

ZÚZOTTKÖVEK KŐZETFIZIKAI TULAJDONSÁGAI A MINŐSÍTÉS GYAKORLATÁBAN

Árpás Endre – Emszt Gyula – Gálos Miklós – Kárpáti László
BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, arpase@freemail.hu,
gyemszt@freemail.hu, mgalos@freemail.hu, karpati.laci@gmail.com

Összefoglalás: Zúzottkövek halmazszilárdsági vizsgálata mind az útépités, mind a vasútépités területén minősítő kőzetfizikai vizsgálatként szerepel. A halmazszilárdsági tulajdonságok megítélése forgódobos Los Angeles és mikro-Deval vizsgálattal történik. A BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék Anyagvizsgáló laboratóriumának kőzetvizsgáló laborrészlegében ezek a vizsgálatok évtizedek óta készülnek. A laboratóriumban felgyűlt tapasztalatokat az iparágak szabályozási rendszerükben hasznosítják.

Kulcsszavak: kőzetfizika, halmazszilárdság, Los Angeles vizsgálat, mikro-Deval vizsgálat, zúzottkő, minősítés

1. Bevezetés

Zúzottkövek minőségi követelményeit általánosan kőzettani-, kőzetfizikai-, felületi- és szemszerkezeti tulajdonságaikkal fogalmazzuk meg. Hazánkban a kőzettani tulajdonságokat a kőzetfizikai követelmények közé soroljuk, egyszerűen a kőzetnév megadásával. Szemléletünkben és a két legnagyobb zúzottkő felhasználó minőségi követelményeinek megfogalmazásában a kőzettani- és a kőzetfizikai követelmények nem válnak külön. A kőzettani tulajdonságok határozzák meg a kőzetanyag minden tulajdonságát, de a kőzettani tulajdonságok nehezen számszerűsíthetők, így a minősítés gyakorlatában a kőzetfizikai tulajdonságok anyagjellemzőit használjuk.

A kőzetfizikai tulajdonságok alatt a halmaz kőzetanyagának szilárdsági és időállósági tulajdonságait értjük. A szilárdsági követelményeket a gyakorlatban a halmazszilárdsági vizsgálatok eredményeivel, az időállóságot a fagy, vagy a kristályosítás hatásával szembeni ellenállással ítélni lehet meg. A zúzottkő halmaz felületi tulajdonságait külön tulajdonság-csoportként kezeljük, annak ellenére, hogy e tulajdonság is a kőzetfizikai fogalomkörbe tartozik.

Zúzottkövek kőzetfizikai tulajdonságai közül a halmazszilárdsági tulajdonságok megítélése a minősítés gyakorlatában kitüntetett szerepű. Hasonló a testszilárdság megítélésére használt egyirányú nyomószilárdsághoz az építőkövek esetében mind a hazai, mind pedig a nemzetközi minősítés gyakorlatában. Tapasztalatunk, hogy ha zúzottkövekről van szó, az első kérdés: mennyi a „losza”, azaz mekkora a Los Angeles halmazszilárdsági vizsgálattal mért aprózódási veszteség.

Építési kőanyagok minősítő vizsgálatainak végzésére miniszteri rendelet, már az 1880-as években a Műegyetem Anyagvizsgáló Állomását jelölte ki. A II. világháborúig

működött ez az intézmény, ahol a zúzottkő vizsgálatokat Deval aprózódási vizsgálattal végezték. Az 1950-es évektől az építési kőanyagok kutató jellegű vizsgáló helye a Budapesti Műszaki Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékének laboratóriuma volt. Az iparág koncentrált kutató intézetei – Építéstudományi Intézet (ÉTI), Építésügyi Minőségellenőrző Intézet (ÉMI), Közlekedéstudományi Intézet (KTI), Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet (SZIKKTI) – mellett a Tanszék, Mérnökgeológiai Tanszék néven, majd az ezredforduló óta, mint Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszék, melynek Anyagvizsgáló laboratóriumában a kőzetvizsgáló laborrészlege végzi a zúzottkő vizsgálatokat és a zúzottkövek minősítéséhez kapcsolódó kutatásokat.

A Tanszék kőzetvizsgáló laborrészlege az Anyagvizsgáló Állomástól megörökölt Deval berendezés mellé Magyarországon elsőként szerzett be Los Angeles vizsgáló dobot, majd hazánkban elsőként kezdett el vizsgálatokat a rendszerbe állított mikro-Deval, majd pedig a vasúti mikro-Deval vizsgáló berendezéseivel.

2. Halmazszilárdsági vizsgálatok

Zúzottkő halmazok halmazszilárdsági tulajdonságainak vizsgálatára két típusú vizsgálati mód terjedt el. Nevezetesen a forgódobos és a mozsaras. Közös bennük, hogy a vizsgálat során a vizsgálati minta külső munka hatására bekövetkező szerkezeti változását mérjük. A hazai minősítési gyakorlatban a forgódobos eljárások terjedtek el. A mozsaras vizsgálatok – Hummel aprózódás, Stübel (ejtősúlyos) vizsgálat, 10%-os aprózódás vizsgálata – kiszorultak a mindennapi minősítési gyakorlatból.

A két legnagyobb zúzottkövet felhasználó iparág az út és a vasútépítés, az európai szabályozási rendszerben, a Los Angeles- és a mikro-Deval vizsgálat, a termék előírásokban a két minősítő halmazszilárdsági vizsgálat. A korábbi magyar gyakorlatban használt Deval vizsgálat kiszorult a halmazszilárdsági vizsgálatok köréből. Számunkra azonban azért fontos ez a vizsgálat, mert az évtizedek alatt felgyűlt vizsgálati tapasztalat segít egy-egy kőzet viselkedésének megítélésében.

A forgódobos zúzottkő vizsgálatok az útpályába, illetve vasúti ágyazatba beépített kőanyagoknál a járműforgalom által létrehozott dinamikus igénybevételek hatására bekövetkező változások meghatározására szolgálnak. A laboratóriumi kőzetfizikai vizsgálatok során a kőanyagot forgódobba helyezük, ahol a szemek forgó mozgás közbeni súrlódása és egymáshoz, illetve a dobok falához ütődése következtében aprózódnak. A Los Angeles-, valamint a Mikro-Deval vizsgálatok során ezen kívül még koptatótöltet-acélgolyók is fokozzák a kőzetminta kopását. Ezek az eljárások a:

- Los Angeles vizsgálat,
- Mikro-Deval vizsgálat,
- Vasúti mikro-Deval vizsgálat és a
- Deval vizsgálat.

A vizsgálatok mértékadó eredménye a kőanyag halmazok szemlein bekövetkezett aprózódás (kopás) tömegveszteségéből számítható ki. A vizsgálatoknál a tömegveszteséget az 1,6 mm-es vizsgáló szitán átesett halmazrész tömegével mérjük

viszonyítva a teljes tömeghez. Így a vizsgálatok eredménye az aprózódási-, kopási-tömegveszteség tömegszázalékban.

2.1 Los Angeles vizsgálat (MSZ 18287-1: 1991, MSZ EN 1097-2: 2000)

A Los Angeles vizsgálatot nagy átmérőjű (711 mm) forgódobban kell végezni, ahol az igénybevétel a forgódobban a terelőlemeztől a kőanyagra leeső nagyátmérőjű (47 mm), adott tömegű acélgolyók, valamint a dob belső felületén való súrlódás biztosítja (1. ábra). A vizsgálat így ütve koptató. A dob forgási sebessége percenként 30-33 fordulat.

A Los Angeles vizsgálat vizsgálattechnikai paramétereit – vizsgálati minta tömege, a hozzá rendelt golyószám, az összfordulat száma – a minta szemmagysághatárú csoportjai (vizsgálati osztályai) szerint adták. Így teljesül az a kívánság, hogy a Los Angeles aprózódási veszteség a szemmagysághatártól független kőzetjellemző. Az európai vizsgálati szabvány (MSZ EN 1097-2:2000) a 10/14 mm szemmagysághatárú halmaz vizsgálatára adja meg a vizsgálattechnikai paramétereit. A vasúti ágyazati kőanyagokra pedig erre a vizsgálati szabványra történő visszahivatkozással az MSZ EN 13450:2002 ír elő a 31,5/50 mm szemmagysághatárú minta vizsgálatához golyó- és fordulatszámot.



1. ábra. Los Angeles vizsgáló berendezés.

2.2 Mikro-Deval vizsgálat (MSZ 18287/6-84, MSZ EN 1097-1: 1998)

A mikro-Deval vizsgálat 154 mm átmérőjű 200 mm hosszú, vízszintes tengelyű forgódobban 10 mm átmérőjű acélgolyókból álló koptatótöltettel készül. A kőanyag-halmaz, a koptatótöltet és a dob belső felülete között fellépő súrlódás aprózza a mintát. A dob forgási sebessége percenként 100 fordulat. (2. ábra)

A mikro-Deval vizsgálat készülhet száraz és vizes eljárással. A vizes eljárásnál a mintához adott mennyiségű vizet kell tölteni. Így az aprózódás közet szövetét a víz hatásával fokozottabban veszi igénybe. A vizsgálattechnikai előírások a vizsgált minta szemmagyságához adják meg a mintamennyiséget, a koptatótöltet tömegét és az összfordulatszámot. Hasonlóan a Los Angeles vizsgálatához ennél a vizsgálatnál is az aprózódás mértéke független a minta szemmagyságától.

Az európai vizsgálati szabvány (MSZ EN 1097-1:1998) a 10/14 mm szemmagysághatárú halmaz vizsgálatára adja meg a vizsgálattechnikai paramétereket.

2.3 Vasúti Mikro-Deval vizsgálat (MSZ EN 13450:2002)

A vasúti mikro-Deval vizsgálat 154 mm átmérőjű, 400 mm hosszú forgódobban koptatótöltet nélkül, dinamikus munkával aprózza a kőzetanyagot. A vizsgálatot szárított kőanyagalmazon víz hozzáadásával végezzük. A 10.000 g tömegű 31,2/50 mm szemmagysághatárú vizsgálati mintához 2,0 liter vizet töltünk, majd a dobot 14.000 fordulattal forgatjuk. A dob forgási sebessége 100 fordulat/perc. (2. ábra)

A termékszabvány ugyan visszahivatkozik az MSZ EN 1097-1:1998 számú szabványra, de ez csak arra vonatkozik, hogy a vizsgálatot ugyan abban a forgató berendezésben lehet elvégezni, mint a mikro-Deval vizsgálatot. De más a dob mérete és nem kell koptató töltetet használni, valamint más a mintára vonatkozó szemmagysághatár-előírás. Ebben a vonatkozásban a vasúti mikro-Deval vizsgálat jobban hasonlít a Deval vizsgálatához, mint a mikro-Deval vizsgálatához.



2. ábra. Mikro-Deval vizsgáló berendezés vasúti mikro-Deval dobbal.

2.4 Deval vizsgálat (MSZ 18287/2-83)

A vizsgáló berendezés, a Deval-dob öntöttvas henger, amelynek egyik véglapja zárt, a másik véglapját öntöttvas fedél víz-és pormentesen lezárja. A henger belső átmérője 200 mm, belső hossza 340 mm. A dob tengelye a vízszintes forgástengellyel 30 fokos szöget zár be. A ferde tengelyű dobban a vizsgálati minta ide-oda csúszik, áthalmozódik és így aprózódik. A dob forgási sebessége percenként 30-33 fordulat. (3. ábra)

A Deval vizsgálat készülhet száraz és vizes eljárással. Hasonlóan a mikro-Deval vizsgálathoz a vizes eljárásos vizsgálatnál adott mennyiségű vizet kell a mintához adni. Vizsgálattechnikai előírások a minta tömegére és az össz-fordulatszámra vannak, hogy a különböző szemnagysághatárú minták a kőzetre jellemző aprózódási értéket szolgáltatassák.



3. ábra. Deval vizsgáló berendezés

A 4. és 5. ábrákon vasúti ágyazati kőanyagokról készült felvételeket mutatunk be, ahol az eredeti kőanyagról, valamint a Los Angeles-, a vizes mikro-Deval, és a vizes Deval vizsgálat utáni aprózódott állapotú kőanyag látható.



4. ábra. Andezit (Szob) vasúti ágyazati zúzott kőanyag eredeti, Los Angeles-, vizes vasúti mikro-Deval- és vizes Deval vizsgálat utáni állapotban.



5. ábra. Bazalt (Uzsa) vasúti ágyazati zúzott kőanyag eredeti, Los Angeles-, vizes vasúti mikro-Deval- és vizes Deval vizsgálat utáni állapotban.

3. Halmazszilárdsági vizsgálatok a kőzetanyagok minősítésének rendjében

Az 1970-es évek végén megjelenő építési kőanyagok szabványrendszerét hosszas kutató és előkészítő munka előzte meg. A hazai és nemzetközi tapasztalatokat összegző szabványrendszerben a zúzott kövekre olyan termékszabvány készült – MSZ 18291-78 számú, Zúzottkövek című szabvány - amelyben a zúzottkövek kőzetfizikai minősítésére a követelményrendszer a

Los Angeles aprózódási, a

Deval száraz és vizes vizsgálatnál végzett aprózódási, valamint a

nátrium- és magnéziumsulfátos kristályosítási vizsgálat

eredményeihez rendelt kőzetfizikai csoportok szerint készült. A szabvány szerinti kőzetfizikai minősítő követelményeket az 1. táblázat mutatja.

Ez a szabályozás megfelelt annak az elvnek, hogy ne adott termék csoportra vonatkozó célszabvány, hanem olyan általános követelményeket tartalmazó szabvány legyen, amely alkalmas a többcélú igények kielégítésére szolgáló zúzottkövek minősítésére. Tehát a lehetőségekből a felhasználó tudja azokat a termékeket kiválasztani, amelyekre az adott feladat megoldásánál szüksége van.

Vizsgálati halmaz szemmagysági határai (mm)	Kőzetfizikai vizsgálati megnevezés	Kőzetfizikai jellemzők értékei az			
		A	B	C	D
		kőzetfizikai csoportban			
50-80	LA aprózódás m%-ban	< 20	20 – 25	25 – 30	35 – 45
20-55	Deval kopási aprózódás m%-ban: száraz vizes	< 3,3	3,3 – 4,5	4,5 – 6,8	6,8 – 13,3
		< 6,7	6,7 – 9	9 – 13	13,3 – 27
12-20	Deval kopási aprózódás m%-ban: száraz vizes	< 1,6	1,6 – 2	nincs köv.	nincs köv.
		< 5,0	5 – 7,5	nincs köv	nincs köv
0,2-80	Kristályosítási aprózódás m%-ban Na ₂ SO ₄ oldattal MgSO ₄ oldattal	< 10	10 – 15	15 – 20	20 – 30
		< 15	15 – 20	20 – 30	30 – 40

1. táblázat Az MSZ 18291 szabvány szerinti kőzetfizikai minősítés követelményei

Az útépités a zúzottkő szabványra támaszkodva kidolgozta az ágazatra vonatkozó előírásait. Az Útügyi Műszaki Előírások ebben az értelemben már termékcsoporthoz vonatkozó célszabványként kezelendők.

Az ÚT-2.3.601:1998 számú, Útépitési zúzottkövek című Útügyi Műszaki Előírás a kőzetanyagok kőzetfizikai minőségi követelményeit a

Los Angeles aprózódási, a
vizes Deval aprózódási, a
vizes mikro-Deval aprózódási és a
magnéziumszulfátos kristályosítási

vizsgálatok eredményei szerint írja elő. Az előírás szerinti kőzetfizikai minősítő követelményeket a 2. táblázat mutatja.

Az európai szabályozási rendszerhez történt csatlakozásunk az útügyi előírások átdolgozását követelte meg. A már idézett Útügyi Műszaki Előírás 2006. év elején megjelent változata, az ÚT-2.3.601:2006 a kőzetfizikai minőségi követelményeket a

Los Angeles aprózódási, a
vizes mikro-Deval aprózódási és a
magnéziumszulfátos kristályosítási

vizsgálatok eredményei szerint teszi meg. A nemzetközi gyakorlat figyelembe vételével az előírás szerinti kőzetfizikai minősítő követelményeket a 3. táblázat mutatja.

Vizsgálati halmaz szemmagysági határai (mm)	Kőzetfizikai vizsgálati megnevezés	Általános kőzetfizikai csoport			
		AA	BB	CC	DD
		besorolási határérték m%-ban			
3-80	LA aprózódás	< 20	20 – 25	25 – 30	35 – 45
12-55	Deval kopási aprózódás (vizes) 20-55 mm 12-20 mm	< 8,5 < 5,7	8,5 – 11,2 5,7 – 7,7	11,2 – 15,9 7,7 – 11,0	15,9 – 30,3 11,0 – 23,7
3-12	Mikro-Deval aprózódás (vizes)	< 15	15 – 20	20 – 25	25 – 30
2-80	Szulfátod kristályosítási aprózódás MgSO ₄ oldatban	< 10	10 – 15	15 – 20	20 – 30

2. táblázat. Az ÚT-2.3.601:1998 számú, Útépítési zúzottkövek című korábbi Útügyi Műszaki Előírás a kőzetanyagok kőzetfizikai minőségi követelményeivel.

Tulajdonság és vizsgálati módszer	Vizsgálati minta szemmagysága, mm	Kőzetfizikai csoport		
		Kf-0 ^{d/D-r}	Kf-A ^{d/D-r}	Kf-B ^{d/D-r}
Los Angeles-aprózódás, m% (MSZ EN 1097-2)	10-14	LA ₁₅ (ÚT) ≤ 15	15 < LA ₂₀ ≤ 20	20 < LA ₂₅ ≤ 25
Mikro-Deval-aprózódás, vizes eljárás, m% (MSZ EN 1097-1)		M _{DE} 10 (ÚT) ≤ 10	10 < M _{DE} 15 (ÚT) ≤ 15	15 < M _{DE} 20 ≤ 20
Kristályosítási aprózódás MgSO ₄ -oldatban, m% (MSZ EN 1367-2)		MS ₅ (ÚT) ≤ 5	5 < MS ₁₀ (ÚT) ≤ 10	10 < MS ₁₅ (ÚT) ≤ 15

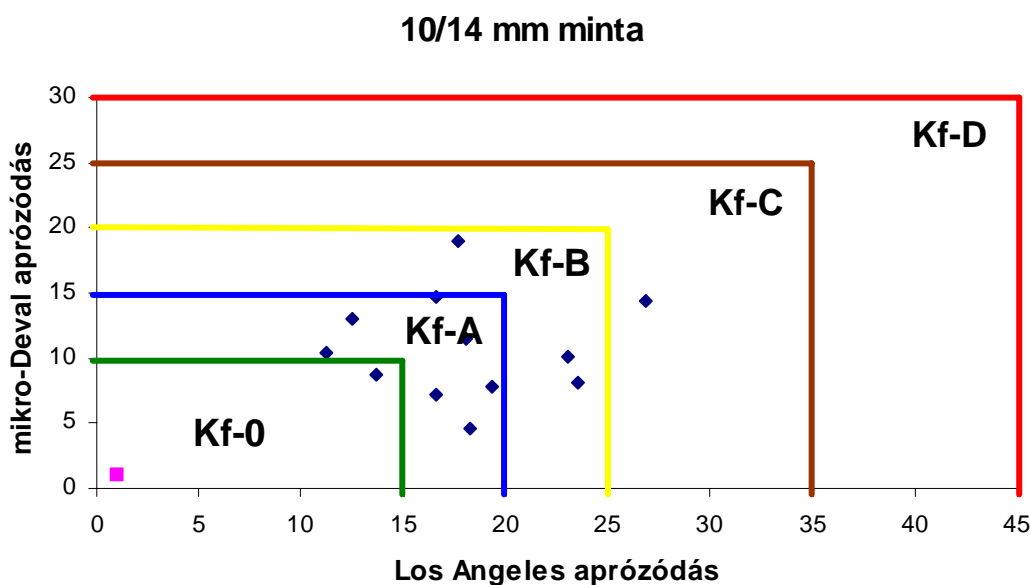
Tulajdonság és vizsgálati módszer	Kőzetfizikai csoport			
	Kf-C ^{d/D-r}		Kf-D ^{d/D-r}	
	Kf-C1 ^{d/D-r}	Kf-C2 ^{d/D-r}	Kf-D1 ^{d/D-r}	Kf-D2 ^{d/D-r}
Los Angeles-aprózódás, m% (MSZ EN 1097-29)	25 < LA ₃₀ ≤ 30	30 < LA ₃₅ (ÚT) ≤ 35	35 < LA ₄₀ ≤ 40	40 < LA ₄₅ (ÚT) ≤ 45
Mikro-Deval-aprózódás, vizes eljárás, m% (MSZ EN 1097-1)	20 < M _{DE} 25 ≤ 25	20 < M _{DE} 25 ≤ 25	25 < M _{DE} 30 (ÚT) ≤ 30	25 < M _{DE} 30 (ÚT) ≤ 30
Kristályosítási aprózódás MgSO ₄ -oldatban, m% (MSZ EN 1367-2)	15 < MS ₁₈ ≤ 18	18 < MS ₂₁ (ÚT) ≤ 21	21 < MS ₂₅ ≤ 25	25 < MS ₃₀ (ÚT) ≤ 30

3. táblázat. Az ÚT-2.3.601:2006 számú, Útépítési zúzottkövek című Útügyi Műszaki Előírásban a kőzetanyagok kőzetfizikai minőségi követelményei.

Egyértelműen látszik, hogy az útépítési zúzottkő felhasználásnál a halmazszilárdsági minősítő vizsgálatok a kőzetanyag referencia vizsgálatára, a 10/14

mm szemmagysághatárú mintaanyagára koncentrálnak. Nehézséget az okozza, hogy ezzel a módszerrel a beépítésre kerülő, különböző szemmagysághatárú termékek minőségét nem lehet ellenőrizni. Az Útügyi Műszaki Előírás ezt a problémát úgy oldja meg, hogy lehetővé teszi a Los Angeles- és a vizes eljárással készített mikro-Deval vizsgálat végzését a régi magyar vizsgálati szabvány szerint azzal a megfontolással, hogy ezek a vizsgálatok, ha a megfelelő vizsgálati kategória szerint készülnek, akkor az eredmény közetre jellemző értéket ad.

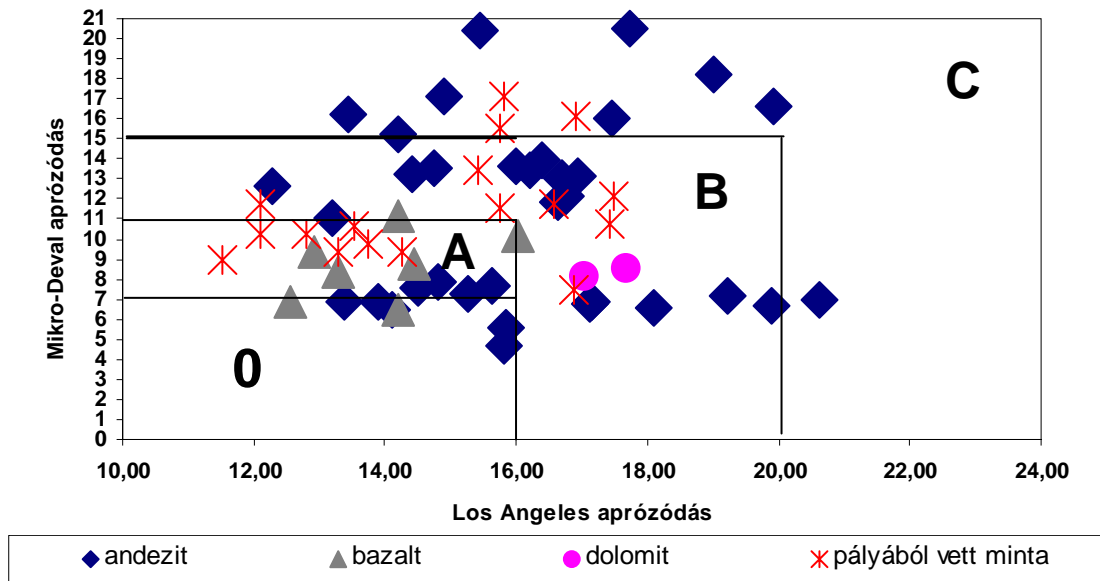
A 6. ábrán a 10/14 mm szemmagysághatárú referencia vizsgálatok halmazszilárdsági tulajdonságai alapján néhány hazai kőzet besorolását szemléltetjük.



6. ábra. A 10/14 mm szemmagysághatárú referencia vizsgálatok halmazszilárdsági tulajdonságai alapján néhány hazai kőzet közzefizikai besorolása.

A vasúti ágyazati kőanyagokra vonatkozó, MSZ EN 13450:2002 számú, termékszabvány a minősítő halmazszilárdsági vizsgálatokat a beépítésre kerülő termék szemmagysághatárú mintáin végezteti el. A szabvány a vasúti Los Angeles vizsgálattal a kőzetanyag szilárdságát, a vasúti mikro-Deval vizsgálattal a kőzetanyag hatásállóságát minősíti.

A minősítő kőzetjellemzők összetartozó értékeivel a különböző kiépítési sebességű pályákra beépíthető kőzetanyagra vonatkozó követelmény adható meg. Az 7. ábrán hazai kőzetek minősítő vizsgálati eredményeinek feltüntetésével a javasolt kategóriahatárokat tüntettük fel.



7. ábra. Vasúti ágyazati zúzottkő minősítése a vasúti Los Angeles- és a vasúti mikro-Deval vizsgálat eredményei alapján, feltüntetve a hazai kőzetek minősítő vizsgálati eredményeihez rendelt kategória határokat.

4. Következtetések

A zúzottkövek közetfizikai vizsgálatai közül a halmazszilárdsági vizsgálatok jelentik az adott termékek legfontosabbnak ítélt minősítő vizsgálatait. Mind az útépitési zúzott kőanyagoknál, mind pedig a vasúti ágyazati kőanyagoknál a halmazszilárdsági vizsgálatok – a Los Angeles- és mikro-Deval vizsgálatok - eredményei szerint történik a minősítés. A 8. ábrán útépitési zúzottkő gyártósor (Tállya) képét mutatjuk be.



8. ábra. Útépitési zúzottkő termékek gyártóüzeme.

Az útépités nagymennyiségű zúzottkő terméket épít be a különböző pályaszerkezeti részekbe. A zúzottkő a szerkezet ásványi vázát adja mind az aszfalt-, mind a betonút építésénél. A beépítés a forgalmi terhelési osztálynak megfelelő feltételek szerinti.

A jó vasúti ágyazati anyag szemcsés szerkezetű, kohézió nélküli, nagy szilárdságú, fagyálló közet. Az ágyazatot érő dinamikus hatások felvételére szolgáló ágyazati ellenállás mértéke az anyag belső súrlódásával, a szemcsék szilárdságával és a szemszerkezet kedvező tömörödési tulajdonságaival nő. A 9. ábra vasúti ágyazati zúzott anyag beépítését szemlélteti.



9. ábra. Vasúti pálya zúzottkő ágyazata.

Minősítói gyakorlatunkban a Los Angeles- és a vizes miko-Deval vizsgálatokról, mint halmazszilárdsági vizsgálatokról beszélünk, de tudjuk, hogy valójában a Los Angeles vizsgálat a zúzott kőanyagok szilárdsági tulajdonságait, a vizes mikro-Deval vizsgálatokkal a halmazok hatásállósági tulajdonságait minősítjük.

Hivatkozások

- Árpás E., Emszt Gy., Gálos M. 2001. Mikro-Deval vizsgálat az európai szabványosítás rendszerében. *Építőanyag*, 53. 1.sz.
- Árpás E., Emszt Gy., Gálos M., Kárpáti L. 2002. Los Angeles-vizsgálat az európai szabványosítás rendszerében. *Építőanyag*, 54. 4.sz.
- Árpás E., Emszt Gy., Gálos M., Kárpáti L. 2006. Vasúti ágyazati kőanyagok minősítő mikro-Deval vizsgálatának vizsgálattechnikai értékelése. *Építőanyag*, 58. 3.sz.
- Emszt Gy. 2005. Hazai ágyazati kőanyagok közetfizikai vizsgálata és minősítése. *Diplomamunka*. BME Építőmérnöki Kar Kőszerkezeti Szakmérnöki Ágazat. Budapest.
- Gálos M., Kertész P., Marek I., Udvardy J. 1982. Hazai és külföldi zúzottkő termékszabványok értékelése. *Építőanyag*, 34. 7.sz.
- Gálos M. 1983. A zúzottkő betonadalékanyag közetértékelése. *Építőanyag*, 35. 5.sz.
- Gálos M., Kausay T., Kertész P., Marek I. 1984. Zúzottkövek mikro-Deval aprózódási vizsgálata. *Építőanyag*, 36. 9.sz.