

Betonfelületek permeabilitásvizsgálata

Varga Ákos*

Témavezető: dr. Józsa Zsuzsanna**

1. Bevezetés

A beton egyik legfontosabb, sok más jellemzőjét meghatározó tulajdonsága a porozitás. Döntő jelentőségű a beton tartósságát illetően. Ökölszabályként elmondható, hogy egy térfogatszázalék pórustartalom kb. 5% nyomószilárdság-csökkenést eredményez. A különféle károsító anyagok is a kapilláris pórusokon keresztül jutnak a betonba.

Fontos ezért a porozitás ismerete, ami többféle módszerrel is vizsgálható. A pórusok százalékos arányát mérhetjük közvetlenül, de a porozításra következtethetünk közvetett módon, a beton víz- vagy gázáteresztő-képességének mérésével is.

Bár sokféle mérési eljárást és eredményt ismerünk, „nincs általánosan elfogadott módszer a beton pórusszerkezetének jellemzésére és ennek a tartóssággal való összekapcsolására. Bizonyos vizsgálatok azonban azt mutatják, hogy a beton levegő- és vízáteresztő képessége kiválóan jellemzi a betonnak a gáz-, ill. folyadékállapotú agresszív közegek behatolásával szembeni ellenálló képességét, és így egy adott beton potenciális tartósságának mértéke lehet” [1].

A következőkben a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken új műszerekkel végzett permeabilitásvizsgálatok eredményeit mutatom be. Az egyik eszköz a Torrent típusú vákuumos permeabilitásvizsgáló, a másik a GWT-4000 típusú vízpermeabilitás-vizsgáló készülék volt. Ezeknek a használata hazánkban még nem terjedt el. A célunk az volt, hogy a jelenleg használatos vizsgálati módszereknél egyszerűbb és gyorsabb, helyszínen is használható „in situ” vizsgálati módot alkalmazzunk. Az első lépés tehát a műszerek megismerése, előnyeik és hátrányaik értékelése, majd a hagyományos módszerekkel való összehasonlítása volt.

2. A porozitás fogalma

A cementkő a beton térfogatának harmadát-negyedét teszi ki, nagy porozitású anyag. A pórusokat levegő, víz vagy valamilyen hidráttermék tölti ki.

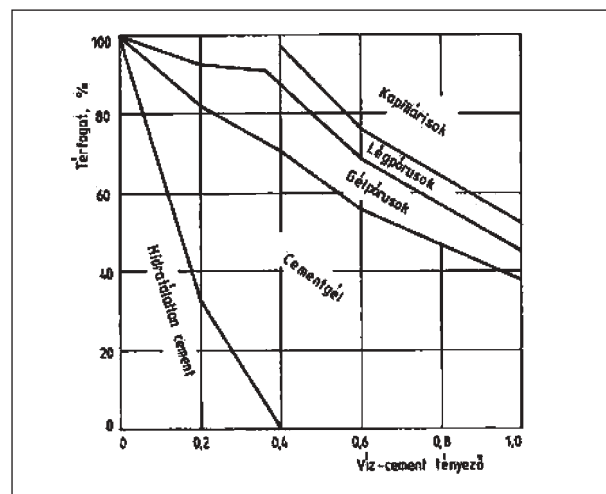
A pórusokat a következőképpen oszthatjuk fel [2]:

Gélpórus: a cementgélben lévő és a mikrokristályos

hidráttermékek közti tér, amely a cement és a keverővíz reakciója során keletkezik. A gélporozitás akár 30 V%-ot is képviselhet, a pórusok átmérője 1–10 nm.

Kapilláris pórus: eredetileg keverővízzel töltött tér, átmérőjük 20 nm–10 µm; mennyisége elsősorban a víz-cement tényező, illetve a nedves utókezelés függvénye. Utóbbinak a hidratáció mértékére van kihatása.

Légpórus: a péptelítetlenség vagy a hiányos tömörítés következménye, mely pontos tervezéssel és megfelelő kivitelező munkával elkerülhető. Mérete mm nagyságrendű is lehet.



1. ábra. A víz-cement tényező hatása a cementkő összetételére [3]

Az 1. ábra a cementkő összetételét mutatja a víz-cement tényező függvényében. Ezen láthatjuk, hogy míg a gél- és légpórusok aránya közel állandó, a kapillárisok mennyisége a hozzáadott víz mennyiségétől függ.

A kapilláris porozitásnak a jelentősége abban áll, hogy ezeken keresztül „lélegzik” a beton, itt vesz fel, illetve ad le vizet. Ezeken a sokszor egymáshoz kapcsolódó pórusokon keresztül jutnak a korróziót okozó agresszív folyadékok, illetve légszennyező anyagok is a betonba.

3. Permeabilitási jellemzők

A vízáteresztés az anyagnak azon tulajdonsága, hogy víznyomás hatására a víz a pórusokon keresztülhatol és átfolyik.

* okleveles építőmérnök, doktorandusz, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

**egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

Valamely állandó keresztmetszetű szűrőn átfolyó vízmennyiség arányos a keresztmetszeti felülettel, a nyomással (vízoszlopmagasság), a szűrőanyagot jellemző értékkel, és fordítva arányos a szűrőrétegben megtett út hosszával, vagyis a szűrőréteg vastagságával.

A Darcy-törvény alapján a „szűrőanyagot jellemző érték”, azaz a k vízáteresztési együttható:

$$k = \frac{Q}{i \cdot A \cdot t} \quad [\text{m/s}]$$

Q : az áteresztett vízmennyiség, m^3 ,

A : a próbatest keresztmetszeti területe, m^2 ,

t : a szivárgás időtartama, s ,

i : hidraulikus gradiens, $i = h/d$,

h : a nyomást előidéző vízszlop magassága, m ,

d : a szivárgási hossz, m .

A Darcy-törvény feltételezi, hogy a vizsgálandó porózus test merev és homogén, a folyadékáramlás lamináris, és az áramlási sebesség állandó.

A beton is felfogható úgy, mint egy mesterségesen előállított szűrő, így bizonyos korlátokkal ugyan, de a Darcy-törvény alkalmazható rá.

Ahhoz, hogy a különböző folyadékok által vizsgált permeabilitásértékeket összehasonlítsuk, szükséges a betonfelületek K valós áteresztőképességét ismernünk, amely csak a beton pórusstruktúrájának a függvénye [4]. Ezt a következő egyenlettel írhatjuk le:

$$K = \frac{Q \cdot d \cdot \eta}{t \cdot A \cdot (p_1 - p_2)} \quad [\text{m}^2]$$

η : a folyadék / a közeg dinamikai viszkozitása (függ a hőmérséklettől is),

$p_1 - p_2$: folyadéknyomás-különbség (a betonréteg előtti és utáni nyomás).

Gázhalmazállapotú anyagokkal is vizsgálhatjuk a beton áteresztőképességét. Elvileg a folyékony halmazállapotú közeggel mérthez hasonló K értéket kell kapnunk. Egyes vizsgálatok azonban különböző értékekhez vezettek, főként kisebb permeabilitású anyagoknál [4]. Ez részben a vizsgáló közeg molekulaméret-különbségéből adódik.

A levegőáramlás alapegyenletét Poisseuille írta le [5]:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{K \cdot A \cdot (p_1^2 - p_2^2)}{2 \cdot \mu \cdot d \cdot p}$$

Ebből a permeabilitási együttható:

$$K = \frac{Q \cdot d \cdot 2 \cdot p \cdot \mu}{t \cdot A \cdot (p_1^2 - p_2^2)} \quad [\text{m}^2]$$

μ : a légnemű anyag viszkozitása,

p : az a nyomás, amin a Q átfolyt gázmennyiséget mérjük,

p_1, p_2 : nyomás a szerkezet egyik, illetve másik oldalán.

4. A betonfedés jelentősége

Egy betonszerkezet elemének teherbírása a teljes elem mechanikai és porozitási jellemzőitől függ, tartósságát agresszív környezeti körülmények között azonban elsősorban a viszonylag vékony, 20–50 mm vastag felületi réteg minősége befolyásolja.

A betonszerkezetet károsító folyamatok nagyon változatosak, és a különféle mechanizmusok (fizikai, kémiai, elektrokémiai) gyakran egymásra hatnak, így nem várható el, hogy a fedőbeton egy vagy két paraméterének meghatározása elegendő legyen a tartósság előzetes megítéléséhez.

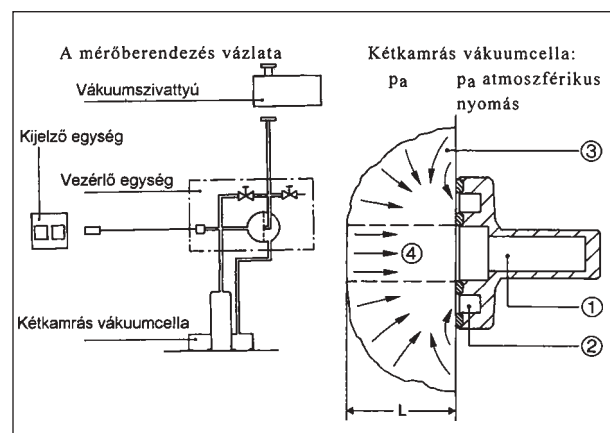
„Jelenleg nincsenek általánosan elfogadott gyors vizsgálati módszerek a beton permeabilitásának és a különböző környezeti hatásoknak kitett beton permeabilitáshatárértékeinek vonatkozásában. Valószínű azonban, hogy a jövőben rendelkezésre állnak majd ilyen módszerek, amelyek lehetővé teszik a beton tartóssági osztályozását a permeabilitás alapján. Ezt követően meghatározhatóak a beton permeabilitásával kapcsolatos elvárások, amelyek a szerkezetet érő környezeti hatások alapján lesznek osztályozhatók” [1].

5. In situ permeabilitásvizsgálati eljárások

5.1. Vákuumos permeabilitásvizsgálat

A Proceq gyártmányú TORRENT permeabilitásvizsgáló mérőberendezést elsősorban fedőbeton réteg légpermeabilitásának roncsolásmentes módszerrel való meghatározására fejlesztették ki. A készülék működésének elvi vázlatát mutatja a 2. ábra [6].

A mérési rendszer alapvető jellegzetessége a kétkamrás vákuumcella és egy nyomásszabályzó, amely biztosítja a felületre merőleges, a belső kamrába irányuló légáramlást. Ez lehetővé teszi a K [m^2] permeabilitási együtthatónak az elméleti modell alapján történő számítását [5].



2. ábra. Torrent permeabilitásvizsgáló készülék vázlatja

A K együttható a Poisseuile-egyenletről, az ideális gázokra vonatkozó $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ képlet segítségével vezethető le [7]:

$$K = 4 \left[\frac{V_c \left(\frac{dp_1}{dt} \right)^2}{A \cdot (p_a^2 - p_1^2)} \right]^2 \cdot \frac{\mu \cdot p_a}{\varepsilon} \int_0^t \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_a} \right)^2 \right] dt \quad [\text{m}^2]$$

$V_c = 681 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$, a vákuumcella és a csatlakozó csővezeték térfogata,
 $A = 4,65 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$, a cella keresztmetszete,
 $\mu = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Nsm}^{-2}$, a levegő viszkozitása,
 p_a : atmoszférikus nyomás,
 p_1 : a belső kamra nyomása,
 $\varepsilon = 0,15$ átlagporozitás-jellemző.

A TORRENT légpermeabilitás-vizsgáló készülék méri a vákuumpenetráció mértékét is (3. ábra). A vákuumbetárolás L mélysége nem lehet nagyobb, mint a mért betonelem vastagsága.



3. ábra. TORRENT légpermeabilitás-vizsgáló készülék

A vákuumos permeabilitásvizsgáló bármilyen dőlésű síkon alkalmazható, ferde szerkezetet vagy akár a födém alsó felületét is mérhetjük vele.

Az adatokat egy elektronikus egység jelzi ki, memóriájában tárolja és onnan számítógépre is menthető.

Mivel a vizsgálat roncsolásmentes, a mérés azonos ponton is megismételhető, de kb. fél óra szükséges ahhoz, hogy a beton belsejében ismét mindenütt a külső atmoszférikus nyomás uralkodjon.

5.2. A betonfelület vízáteresztő képességének mérése

A GWT-4000 típusú, Germann gyártmányú készüléket a betonok vízbehatalással szembeni ellenállásának mérésére fejlesztették ki (4. ábra), vízszintes és függőleges felületen alkalmazható.

A hengeres készüléket lecsavarozott szorítópofofákkal rögzítjük a betontesthez, melynek megfelelő tapadását alul tömítőgyűrű biztosítja.

A mérés lényege, hogy adott nyomással vizet juttatunk a betonba. Ehhez a készülék belsejét vízzel megtöltjük, majd adott nyomással, a csavarmentes fedél be-



4. ábra. GWT-4000 típusú, Germann gyártmányú készülék

tekerésével nyomjuk a vizet a vizsgált felületbe. A nyomást térfogatcsökkentéssel, a mikrocsovar folyamatos állításával tartjuk állandó értéken.

A q vízhozamot adott nyomáson a következő képletel számíthatjuk [8]:

$$q = \frac{B \cdot (g_1 - g_2)}{A \cdot t} = \frac{78,6(g_1 - g_2)}{3018t} = \frac{0,026(g_1 - g_2)}{t} \quad [\text{mm/s}]$$

- A: készülékállandó, az a keresztmetszet, amelyen keresztül a víz adott nyomással a betonba szívárog
 (a készülék belső átmérője 62 mm),
 B: készülékállandó, a 10 mm átmérőjű mikrométercsavar felülete,
 g_1 és g_2 : a mikrométercsavar kezdeti és végső állása.

6. Kísérletek, mérési eredmények

Négyféle betonminőséget vizsgáltam (jelölés: S1, S2, S3, S4), így 4 × 9, összesen 36 db 30 × 30 × 8 cm-es próbatest készült a permeabilitásvizsgálathoz. Az adalékanyag fajtája, szemmegoszlása és a friss beton konzisztenciája azonos volt mindegyik betonmintánál. Különbség a cement-adagolásban, a víz-cement tényezőben, illetve az adalékszer hozzáadásában volt.

A porozitást, testsűrűséget és nyomószilárdságot 150 × 150 × 150 mm-es kockákon mértük 28 napos korban (1. táblázat).

A próbatesteken először a vákuumos permeabilitásmérő készülékkel végeztem vizsgálatokat, még mielőtt a beton-

1. táblázat

Kísérleti betonminták fizikai, mechanikai jellemzői

Betonminta jele	Porozitás, V%	Testsűrűség, kg/m ³	Nyomószilárdság, N/mm ²
S1	11,76	2377	45,89
S2	12,12	2373	44,57
S3	12,22	2366	42,29
S4	14,16	2353	30,48

felületet a vízáteresztési vizsgálat benedvesítette volna. Így nem volt szükség az elektromos ellenállás mérésére, amellyel a nedves felületen mért adatok korrekciója végezhető el.

A 2. táblázat a vákuumos mérés eredményeit mutatja.

2. táblázat

Betonminták vákuumos permeabilitásvizsgálatának eredményei

Betonminta jele	K, 10^{-6} m ²	L, mm (vákuum-penetráció)	<50% eltérésűek K átlaga
S1	0,044	13,1	0,044
S2	0,079	18,0	0,071
S3	0,172	26,5	0,158
S4	1,415	44,2	0,600

A légáteresztés mérésénél egyértelmű volt a különbség a különböző minőségű betonok között. Az értékeknek helyenként nagy volt a szórása, ezért kiszámoltam azoknak a mérési eredményeknek az átlagértékét is, amelyek K együtthatója 50%-nál nem mutattak nagyobb eltérést az átlagtól. Érdekes, hogy az S1 jelű betonnál az így kapott átlag éppen egyenlő az elsőként számolt szám-tani középpel, az S2-nél és lényegében az S3-nál is csak kis eltérés tapasztalható.

A legnagyobb porozitású S4-es sorozatnál voltak igen kiugró, az átlagtól 100–300%-ban eltérő értékek is. Itt ezek figyelmen kívül hagyásával számoltam elsőként egy átlagot, majd azon értékekből, amelyek ettől 80%-nál nem nagyobb mértékben tértek el. Nem meglepő egyébként, hogy a legporózusabb betonfelületnél ilyen nagy mértékű az értékek szórása, hiszen itt vannak a legdurvább felületi pórusok, üregek a betonban, amelyeknek az eloszlása ugyanakkor nem feltétlenül egyenletes. Néhány mérésnél valószínűleg sokkal rosszabb, porózusabb volt a cella alatt a beton felülete, így nagyon nagy értékeket kaptam.

A légpermeabilitás-mérés után végeztem a vízáteresztő képesség vizsgálatait a GWT-4000 készülékkel. A mérőműszert az S4-es sorozatnál nem tudtam megfelelően alkalmazni, mert ezek a betonfelületek már nagyon porózusak voltak, a tömítőgyűrű mellett nedvesedni kezdett a beton. Hiába alkalmaztam kisebb nyomást, a mérés nem bizonyult megbízhatónak. Bár a szakirodalomban erre az esetre is találunk képletet, az eddigi tapasztalataim nem támasztják alá a megfelelő megbízhatóságot.

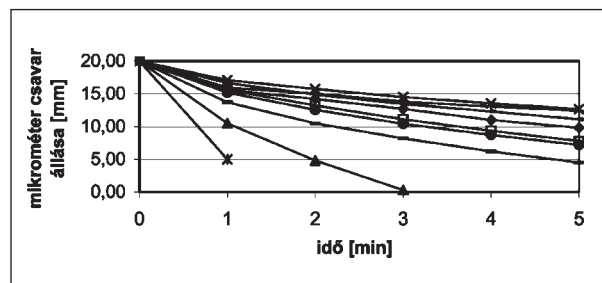
A Germann GWT-4000 vízáteresztő képességet mérő készülékkel végzett vizsgálatok eredményeinek átlagértékét a 3. táblázatban foglaltam össze. A beszívárgó vízmennyiség különbségei jól mutatják az egyes betonok porozitásának az eltérését.

3. táblázat

Kísérleti betonok vízáteresztőképesség-vizsgálatának eredményei

Betonminta jele	q, 10^{-3} mm/s 1 bar nyomásra
S1	0,495
S2	0,579
S3	0,922

Az adatokat általában percenként olvastam le, így megvizsgáltam a linearitást is, mely kb. 2 perc után következik be (5. ábra).



5. ábra. S3-as kísérleti betonsorozat vízáteresztése GWT-4000 készülékkel

A kísérleti betonokon végeztem mérést Karsten-csőves módszerrel is. Ennek lényege, hogy a Karsten-csővet (üveg mérőpipákat) a függőleges betonfelületre ragasztjuk, és meghatározott felületen mérjük az időbeni vízbeszívódást, vagyis hogy adott idő alatt mennyit csökken a vízszint a cső függőleges szárában. A 4. táblázatban a 26 óra alatt bekövetkezett vízszintcsökkenést adtam meg a különböző betonokra. A táblázat tartalmazza a tanszék laboratóriumában számos mérés alapján felállított hozzávetőleges porozitási besorolást is [9].

4. táblázat

Kísérleti betonok Karsten-csőves vizsgálatának eredményei

Betonminta jele	A beszívódás mértéke 26 óra után, mm	k, mm/min	Vízbeszívódási határértékek	Hozzá tartozó porozitás, V%
S1	12,5	0,008	< 0,04	< 12
S2	18,5	0,012	< 0,04	< 12
S3	78,3	0,050	0,04–0,14	12–15
S4	64,0	0,041	0,04–0,14	12–15

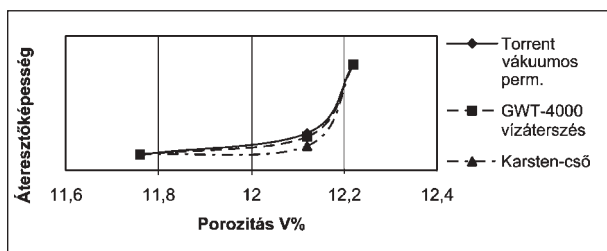
A különböző permeabilitási és a porozitásmérés eredményeinek összehasonlítását az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat

Mérési eredmények összehasonlítása

Betonminta jele	K, 10^{-6} m ² (vákuumos perm. mérés)	q, 10^{-3} mm/s (vízáteresztő képesség mérése)	k, mm/min (Karsten-csőves mérés)	Porozitás, V%
S1	0,044	0,495	0,008	11,76
S2	0,071	0,579	0,012	12,12
S3	0,158	0,922	0,050	12,22
S4	0,600	-	0,041	14,16

Az 6. ábrán a laboratóriumban mért porozítások függvényében mutatom be a három mérés eredményeinek egymáshoz való viszonyát az S1, S2, S3 betonmintákon. Mindhárom vizsgálat eredményeire hasonló görbe illeszthető.



6. ábra. Mérési eredmények összehasonlítása: áteresztőképesség a porozitás függvényében

7. Összefoglalás

A beton egyik legfontosabb, sok más jellemzőjét meghatározó tulajdonsága a porozitás. A porozitás döntő jelentőségű a beton tartósságát illetően, ugyanis a különböző károsító anyagok a kapilláris pórusokon keresztül jutnak a betonba.

Egy betonszerkezet tartóssága a szilárdsága mellett elsősorban külső fedőrétegének a minőségétől függ. A felületi porozitás ezért még fontosabb a beton tartóssága szempontjából.

A porozitás vizsgálatának többféle módszere ismert. A porozitás fokára utalnak a beton víz- vagy gázáteresztésének jellemzői. Jelen munkámban két műszerrel végzett permeabilitásvizsgálat eredményeit mutattam be.

Négyféle betonminőséget vizsgáltam, hogy a kapott eredményeket megfelelően tudjam értékelni. Mind a négy minőségi osztályban kilenc próbatesten végeztem el a méréseket, így már jól jellemezhetőek az eltérések.

A Torrent típusú vákuumos permeabilitásvizsgáló műszert alkalmasnak találom betonok légáteresztési jellemzőinek meghatározására. Előnyei között szerepel egyszerű és gyors kezelhetősége, az elektronikus mérés és adattárolás lehetősége.

A GWT-4000 típusú vízpermeabilitás-vizsgáló készülékkel is sikeres méréseket végeztem. Hasonló eredményeket kaptam, mint az előző mérésnél, de a vizsgálat kivitelezhetőségét nehezebbnek tartom, továbbá alkalmazása a felület kismértékű roncsolásával is jár.

A mérési eredményeket összehasonlítottam a felület porozitásának meghatározására hagyományosan alkalmazott Karsten-csőves vizsgálattal, a különböző módszerekkel hasonló eredményt kaptam.

A vizsgálatokat a T034466 sz. Felületvédő anyagok permeabilitása c. OTKA kutatás támogatásával végeztem.

Lektorálta: Balázs György professor emeritus, ny. egyetemi tanár.

Irodalom

- [1] CEB-FIP Model 1990, Final Draft d. 5. 3.: „Classification by Durability”
- [2] *Dr. Balázs György*: Barangolásaim a betonkutatás területén. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2001.
- [3] *Wesche, K.*: Baustoffe für tragende Bauteile 2. Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin, 1974.
- [4] *Bamforth P. B.*: The relationship between permeability coefficients for concrete obtained using liquid and gas. Magazine of Concrete Research, 1987/3. No. 138.
- [5] *Torrent, R. J.*: A two-chamber vacuum cell for measuring... Materials and Structures, 1992/7. 25, pp. 358–365.
- [6] Torrent permeabilitásvizsgáló, használati útmutató, 2000.
- [7] *Torrent, R. J.*: The Gas-Permeability of High-Performance Concretes. ACI Publication, 1999. pp. 291–308.
- [8] GWT-4000 Instruction and Maintenance Manual, 1999.
- [9] Paksi atomerőmű hulladékterelő ép. techn. kidolgozása – 1. sz. jelentés. BME Építőanyagok Tanszék, Budapest, 1988.
- [10] *Balázs Gy. – Tóth E.*: Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1997.
- [11] *Wittmann, H. Folker*: Paraphrases on Concrete. Aedificatio Publishers, Freiburg, 2001.

GE Consumer & Industrial

A GE Consumer & Industrial Lighting a világ fényforrási iparának vezető cége munkatársat keres Budapestre.

Szilikátipari mérnök



GE imagination at work

Munkatársunk feladata a műszaki kerámia gyártás kutatása és fejlesztése a keverés, a fröccsöntés és az extrudálás folyamataiban. Irányítja és értékeli a meglévő és új, nagy tisztaságú alumínium-oxid műszaki kerámia termékek fejlesztését, és felügyeli új kerámia égőtestek előállítását.

Elvárásaink között szerepel az anyagtudományok, a szilikátipar vagy a fröccsöntés területén szerzett egyetemi diploma, a műszaki kerámia gyártásának ismerete, project vezetői tapasztalat, és kiváló angolnyelv-tudás.

Előnyt jelent a műszaki kerámia fejlesztésében szerzett tapasztalat vagy PhD fokozat, a kapcsolódó iparágak fejlődésének, trendjeinek ismerete, és Six Sigma képesítés.

Jelentkezni a www.gecareers.com/europe oldalon lehet, 2005. január 14-ig, a pozíció referenciaszáma: **391561**.