalt volt. A: 33 %-os aszfalttartalom - a 4/32 (MA) betontöretben - ellenére is jobb a *hajlítószilárdság*, mint amennyi gömbölyűszemű dunakavicsal és a 35 N/mm<sup>2</sup> *nyomószilárdsági követelményt* 19-20 % aszfalttartalmú tört (MA) esetén is el lehet érni. Adva van tehát a lehetőség, hogy *a veszélyes hulladéknak számító aszfalt a betontöretben "cementbe ágyazva" hasznosuljon*. Ellenőrizték azt is, hogy a betonba kötött *aszfalt ki tud-e oldódni*, lúgozódni (eluát-kísérletek), illetve hogy mekkora a sózásból eredő *oldható klorid-ion tartalom*. Mindkét eredmény kedvező volt, *tehát a sózott, 20 tömeg % aszfaltot is tartalmazó régi útbeton bontalék törete* (az itt nem részletezett fagyállóság és rugalmassági modulus stb. szempontjából is) *tökéletesen megfelel az új másodbeton pályalemez alsó* (Ausztria), *illetve akár felső, egyetlen* (Svájc, Németország) *rétegének* 4 mm fölötti adalékanyagaként. A 4 mm alatti rész ilyen igényes másodbetonba, mint az útpályalemez *nem* alkalmazható.

#### **Hazai bontott útpályabeton**

1998. őszén az M3 autópálya 83 + 200 km-szelvényben 3 egymáshoz közeli szakaszon 8-8 m<sup>3</sup> régi betont bontottank ki (Megbízó: ÁKMI; technológia: Betonolith K+F Kft.; kivitelező: Betonútépítő Nemzetközi Építőipari Rt.; felügyelet: Állami Autópályakezelő Kht.), és 24 óra alatt megszilárduló és a teljes forgalomnak átadható 30-40 N/mm<sup>2</sup> 1 napos nyomószilárdságú gyorsbetonnal pótolták. A gyorsbeton próbaszakasz részben rosterősítés nélkül, légbuborékképzővel, részben PP-szállal (FORTA-Fibre, Ramsauer Fasertechnik) és légbuborékképző nélkül, részben acélszállal (HAREX, SKW-MBT Hungária Kft.) és

légpórusképzővel készült. A kb. 25 m<sup>3</sup>-nyi igen jó útbeton bontalék - egyelőre töretlenül - Polgárdi térségében depóniában várja az igényes kísérleti felhasználást. A közel 30 éves pályabeton nyomószilárdsága 50 - 77 N/mm<sup>2</sup> közti, fagyállóságát ellenőrizték, és az adatok a Betonolith K+F Kft.-nél rendelkezésre állnak: Véleményük szerint egyrétegű betonburkolathoz kell felhasználni a majdani törés/osztályozás utáni 4/32 mm-es (MA)-ot nagy terhelésű, nagyforgalmú autóbusz, kamion stb. műszaki állomáson, parkolóban, - fagyálló, sózható, kopásálló kivitelben. Erre a hazai próbaszakasz, illetve nagyminta kísérleti lehetőségekre felhívják a vállalkozó szellemű és a bontott építőanyagok újrafelhasználásában érdekelt hatóságok és vállalatok figyelmét.

Osztrák, svájci, német és holland tapasztalatokat (egy hazai, nem útbeton bontalékból tört 0/63 mm-es másod-adalékanyagossal alapbeton kísérleti adataival kiegészítve) értékelve, - elsősorban az (aszfalttal is szennyezett) bontott útpályabetonból készített másod-adalékanyagok (MA) ismét útbetonba való felhasználás szempontjából. Legközelebbi sikeres, gyakorlati példa az osztrák A1 autópálya teljes felújítása: a töretet a cementstabilizációba (0/4 mm-es frakció és a mosóvíz), illetve a kétrétegű burkolat alsó rétegébe (35 N/mm<sup>2</sup> volt a követelmény) építették be. Az újra betonburkolatba való felhasználás a korszerű hulladékgazdálkodási elveknek megfelel: "oda kell visszaépíteni, ahonnan származott". A betonpályák környezetében egyébként 80 %-kal kisebb az útfelületről leváló szennyezés, mint aszfaltpályákról, s így a régebbi, felújításra váró hazai betonburkolatokat másod-adalékanyagként új másodbetonba kell felhasználni: összességében ez a leggazdaságosabb megoldás.

*Kivonat az Allgemeines Rundschreiben Strassenbau 35/1998. szeptember 10. StB 26/38.56.00/30 Va 98-ból (Németország)*

Ebben a szabályozásban kikötik, hogy a „Kírónak nem szabad a pályázatában megadni előre a pályaszerkezet típusát, hanem bizonyos műszaki paramétereket kell csak megadni”. Az Ajánlattevő ajánlatában adja meg az általa választott pályaszerkezet típusát és rétegrendjét, figyelembe véve a helyi adottságokat. Az ajánlatok értékelésénél a bekerülési költségeken túlmenten *figyelembe kell venni a burkolat hosszú távú viselkedési tulajdonságait.*

Akár beton, akár aszfalt pályaszerkezet kerül kiválasztásra, a kivitelezőnek (kérésre) igazolnia kell szakmai alkalmasságát és jártasságát.

Alternatív ajánlatként 4500 jármű/nap átlagos forgalom felett a zúzalékos masztixaszfalt (Splittmastix) nem ajánlható meg, csak kivételes esetekben. Ekkor azonban a burkolattal szemben mind gyártástechnológiailag, mind építési szempontból szigorúbb követelményeket kell támasztani. 4500 jármű/napnál kisebb, de 1800 jármű/napnál nagyobb forgalmi terhelés esetén *megengedett* a zúzalékos masztixaszfalt alkalmazása, de a szigorúbb gyártástechnológiai és építési követelményeket itt is be kell tartani.

A siegeni és nienburgi főiskolán végzett zúzalékos masztixaszfalt burkolatok vizsgálata azt mutatta, hogy ez a burkolattípus is alkalmas 4500 jármű/nap feletti forgalmi igénybevételű utak kopórétegének. Ezt támasztják alá a tartományokban szerzett tapasztalatok is. Ezekre az eredményekre alapozva az új szabályozás nemcsak kivételes esetekben engedi meg zúzalékos masztixaszfalt alkalmazását a legnagyobb forgalmi terhelésű utakon, hanem mint egyik lehetséges alternatíva ajánlható meg. Alkalmazásának feltétele azonban továbbra is az, hogy kiterjedtebb alkalmassági vizsgálatokat kell végezni, amelyek magukba foglalják a keverékösszetételre, alakváltozásra, tömöríthetőségre és az alacsony hőmérsékleten történő viselkedésre vonatkozó vizsgálatokat.

## IV. BETONTÖRMELÉK ÉS TÉGLATÖRMELÉK ÚJRAHASZNOSÍTÁSA BETON-ADALÉKANYAGKÉNT

Az újrahasznosítható bontott anyagok egyike a beton- és vasbetonszerkezetek törmeléke, amelyből a betonacél eltávolítása után, töréssel és osztályozással beton-adalékanyagot lehet előállítani. A bontás során, számos helyen téglatörmelék keletkezik, amiből leginkább könnyűbeton készíthető [6].

A bontott anyag előkészítése újrahasznosításra kezdetben talán legelőnyösebben mobil berendezéssel és ott valósítható meg, ahol a bontást és építést egyazon vállalkozó végzi, mert ebben az esetben az újrahasznosított beton a bontás helyén az új építménybe be is építhető. Később várható, hogy a piacon megjelennek gyártók, akik kifejezetten újrahasznosított betont forgalmaznak, és ilyen termékekkel kereskednek. Ennek feltétele, hogy az újrahasznosított betonból készülő termék nem csak a minőséget, hanem az eladási árat tekintve is versenyképes legyen a hagyományos termékek piacán.

A bontott anyagok beton-adalékanyagként történő alkalmazásának az MSZ EN 206-1:2002 európai beton szabvány azáltal enged teret, hogy az adalékanyag fogalmát a 3.1.24. fejezetben így határozza meg: "Betonhoz alkalmazható, szemcsés ásványi anyag. Az adalékanyagok lehetnek természetesek, mesterségesek vagy korábbi szerkezetekből újra hasznosított anyagok."

A tanulmányban elkészítésében szerepet vállalók: ÉPÜLETFENNTARTÁSI K+F Alapítvány, az OKTATÁSI MINISZTERIUM Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsága, a KISS és TÁRSA Budafoki Építőipari és Szolgáltató Kft. és a CEMKUT Cementipari Kutató-Fejlesztő Kft. Betonlaboratóriuma.

### Kísérleti betontörmelék adalékanyagú betonelemek tervezése

A kísérleti gyártmánytervezéshez meg kellett határozni a betonelemek előállításához szükséges beton nyomószilárdsági osztályokat és a 28 napos próbakockák nyomószilárdságának megkövetelt átlagértékeit, amelyek a számítások szerint a következők[6]:

#### IV. 1 táblázat

Betonelem	Beton minőségi jel az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint	Végig víz alatt tárolt, 150 mm méretű, 28 napos beton próbakockák megkövetelt átlagos nyomószilárdsága, ( $f_{cm,cube,28}$ ), N/mm <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kétrétegű, mosott felületű járdalap hátbetonja</li> <li>• Zsaluzóelem</li> <li>• Üreges főfal-falazóelem</li> </ul> Nyomószilárdság legalább 2,5 N/mm <sup>2</sup>	C 12/15-16/S1	20,4
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üreges pince-falazóelem</li> <li>• Üreges földémbéléstest</li> </ul> Nyomószilárdság legalább 4,5 N/mm <sup>2</sup> Hajlító-törőerő legalább 5 kN	C 16/20-8/S1	26,3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normál kivitelű járdalap</li> </ul> Hajlító-húzószilárdság legalább 2 N/mm <sup>2</sup>	C 16/20-16/S1	26,3



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normál kivitelű útszegélyelem</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Egyrétegű, mosott felületű járdalap</li> </ul> Hajlító-húzószilárdság legalább 2 N/mm <sup>2</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gyephézagos járdalap</li> </ul> Hajlító-húzószilárdság legalább 2 N/mm <sup>2</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mederlap</li> </ul> Hajlító-húzószilárdság legalább 2 N/mm <sup>2</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>• “K” szegélykő</li> <li>• Hálósvasalású surrantóelem</li> </ul>	C 20/25-16/S1	31,6
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kétrétegű útburkolóelem hátbetonja</li> </ul>	C 25/30-16/S1	36,8
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kétrétegű, mosott felületű járdalap kopórétege</li> </ul>	C 25/30-24/S1	36,8
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fokozottan kopásálló és időálló útszegélyelem</li> </ul>	C 30/37-24/S1	44,2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Egyrétegű útburkolóelem</li> <li>• Kétrétegű útburkolóelem kopórétege</li> </ul>	C 35/45-24/S1	52,6

### A betontörmelék közzefizikai tulajdonságai

A bontásból származó törmelékek önszilárdsága közel sem akkora és nem is olyan egyenletes, mint a hazai homokok és kavicsok önszilárdsága, és olyan változatosságot mutat, mint amilyen változatos a zúzottkövek szilárdsága, vagy akár a kőanyagok szilárdsága, amelyek egy adott bányán belül is eltérhetnek egymástól. Ez az eltérés a közzefizikai tulajdonságokkal írható le.

Magyarországon a zúzottköveket anyagtani tulajdonságaik alapján közzefizikai csoportokba soroljuk (MSZ 18291:1978 illetve ÚT 2-3.601:1998). A következő táblázatban az elterjedten alkalmazott ÚT 2-3.601:1998 útügyi műszaki előírás követelményeit mutatjuk be:

#### IV. 2 táblázat

Szem-nagyság	Közzefizikai tulajdonságok	Közzefizikai csoport			
		“AA”	“BB”	“CC”	“DD”
		Követelményértékek tömegszázalékban			
		-ig	felett -ig	felett -ig	felett -ig
3 - 80	Los Angeles aprózódás	20	20 - 25	25 - 35	35 - 45
12 - 55	Deval aprózódás, vizes eljárás				
	20-55 mm	8,5	8,5 - 11,2	11,2 - 15,9	15,9 - 30,3
	12-20 mm	5,7	5,7 - 7,7	7,7 - 11,0	11,0 - 23,7
3 - 12	Mikro-Deval aprózódás, vizes eljárás	15	15 - 20	20 - 25	25 - 30
2 - 80	Szulfátos kristályosítási aprózódás, MgSO <sub>4</sub> oldatban	10	10 - 15	15 - 20	20 - 30

Az alábbi vizsgálati eredmények szerint a betontörmelék minősége csak a "CC" - "DD" közetfizikai csoportot éri el:

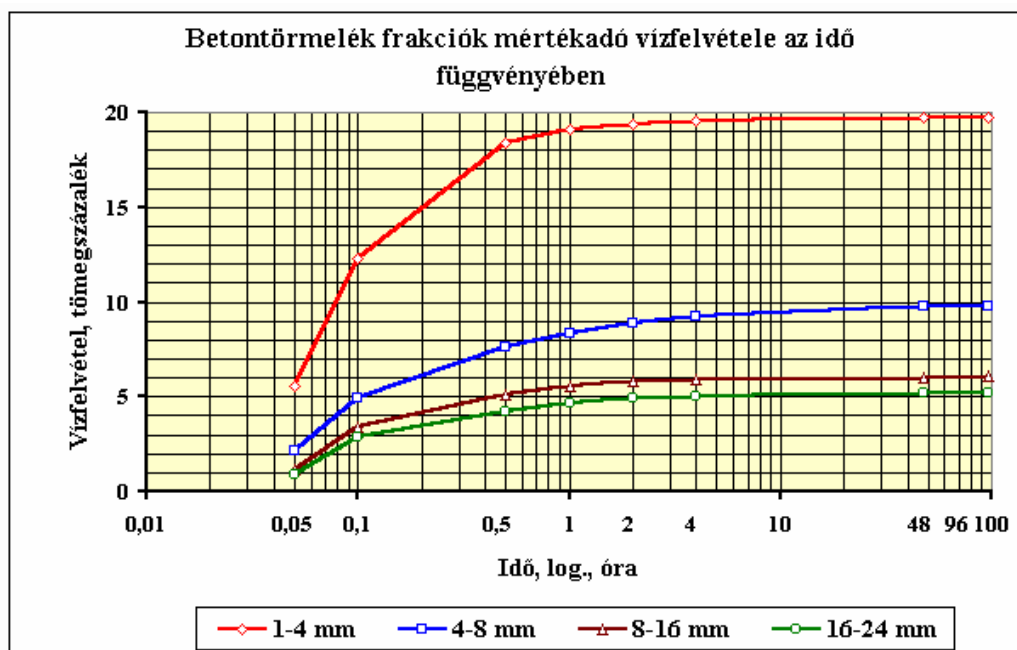
IV. 3 táblázat

Betontörmelék közetfizikai tulajdonságai	Vizsgálati eredmény, tömeg%	Betontörmelék minősítése zúzottkóként	
		MSZ 18291	ÚT 2-3.601
		szerint	
Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>	1980 - 2270	Kis testsűrűségű anyag	
Halmazsűrűség, kg/m <sup>3</sup>	1090 – 1370	Kis halmazsűrűségű anyag	
Hézagterfogat, térfogat%	36,9 – 51,4	Közepes hézagterfogatú anyag	
Mértékadó vízfelvétel, tömeg%			
0,05 órás vízfelvétel	0,9 – 5,6	Nagy vízfelvételelű anyag	
1 órás vízfelvétel	4,6 – 19,1		
96 órás vízfelvétel	5,2 – 19,8		
0-4 mm törmelék 0,02 mm alatti finomszem tartalma, térfogat%	11,4	MSZ 18293 szerint "S"	"UZ"
Szemalak, lemezes szemek mennyisége, tömeg%			
4-8 mm törmelék	31,7	"NZ"	"UTZ"
8-16 mm törmelék	16,4	"KZ"	"UTZK"
16-24 mm törmelék	13,9	"KZ"	"UTZK"
4 mm alatti törmelék szemalakja, tölcséres kifolyási szám, s/dm <sup>3</sup>			
1-2 mm törmelék	13,93	Nincs követelmény	Nincs követelmény
2-4 mm törmelék	19,10		
Los-Angeles aprózódás,			
5-8 mm	33,0 - 35,9	"C" - "D"	"CC" - "DD"
8-12 mm	34,0 - 37,2	"C" - "D"	"CC" - "DD"
12-20 mm	34,5 - 40,2	"C" - "D"	"CC" - "DD"
20-35 mm szemmagyság esetén	33,6 - 34,1	"C"	"CC"
Deval aprózódás, 20-32 mm szemmagyság esetén,			
száraz vizsgálat	11,1	"D"	Nincs követelmény
vizes vizsgálat	19,1	"D"	"DD"
Mikro-Deval aprózódás, száraz vizsgálat,			
4-8 mm	7,8 - 19,0	Nincs követelmény	Nincs követelmény
8-16 mm szemmagyság esetén	17,0		
Mikro-Deval aprózódás, vizes vizsgálat,			

4-8 mm 8-16 mm szemmagyság esetén	12,4 - 34,9 19,6	Nincs követelmény	“AA” - XX “BB”
Szulfátos kristályosítási aprózódás 4-8 mm szemmagyság esetén			
Nátrium-szulfát oldatban	14,0	“B”	Nincs követelmény
Magnézium-szulfát oldatban	29,0	“C”	“DD”
Tervezhető mértékadó közetfizikai csoport		“D”	“DD”
Tervezhető mértékadó termékosztály		“NZ”*	“UTZK”**

A betontörmelék vízfelvétele is eltér a homokos kavicsétól, annál nagyobb:

#### IV. 1 ábra



#### A betontörmelék adalékanyagú beton tervezése

Az újrahasznosított beton összetételét tehát annak figyelembevételével kell megtervezni, hogy a betontörmelék önszilárdsága, szemalakja, felületi érdessége, vízfelvétele eltér a homokos kavics hasonló tulajdonságaitól és inkább a zúzottkő tulajdonságaihoz hasonlít.

Tapasztalatunk szerint a “DD” közetfizikai csoportú adalékanyaggal készített beton nyomószilárdsági osztálya egy fokozattal gyengébb, mint az “AA” közetfizikai csoportú adalékanyaggal készített betoné. Ezért kell az újrahasznosított betont a betontörmelék közetfizikai csoportja függvényében nagyobb nyomószilárdságúra tervezni, mint amennyi a kavicsbeton, illetve az azzal egyenértékűnek tekintett “AA” közetfizikai csoportú zúzottkő adalékanyaggal készített beton számított átlagos nyomószilárdsági követelménye.

Ez azt jelenti, hogy a betontörmelék adalékanyagú beton nyomószilárdságának tervezési értékét úgy lehet megkapni, hogy a beton nyomószilárdsági osztályából számított átlagos nyomószilárdságot a  $\zeta$  szorzóval meg kell szorozni:

$$f_{\text{cm, cube, 28, Recyclingbeton}} = \zeta^* f_{\text{cm, cube, 28}}$$

A  $\zeta$  szorzó a beton-nyomószilárdsági osztály és a betontörmelék mértékadó közetfizikai csoportja függvényét képezi.

A  $\zeta$  szorzó függvényét az  $f_{ck,cube}$  küszöbérték függvényében a “D” illetve “DD” közetfizikai csoport esetére írtuk fel:

$$\zeta_{D, DD} = 1,7343 - 0,1477 * \ln(f_{ck,cube})$$

Magyarázat: A  $\zeta$  regressziós függvény elfogadható közelítéssel az egymást követő nyomószilárdsági osztályok  $f_{ck,cube}$  minősítési értékei hányadosaira (például:  $45/37=1,22$ ;  $37/30=1,23$ ;  $30/25=1,20$ ;  $25/20=1,25$ ;  $20/15=1,33$ ) illeszkedik, tehát “D” vagy “DD” közetfizikai csoportú zúzottkő adalékanyag esetén a ténylegesnél eggyel nagyobb nyomószilárdsági osztályra tervezünk.

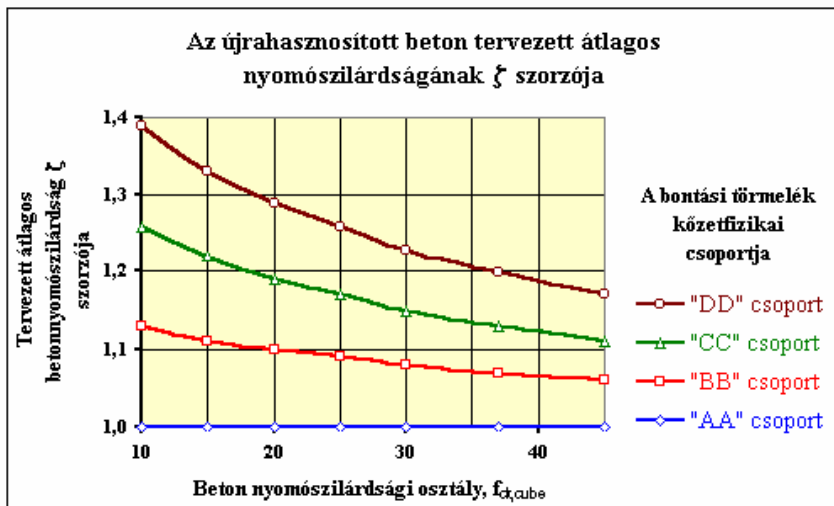
A többi közetfizikai csoporthoz tartozó  $\zeta$  szorzó értékét az “A” illetve “AA” és a “D” illetve “DD” közetfizikai csoportok  $\zeta$  értékei közé való lineáris interpolálással határozták meg:

#### IV. 4 táblázat

Beton nyomó- szilárdsági osztály az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint $f_{ck,cyl/cube}$	A $\zeta$ szorzó, ha a betontörmelék mértékadó közetfizikai csoportja			
	“A” ill. “AA”	“B” ill. “BB”	“C” ill. “CC”	“D” ill. “DD”
C 12/15	1,00	1,11	1,22	1,33
C 16/20	1,00	1,10	1,19	1,29
C 20/25	1,00	1,09	1,17	1,26
C 25/30	1,00	1,08	1,15	1,23
C 30/37	1,00	1,07	1,13	1,20
C 35/45	1,00	1,06	1,11	1,17

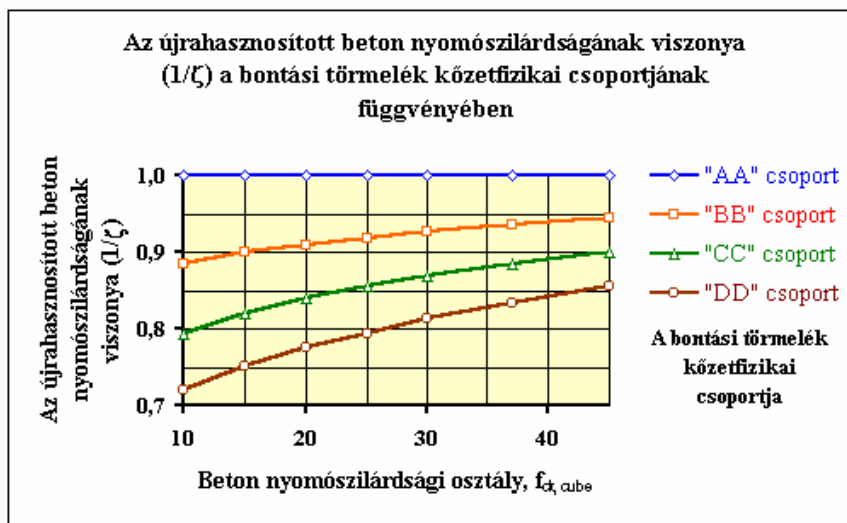
Például, ha a C 16/20 nyomószilárdsági osztályú beton betontörmelék adalékanyaga “B” illetve “BB” közetfizikai csoportú, akkor ahhoz, hogy a beton próbatestek elérjék az  $f_{cm,cube} = R_{m150,nom} = 26,3 \text{ N/mm}^2$  nyomószilárdsági átlag értéket, a betont  $R_{m150,nom}' = \zeta * R_{m150,nom} = 1,10 * 26,3 = 28,9 \text{ N/mm}^2$  átlagos nyomószilárdságra kell tervezni.

IV. 2 ábra



Azt is mondhatjuk, hogy az újrahasznosított beton nyomószilárdsága a betontörmelék adalékanyag közetfizikai csoportjának függvénye, aminek mértékét az  $1/\xi$  viszonzyszám fejezi ki:

IV. 3 ábra



Az újrahasznosított beton összetételét a zúzottkőbeton tervezésére érvényes Bolomey-Palotás-féle képletek felhasználásával határozzuk meg. A betontörmelék adalékanyagú beton víz-cementtényezőjét ( $x$ ) a nyomószilárdság tervezési értékéből ( $f_{cm, cube, 28, Recyclingbeton}$ ) és a cementminőségből számítjuk ki a próbakocka méret-tényezőjének ( $\gamma = 0,94$ ) figyelembevételével. Majd a víz-cementtényező ( $x$ ), a konzisztencia, betontörmelék adalékanyag legnagyobb szemnagysága ( $d_{max}$ ) és szemeloszlásának finomsági modulusa ( $m$ ), valamint a környezeti feltételek függvényében meghatározzuk a cementtartalmat ( $c$ ):

$$x = f(f_{cm, cube, 28, Recyclingbeton}, CEM, \gamma)$$

$$c = f(x, konzisztencia, d_{max}, m, környezeti feltételek)$$

A vízadagolást, tekintettel a betontörmelék jelentős vízfelvételére, meg kell növelni a rövididejű (például 0,05 vagy 0,10 órás) vízfelszívás értékével. Ez a vízfelszívás akár 35-60 kg/betonköbméter értéket is kitehet, miáltal a vízadagolás az eredetinek 20-35 %-ával megnő. A kisebb cementtartalmú újrahasznosított betonok esetén előfordulhat, hogy a beton finomrész hiányos. A hiányzó finom szemeket 0/1 mm szemnagyságú, gömbölyű szemalakú bányahomokkal kell pótolni, ami további vízkorrekciót vonhat maga után.

A betontörmelék vízfelszívása, szemalakja, érdessége, az esetleges többlethomok adagolás megnehezítheti az újrahasznosított beton bedolgozását. Ilyenkor a bedolgozhatóság javítására célszerű folyósító adalékszer használni, és/vagy például a 4 mm alatti betontörmelék szemek mennyiségének felét, esetleg kétharmadát gömbölyű szemalakú bányahomokra cserélni. Ezeknek a megfontolásoknak az alapján megterveztük az újrahasznosított betonból készülő kísérleti betonelemek betonösszetételét. Az újrahasznosított betonok konzisztenciáját, testsűrűségét, nyomószilárdságát laboratóriumi vizsgálatokkal ellenőrizzük.

### **Betonelemek gyártása betontörmelék adalékanyagú betonnal**

A kísérleti, 100%-ban újrahasznosított betontörmelék adalékanyaggal készített betonelemeket egy egyébként szokványos kavicsbetonokkal dolgozó, ELBA EMM 10/15 típusú keverőgéppel, megfelelő sablonokkal, asztalvibrátorral és kézi vibopréssel rendelkező, szabadtéri betontelegen kézi módszerrel gyártottuk le. A betonelemeket 3 napon keresztül gyenge vízszugárral utókezeltük.

A betonelemgyártás sikeres volt, a kísérleti termékek állékonysága, testsűrűsége, szilárdsága, tartóssága minden követelménynek megfelelt. A gyakorlat az elméleti betontervezési elképzelések helyességét igazolta.

Fel kell azonban a figyelmet hívni arra, hogy bár a kísérleti betonelem gyártás sikeres volt, a betonösszetétel javítására, a finomrész tartalom beállítására, a cementadagolás esetleges csökkentésének lehetőségére, a betonstruktúra termék-specifikus kialakítására a bedolgozhatóságot és az állékonyságot is tekintetbe véve, még további kísérleteket kell végezni.

### **Tapasztalat téglatörmelék adalékanyagú betonnal**

A téglatörmelék tulajdonságai a betontörmelékétől több vonatkozásban is különböznek. A téglatörmelék jelentős mennyiségű vakoló és falazó habarcsot tartalmaz, azaz vegyes összetételű, ami hozzájárul ahhoz, hogy a téglatörmelék testsűrűsége és halmazsűrűsége a betontörmelékénél kisebb, több finomszemet tartalmaz, szemalakja lemezesebb, vízfelvétele igen nagy, önszilárdsága csekély, és ezért közetfizikai csoportba nem sorolható.

IV. 5 táblázat

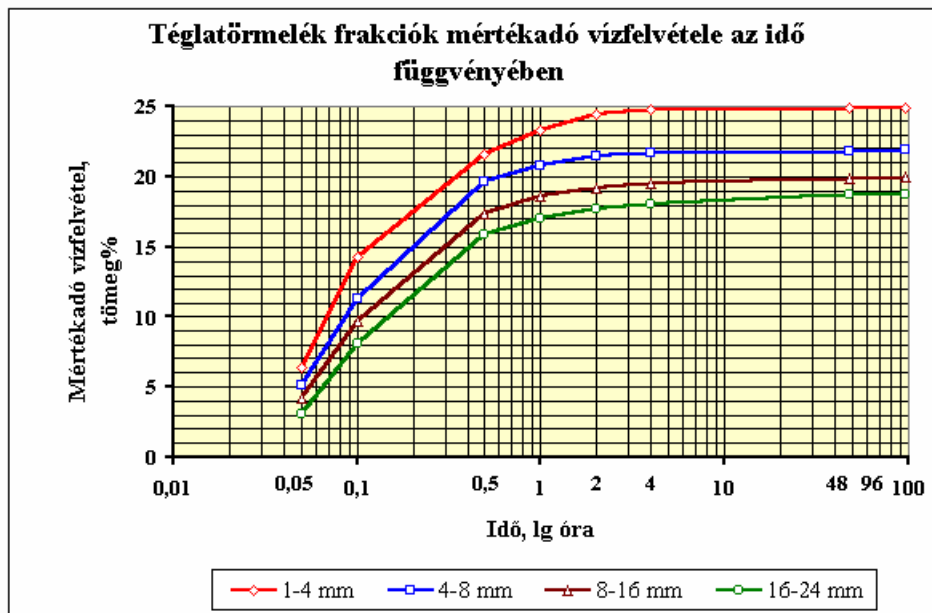
Minőségi jellemző	Mért érték	Téglatörmelék minősítése	
		MSZ 18291	ÚT 2-3.601
		szerint	
<b>Téglatörmelék</b>			
Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>	1950 - 2150	Kis testsűrűségű anyag	
Halmazsűrűség, kg/m <sup>3</sup>	980 – 1250	Kis halmazsűrűségű anyag	
Hézagterfogat, térfogat%	38,3 – 54,1	Közepes hézagterfogatú anyag	
Mértékadó vízfelvétel, tömeg%			
0,05 órás vízfelvétel	3,1 – 6,4	Igen nagy vízfelvételű anyag	
1 órás vízfelvétel	17,0 – 23,4		
96 órás vízfelvétel	18,7 – 25,0		
0-4 mm törmelék 0,02 mm alatti finomszem tartalma, térfogat%	13,1	MSZ 18293 szerint "S"	"UZ"
Szemalak, lemezes szemek mennyisége, tömeg%			
4-8 mm törmelék	62,8	"Z"	"UZ"
8-16 mm törmelék	53,5	"NZ"	"UTZ"
16-24 mm törmelék	48,7	"NZ"	"UTZ"
4 mm alatti törmelék szemalakja, tölcéses kifolyási szám, s/dm <sup>3</sup>			
1-2 mm törmelék	17,06	Nincs követelmény	Nincs követelmény
2-4 mm törmelék	29,89		
4-8 mm törmelék mikro-Deval aprózódása, tömeg%	száraz: 22,85 vizes: 67,40	Kőzetfizikai csoportba nem sorolható	
Hummel aprózódás, szétmorzsolódási tényező		Nincs követelmény, az ajánlott érték:	
5-8 mm törmelék	1,44	≤ 1,0	
16-32 mm törmelék	2,55	≤ 1,4	
20-32 mm törmelék Deval aprózódása, tömeg%	száraz: 19,42 vizes: 31,81	Kőzetfizikai csoportba nem sorolható	
4-8 mm törmelék kristályosítási aprózódása, tömeg%			
Nátrium-szulfát-oldatban	19,63	"C"	Nincs követelmény
Magnézium-szulfát-oldatban	37,91	"D"	Kőzetfizikai csoportba nem sorolható
Tervezhető mértékadó kőzetfizikai csoport		Kőzetfizikai csoportba nem sorolható	Kőzetfizikai csoportba nem sorolható
Tervezhető mértékadó termékosztály		"Z"*	"UTZ"**

Megjegyzés:

\* "Z": Zúzottkő

\*\* "UTZ": Egyedileg tervezett szemmegoszlású zúzottkő

IV. 4 ábra



A téglatörmelék nem sorolható közt fizikai csoportba, ezért a téglatörmelék adalékanyagú könnyűbeton nyomószilárdságának tervezési értékét úgy lehet megkapni, hogy a könnyűbeton nyomószilárdsági osztályából számított átlagos nyomószilárdságot az  $\eta$  szorzóval meg kell szorozni:

$$f_{cm, cube, 28, Recyclingbeton} = \eta * f_{cm, cube, 28}$$

Az  $\eta$  szorzó javaslatunk szerint a könnyűbeton nyomószilárdsági osztályának függvényét képezi:

IV. 6 táblázat

Könnnyűbeton nyomószilárdsági osztály az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint $f_{ck, cyl/cube}$	Az $\eta$ szorzó értéke
LC 8/9	1,52
LC 12/13	1,44
LC 16/18	1,39

A téglatörmelék adalékanyaggal készített könnyűbetonból a következő könnyűbeton-elemeket lehet gyártani:



IV. 7 táblázat

Könnyűbeton-elem	Könnyűbeton minőségi jel az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint	Végig víz alatt tárolt, 150 mm méretű, 28 napos könnyűbeton próbakockák megkövetelt átlagos nyomószilárdsága, ( $f_{cm,cube,28}$ ), N/mm <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kézi, tömör falazóelem</li> </ul> Nyomószilárdság legalább 2 N/mm <sup>2</sup>	LC 8/9-8/FN D 1,8 * LC 8/9-24/FN D 2,0 **	13,5
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üreges főfal-falazóelem</li> <li>• Hőszigetelő falazóelem</li> <li>• Zsaluzóelem</li> </ul> Nyomószilárdság legalább 2,5 N/mm <sup>2</sup>	LC 12/13-8/FN D 2,0	18,8
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üreges pince-falazóelem</li> </ul> Nyomószilárdság legalább 4,5 N/mm <sup>2</sup>	LC 16/18-8/FN D 2,0	24,1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üreges válaszfallap</li> </ul> Hajlító-törőerő legalább 4,5 kN	LC 12/13-8/FN D 2,0	18,8
Egyedi méretezés alapján:	LC 8/9-24/FN D 2,0	13,5
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nagyobb falvastagságú könnyűbetonelemek</li> </ul>	LC 12/13-24/FN D 2,0	18,8
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monolit könnyűbetonok</li> </ul>	LC 16/18-24/FN D 2,0	24,1

Megjegyzés:

1. A próbakockák nyomószilárdságának megkövetelt átlagértékeit C 8/10 nyomószilárdsági osztály esetén 2,50 N/mm<sup>2</sup> értékű, C 12/15 nyomószilárdsági osztály esetén 2,75 N/mm<sup>2</sup> értékű, C 16/18 nyomószilárdsági osztály esetén 3,00 N/mm<sup>2</sup> értékű szórással számítottak.

2. A végig vízben tárolt (MSZ EN 206-1:2002) próbatestek 28 napos nyomószilárdsága 0,92-szorosa a vegyesen tárolt (MSZ 4719:1982) próbatestek nyomószilárdságának.

\* D 1,8: A könnyűbeton testsűrűsége megszilárdult és kiszáritott állapotban 1600 - 1800 kg/m<sup>3</sup>.

\*\* D 12,0: A könnyűbeton testsűrűsége megszilárdult és kiszáritott állapotban 1800 - 2000 kg/m<sup>3</sup>.

### Betontervezés

A betontervezés módszere szabadon megválasztható, de eredményét laboratóriumi kísérlettel ellenőrizni kell. Célszerű a zúzottkövekre kidolgozott tervezési módszert alkalmazni.

Az építmények bontásból származó tört, osztályozott adalékanyag - főképpen a betontörmelék, - önszilárdságának változatossága, szemalakja, felületi érdessége, vízfelvétele folytán sokkal jobban hasonlít a zúzottkőhöz, mint a kavicsához, illetve homokos kavicsához. Minthogy kifejezetten az újrahasznosított adalékanyaggal készülő betonok tervezésére kidolgozott nemzeti vagy európai szabvány, vagy műszaki irányelv nincs, és erre vonatkozó módszer sem ismeretes, ezért a betontörmelék adalékanyagú betonok tervezését lényegében a Bolomey-Palotás-féle betontervezési képletek alkalmazásával, a zúzottkőbetonok tervezési módszere szerint ajánlott elvégezni. Újrahasznosított téglatörmelék esetén könnyűbeton tervezési módszerek is alkalmazhatók.

A betonelem típusok gyártásához szükséges beton (vagy könnyűbeton) összetételét úgy kell megtervezni, hogy a beton minősége és a 150 mm méretű, a kizsaluzástól a szilárdság

vizsgálatig végig vízben tárolt próbakockán, 28 napos korban mért átlagos nyomószilárdsága ( $f_{cm,cube,28}$ ) a betonelem típustól függően a IV. 1. és a IV. 7. táblázata szerinti értékeket elérje. Ha az adalékanyag olyan betontörmelék, amely nem az "A" (MSZ 18291:1978) illetve az "AA" (ÚT 2-3.601:1998) közetfizikai csoportba tartozik, akkor a betontörmelék közetfizikai csoportja szerint a betont nagyobb nyomószilárdságúra kell tervezni, mint amennyi a IV. 1. táblázat szerinti számított, átlagos nyomószilárdsági követelmény.

A betontörmelék adalékanyagú beton nyomószilárdságának tervezési értékét úgy kapjuk meg, hogy a beton nyomószilárdsági osztályából számított átlagos nyomószilárdságot a betontörmelék mértékadó közetfizikai csoportja függvényét képező z szorzóval (4. táblázat) megszorozzuk.

A következő táblázat ajánlást ad a betontörmelék adalékanyagként való alkalmazására:

A beton nyomószilárdsági osztálya víz alatti tárolás esetén az MSZ EN 206-1:2002 szerint $f_{ck,cyl/cube}$	Ajánlás a betontörmelék adalékanyagkénti alkalmazására az MSZ 18291:1978 és az ÚT 2-3.601:1998 szerinti mértékadó közetfizikai csoportja függvényében			
	"A" ill. "AA"	"B" ill. "BB"	"C" ill. "CC"	"D" ill. "DD"
C 12/15	•	•	•	••
C 16/20	•	•	•	••
C 20/25	•	•	••	••
C 25/30	•	•	••	••
C 30/37	•	••	••	x
C 35/45	•	••	••	x

Jelmagyarázat:

- Korlátozás nélkül alkalmazható.
- Alkalmazása akkor ajánlott, ha a bontott törmelék részaránya az adalékanyagban  $\leq 30$  tömeg%.
- x Alkalmazása nem ajánlott.

Az ajánlástól beton kísérleti eredmények alapján el lehet térni, ha a beton magasabb minőségi osztályúnak bizonyul, mint a tervezett minőségi osztály.

A téglatörmelék adalékanyagú könnyűbeton nyomószilárdságának tervezési értékét úgy kapjuk meg, hogy a beton nyomószilárdsági osztályából számított átlagos nyomószilárdságot a h szorzóval (IV. 6. táblázat) megszorozzuk.

A bontott építési törmelék mértékadó rövid idejű (például 5 vagy 10 perces, a bedolgozásig szükséges idő figyelembevételével) vízfelvétele jelentősen meghaladja a kavicsok és zúzottkövek vízfelvételét, amit a tervezés során a vízadagolás meghatározásánál figyelembe kell venni. A vízadagolás a víz-cementtényező és a cementtartalom szorzatából adódó érték (alap keverővíz =  $m_{vz,1}$ ) és a mértékadó rövid idejű vízfelvételtől számított érték (többszörös keverővíz =  $m_{vz,2}$ ) összege.

## V. ALAPANYAGOK TULAJDONSÁGAI

### Cement

A termékek gyártásához csak az MSZ EN 197-1:2000 harmonizált európai szabványnak megfelelő CEM I 42,5 jelű portlandcementet vagy CEM II/A 32,5 jelű összetett portlandcementet szabad használni.

### **Bontott adalékanyag**

Az adalékanyagul olyan bontási anyagot kell használni, amelyből az idegen anyagokat (például betonacélt) eltávolították. Az építőanyag-nemenként elkülönített bontási anyagot megfelelő szemnagyságra kell törni, és frakciókra kell osztályozni.

A bontott építési törmelék fizikai, mechanikai és kémiai tulajdonságait meg kell vizsgálni, és adalékanyagként akkor alkalmazható, ha minősége megfelel a követelményeknek. A bontott törmelék tulajdonságai elsősorban a zúzottkőéhez hasonlítanak.

Ha a bontott anyag minősége betonkészítés céljára nem megfelelő, akkor természetes adalékanyaggal szabad javítani, és a javított adalékanyag keverék tulajdonságait kell megvizsgálni. A vizsgálati jegyzőkönyvben, ha lehetséges, fel kell tüntetni a bontott anyag származását és bontás előtti minőségét, valamint az esetleges javító adalékanyag jellemzőit és a keverési arányt.

A bontott törmelék közetfizikai csoportba sorolását célszerű szerkezeti betonelem (például zsaluzóelem, pincefalazó elem, földémbéléstest, stb.) adalékanyag esetén az MSZ 18291:1978 szabvány szerint, forgalom hatásának kitett betonelem (például járdalap, útszegélyelem, stb.) adalékanyag esetén az ÚT 2-3.601:1998 útügyi műszaki előírás szerint végezni.

A téglatörmelék a könnyűbeton-adalékanyagok vizsgálati módszereinek eredményeivel is jellemezni kell.

Felhasználás előtt meg kell határozni az adalékanyag rövid idejű mértékadó vízfelvételét.

Az osztályozott, bontási adalékanyagot frakciónként és mérlegelve kell a betonkeverőgépbe juttatni.

### **Természetes adalékanyag**

A bontott adalékanyag tulajdonságainak javítására lehet természetes adalékanyagot használni. A természetes adalékanyag homok, homokos kavics, kavics esetén feleljen meg az MSZ 18293:1979 szabványnak, zúzottkő esetén az MSZ 18291:1978 szabványnak vagy az ÚT 2-3.601:1998 útügyi műszaki előírásnak.

### **Keverővíz**

A termékek készítéséhez olyan víz használható fel, amelynek minősége a betongyártáshoz általában használt víz minőségétől nem tér el. A víz minőségére vonatkozó követelményeket a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 3.3. fejezete tárgyalja.

A beton keverővizét két részből összetettként (alap és többlet keverővíz) kell kiszámítani. A beton-keverőgépbe adagolandó keverővíz az alap és a többlet keverővíz összege. A többlet keverővíz mennyiségét gyártási műszakonként és a műszakon belül a mértékadó víztartalom változása esetén kell meghatározni.

### **Adalékszer**

Az adalékszer (például képlékenyítőszer, légbuborékképzőszer, stb.) akkor használható, ha annak minőségét az adalékszer forgalmazója tanúsítja és a termékhez használati utasítást mellékel. A beton adalékszerekre vonatkozó minőségi követelmények a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 3.4. fejezetében találhatók.

Az adalékszert erős felmelegedéstől, fagytól óvva kell tárolni.

## **VI. BETONOK ÉS BETONTERMÉKEK TULAJDONSÁGAI**

### **Betonösszetétel**

A beton összetételét a termék jellemzőinek és az alapanyagok minőségének, különösen a bontott adalékanyag tulajdonságainak megfelelően kell megtervezni.

A megtervezett betonösszetételt termelésbevitel előtt laboratóriumi vizsgálattal ellenőrizni, és szükség esetén módosítani kell. A gyártásra jóváhagyott betonösszetétel keverővizét az

adalékanyag víztartalmi állapotának megfelelően műszakonként, a műszak kezdete előtt, és szükség esetén műszak közben is meg kell határozni.

### **Friss beton**

A friss beton konzisztenciáját az MSZ 4714-3:1986 (MSZ EN 12350-2:2000) szerint roskadás méréssel, az idő függvényében kell vizsgálni.

A konzisztencia mérést a beton megkeverésétől számított 5 perc múlva, és 45 perc múlva, illetve a beton bedolgozása előtt 10 perccel meg kell elvégezni. A beton jelében szereplő konzisztencia mérték a bedolgozáskori konzisztenciára vonatkozik.

A betont akkor szabad bedolgozni, ha a konzisztenciája megfelel a tervezett konzisztenciának, a kellő tömörítést lehetővé teszi, és a friss termék állékonyságát nem veszélyezteti. A meg nem felelő konzisztenciájú betonkeverék összetételét cement, adalékanyag, vagy víz hozzákeverésével javítani, új keverék készítéséhez felhasználni nem szabad, hanem újra kell keverni. Az új keveréket a konzisztencia mérésnél tapasztaltak alapján, ha a meg nem felelő betonkeverék képlékeny volt, akkor a vízadagolás csökkentésével, vagy ha száraz volt, akkor lehetőleg többlet víz hozzáadása nélkül, képlékenyítőszerrel kell beállítani. Képlékenyítőszer használata egyébként is ajánlott.

Az előregyártott betonelemek készítéséhez általában földnedves vagy kissé képlékeny konzisztenciájú betont kell készíteni.

A friss beton légpórustartalmának meghatározása hasznos lehet, légbuborékképző adalékszer használata esetén pedig szükséges.

### **Beton próbatest**

A megkevert friss betonból heti gyakorisággal, beton-összetélenként legalább három darab, nem egy keverésből vett, MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti  $\Phi 150 \times 150$  mm méretű próbahengert vagy 150 mm méretű próbakockát kell készíteni a beton minőségének vizsgálatára. A beton próbatestet 1 napos koráig sablonban, nedves környezetben kell tartani, majd 1 napos korban ki kell zsaluzni, és a szilárdság vizsgálat időpontjáig végig víz alatt kell tárolni.

Vizsgálendő a beton próbatest testsűrűsége friss állapotban és 28 napos korban, valamint a nyomószilárdság 28 napos korban, és ha szükséges 7 napos korban.

### **Friss betontermék**

A friss betonterméket készítésétől legalább három napos koráig vízpermetezéssel utókezelní kell.

### **Megszilárdult betontermék**

A megszilárdult betontermék minőségét a vonatkozó termék szabvány előírásai szerint 28 napos korban kell meghatározni. A vizsgálatoknak értelemszerűen ki kell terjednie a termék méretére, felületeinek, éléinek, sarkainak ép voltára, tömegére, szilárdságára, időjárásnak kitett termékek esetén a fagyállóságra, a forgalomnak kitett termékek esetén, ha szükséges a kopásállóságra és az olvasztósó-állóságra.

### **Követelmények és vizsgálatok (1. számú melléklet)**

Az anyagokkal szemben támasztott követelményeket, a követelmények vizsgálati módszerének szabvány számát, a vizsgálatok megkövetelt gyakoriságát a következő táblázatban tüntettük fel. A vizsgálatokat az anyagok illetve tulajdonságaik változása esetén a táblázatban feltüntetett gyakoriságtól függetlenül a változás észlelését követően el kell végezni.

## Felhasznált irodalom

[1] Csőke Barnabás, Bokányi Ljudmilla, Böhm József: Hulladékélelőkészítési technológiák, Miskolc (1997)

[2] <http://www.foek.hu/korkep/hulladek/4-2-d-.html>

[3] <http://www.betonnet.hu/Public/ea001/1.html>

[4] ERDÉLYI A., - LIPTAY A., - VÖRÖS Z.: Az A1 autópálya betonburkolatának felújítása Ausztriában. *Közúti Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle*, 1998. 3. szám, p. 86.

[5] H. SOMMER: Wiederverwendung von Altbeton für neue Betonfahrbahndecken. *Bundesministerium Für Wirtschaftliche Angelegenheiten. Straßenforschung Heft 403/1992/Wien.*

[6] [http://www.betonopus.hu/not\\_bontott/Bontott-beton.htm#Tapasztalat](http://www.betonopus.hu/not_bontott/Bontott-beton.htm#Tapasztalat) (Tanulmány)

[7] ERDÉLYI A.: Beton az útéépítésben - tájékoztató az 1996. október 22.-i bécsi "Betonkutatói Kollokviumról". *Beton*, 1996. 12. szám, p. 20.