

302935



ÉPÍTŐANYAG

A Szilikátipari
Tudományos Egyesület
folyóirata

8

XXXIX. ÉVFOLYAM
BUDAPEST, 1987. AUGUSZTUS
ÉPÍTŐANYAG, 39 (8) 224–256 (1987)

A mész- és cement-,
az üveg-, a finomkerámia-,
a tégl- és cserép-,
a kő-kavics- és a betonipar,
a szigetelőanyagok iparának
tudományos szakirodalmi
folyóirata

Szerkesztőbizottság:

elnöke:

Dr. Talabér József

felelős szerkesztő:

Dr. Székely Ádám

tagjai:

Dr. Balázs György

Dr. Bálint Pál

Dr. Csizi Béla

Dr. Grofcsik Elemér

Iffy László

Dr. Jilek József

Dr. Kacsalova Lídia

Dr. Kertész Pál

Dr. Kovács Róbert

Dr. Kuvári Árpád

Lenkei György

Dr. Mátrai József

Dr. Mihócs Ferenc

Dr. Opoczky Ludmilla

Riesz Lajos

Sápi Lajos

Serédi Béla

Szetmártony Gusztáv

Dr. Tamás Ferenc

Trefil István

Dr. Träger Tamás

Wilwerger Ferenc

TARTALOM

<i>Liptay András</i> : Építési tapasztalatok a pályabetonokhoz használt különleges cementekről	225
<i>Kocsis Géza</i> : Danner-üvegcsőhúzási eljárás optimalizálása	231
<i>Sipiczki János</i> : Üvegcsőhúzás. Irodalmi összefoglaló tanulmány	238
<i>Kertész Pál</i> : A kölni dóm építőkövei – mállási jelenségek és okok	244
<i>Molnár László</i> : Simó József, mai magyar porcelánfestő művész	254
A világ szilikátiparából	253, 256
Egyesületi élet	230

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Липтай, А.</i> : Строительный опыт применения различных цементов при строительстве бетонных дорог	225
<i>Кочис, Г.</i> : Оптимизация метода Даннер вытягивания стекла	231
<i>Шипицкий, Я.</i> : Прочность стекла	238
<i>Кертес, П.</i> : Явления выветривания строительных камней кельнского собора и причины этого	244
<i>Мольнар, Л.</i> : Один из современных венгерских художников по фарфору	254

INHALT

<i>Liptay, András</i> : Bauverfahren mit besonderen Zementen für Strassenbau	225
<i>Kocsis, Géza</i> : Optimierung des Danner-Glasrohrziehen-Verfahrens	231
<i>Sipiczki, János</i> : Glasfestigkeit	238
<i>Kertész, Pál</i> : Die Bausteine des Domes in Köln, Zerfallerscheinungen und derer Ursache	244
<i>Molnár, László</i> : Ein zeitgenössiger ungarischer Porzellankunstmahler	254

CONTENTS

<i>Liptay, András</i> : Experiences with Special Cements used for Runway Concretes	225
<i>Kocsis, Géza</i> : Optimisation of the Danner Glass Drawing Process	231
<i>Sipiczki, János</i> : Glass Strength	238
<i>Kertész, Pál</i> : Building Stones of the Cologne Cathedral – Ageing and Causes	244
<i>Molnár, László</i> : A Hungarian Porcelain Painter Artist	254

Építési tapasztalatok a pályabetonokhoz használt különleges cementekről*

LIPTAY ANDRÁS

Betonútépítő Vállalat, Budapest

1. A betonburkolatok igénybevételei és minőségi követelményei

A pályabetonok a betonszerkezetek között különleges helyet foglalnak el. Ez a különlegesség abból adódik, hogy a betonburkolat síkbeli kiterjedése elég nagy, és ehhez képest a vastagsága kicsi. A burkolat nagy felülete egyúttal azt is jelenti, hogy nem csak a hasznos terhelés hatásai jelentősek, de legalább ilyen nagy igénybevételeket okoznak az időjárásból adódó körülmények is. A hőmérséklet növekedése nyomófeszültségeket ébreszt a betonban. A burkolat nagyszilárdságú betonból készül, így a hőmérséklet növekedéséből származó nyomófeszültségeket károsodás nélkül képes viselni. A húzófeszültségek hatására, melyet a hőmérséklet-csökkenésen kívül a beton zsugorodása is előidézik, feltétlenül repedés jönne létre a pályában, ha azt időben nem választjuk szét kisebb lemezdarabokra, vagyis hézagokkal nem osztanánk meg.

A betonburkolatban a hőmérséklet eloszlása nem egyenletes, a betontábla felszíne nappal jobban felmelegszik, éjszaka erősebben lehül mint a beton alja. A beton felszínének és aljának napi hőmérséklet-ingadozását mutatja be az 1. ábra (1963. 07. 25. mérés) 22 cm burkolat esetében.

Az egyenlőtlen hőmérsékleteloszlás jelentős hajlító feszültséget idéz elő [1].

A magyarországi burkolatok acélbetét nélkül épülnek, így a húzófeszültséget a betonnak kell viselni. Már az 1930-as évek végén kialakultak azok a burkolati táblaméretetek, amelyekben nem keletkeztek nagyobb húzófeszültségek a nagyszilárdságú beton húzási szilárdságánál. Mindenesetre fontos követelménnyé vált a burkolati beton

- nagy húzószilárdsága és
- kis zsugorodása.

Ezekon kívül követelmény a beton kopásállósága is, de erre most nem térek ki, mivel a cement tulajdonsága szempontjából ez a követelmény kevésbé meghatározó.

A betonburkolatokkal — és így azok anyagaival szemben is viszonylag hamar megfogalmazódott a stabilitás igénye. A korai — az évszázad elején épült — burkolatoknál ugyanis néhány esetben előfordult azok gyors tönkremenetele a kötőanyag szétesése, duzzadása, vagy nagymértékű zsugo-

* A XVIII. Szilikátkémiai Ankétion 1986. október 17-én elhangzott előadás.

rodása miatt. Ma ezt a követelményt úgy fogalmazhatjuk meg, hogy a betonburkolat szerkezeti stabilitása a rendkívüli — téli hóolvasztó sózás, savas esők stb. — igénybevételek hatására is megmaradjon.

2. Repedések a korai betonburkolatban

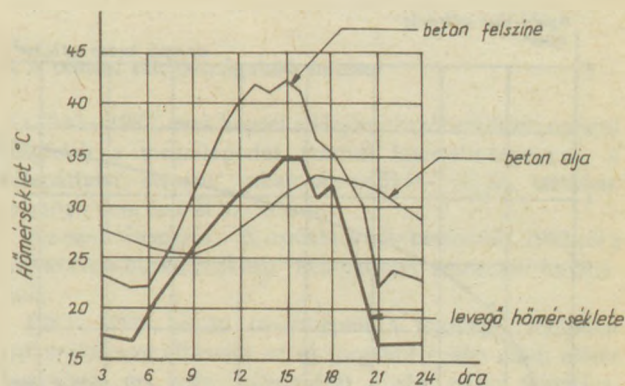
Különleges igénybevételt okoz építés közben az a körülmény, hogy a burkolatot 5—8 m széles sávokban hézagok nélkül építjük és a hézagokat utólag a megszilárdult betonba vágjuk be. A hézagokat általában 6—20 óras kor között lehet bevágni. Ez tehát azt jelenti, hogy eddig a korig, a vastagsághoz képest végtelen hosszúnak tekinthető sávnak repedés nélkül kell a különböző igénybevételekből (zsugorodás, hőmérséklet-változás és egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás) származó feszültségeket elviselni.

A repedésképződési problémakör rendkívül összetett, mert hiszen időben változó hatások érik a pályabetont és annak tulajdonságai is változnak az alapanyagok tulajdonságaitól, az összetételtől és a szilárdulás előrehaladásától függően.

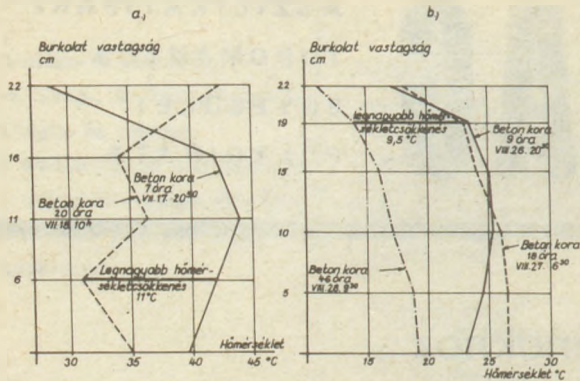
Már 1969-ben vizsgáltuk a betonburkolatban kialakuló hőmérsékleteket és megállapítottuk, hogy a burkolatvastagság mentén a friss betonban a hőmérséklet eloszlása rendkívül egyenlőtlen [2].

A 2. ábra két különböző időben végzett mérést mutat be.

A 2.a ábrán az 1969. július 17-én betonozott burkolatban mért értékek láthatók a beton 7 óras és 20 óras korában. A



1. ábra. Napi hőmérséklet-változás nyáron 22 cm vastag betonban 1963. 07. 25-én



2. ábra. Hőmérséklet változása a betonburkolat különböző rétegeiben
a) 1969. 07. 17. 18-án végzett mérések. b) 1969. 08. 26–30-án végzett mérések

beton kezdeti hőmérséklete 27 °C, a léghőmérsékleti maximum 32 °C, éjszakai minimum 12 °C volt.

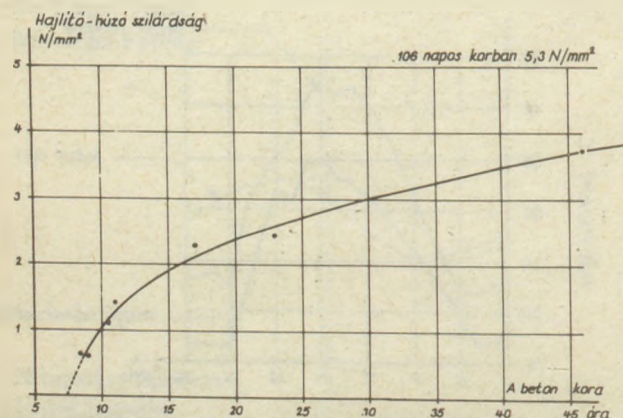
A második alkalommal 1969. augusztus 26-án (2.b ábra) a beton indulási hőmérséklete 18 °C és a léghőmérséklet nappali maximuma is csak 20 °C, az éjszakai minimum pedig 10 °C volt.

Míg az első alkalommal a beton hőmérséklete 44 °C-ig emelkedett az augusztusi mérés során 25,5 °C volt a beton legnagyobb hőmérséklete a korai friss állapotban.

A hőmérséklet eloszlása a betonban egyenlőtlen, a beton közepe a cement hidralációs hőfejlés miatt jobban felmelegedett, a felső felületen, ahol a hőleadás szabadon következett be a beton hőmérséklete alacsonyabb, illetve a külső hőmérsékleti, napsugárzási körülményektől erősebben függött. Megfigyelhetjük azt is, hogy az alacsonyabb indulási hőmérsékleten a beton közepének felmelegedése sem olyan jelentős és ehhez képest csak 45 óras korban alakul ki jóval alacsonyabb hőmérséklet a betonban. (Ekkor a hézagok kivágása azonban már megtörtént.) A melegebb betonban már 20 óras korban 11 °C volt a legnagyobb lehűlés a legmelegebb állapothoz képest.

A beton kezdeti hőmérséklete, a cement kötőhőfejlésének lényeges szerepet játszik a friss beton hőmérsékleti állapotának és így a feszültségeknek a kialakulásában. Kisebb hőfejlésű cement mindenképpen kedvezőbb hőmérséklet-eloszlást idéz elő.

A beton lehűléséből, az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból származó feszültségek számításához tulajdonképpen el kellene dönteni, hogy van-e olyan alapállapot (időpilla-



3. ábra. A hajlító—húzó szilárdság változása a beton korától függően

nat), amikor a betont már kialakult viszonylag merev testnek (elasztó-viszkózusnak) lehet tekinteni.

A 3. ábrán mutatom be az útbeton hajlító-húzó szilárdságának változását. Ebből arra lehet következtetni, hogy 6—7 óras kor előtt (20 °C-on és a kísérleti körülmények mellett) nem alakult még ki a betonban erő felvételére alkalmas szilárdság.

Ugyanezt mutatták a nyomószilárdsági vizsgálatok. A próbatesteket csak 5 óras kor után lehetett eltörni és kezdetben a szilárdság 16 óras korig rohamosan, majd később lassabban nőtt 28 napos korra 40 N/mm²-t, 100 napos korra 50 N/mm²-t ért el.

A kísérletek során a beton feszültségi alakváltozási ábráiból meghatározható volt a rugalmassági modulus és annak időbeli változása is (4. ábra), de azt is meg lehetett állapítani, hogy 24 óras korig a betonnak nagy képlékeny alakváltozása van.

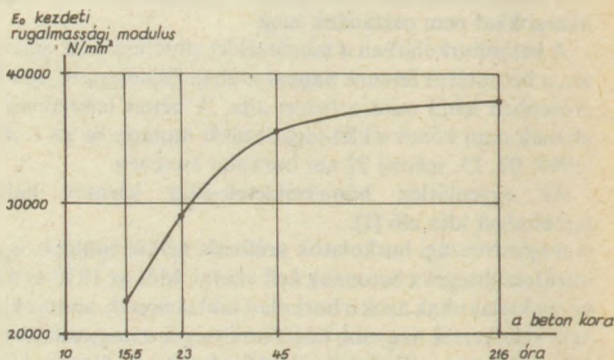
A beton nagy alakváltozó képessége nyilvánvalóan azzal van összefüggésben, hogy a cementben végbemenő kémiai folyamat — a gélből a kristályos szerkezetbe történő átmenet — ebben a korai szakaszban jelentős.

Nehezen lehetne meghatározni, hogy a korai betonban az igénybevétel hatására bekövetkező alakváltozás és ezáltal keltett feszültség az anyagrészek lassú elmozdulásának (kúszásának) következményeként hogyan épül le.

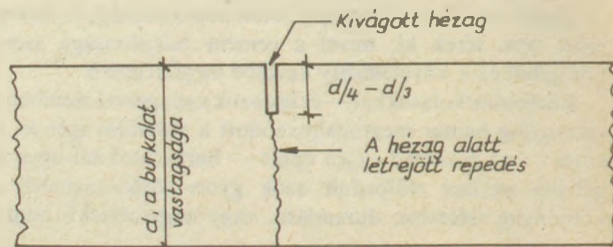
Ha mindettől eltekintենek, akkor a 2. ábra a) esetében a hőmérséklet-csökkenésből 2,5 N/mm² húzófeszültség keletkezik, mivel azonban a beton húzószilárdsága 20 óras korban csak 2,3 N/mm² a burkolat gátolt mozgása esetében az elreped. Kivágott hézagoknál a repedés a hézagrés alatt a kijelölt helyen jön létre (5. ábra), de ha a hézagrés nincs kivágva szabálytalan repedés keletkezik, mely későbbi károk kiindulópontja lehet.

A beton zsugorodása a feszültséget tovább növeli.

A zsugorodásból származó alakváltozásokat és feszültségeket még nehezebb megbecsülni, mert amikor a laboratóriumi-



4. ábra. A kezdeti rugalmassági modulus változása a beton korától függően



5. ábra. A beton átrepedése a hézag alatt

mi körülményekből a helyszíni feltételek figyelembevételével akarunk a zsugorodás mértékére következtetni nagyon sok ismeretlen és időben ugyancsak változó tényező zavarja ezt meg.

Ilyenek a hőmérséklet, a relatív páratartalom, szélerősség stb.

A beton zsugorodása azonban nyilvánvalóan a lehető legkisebb legyen.

3. A betonburkolathoz használt cement minősége

A pályabetonnal kapcsolatos igénybevételek, hatások és az építésből adódó körülmények alapján meg tudjuk fogalmazni azt az igényt, amelyet a betonburkolathoz használt cementnek ki kell elégítenie.

Az igény nem új, az útbetonnal foglalkozó szakemberek már nagyon régen megfogalmazták, hogy az útbetonhoz különleges tulajdonságú cementet kellene használni.

A SZIKKTI [3] és a BME Építőanyagok Tanszéke [4] már az 1960-as évek közepén adott javaslatot ilyen különleges cement összetételére (1. táblázat).

1. táblázat

Útcement összetételi követelménye

Megnevezés	SZIKKTI javaslat	BME Építőanyagok Tanszék javaslat
C ₃ S, %	55—65	50
C ₂ S, %	10—15	
C ₃ A, %	4—8	6—8
C ₄ AF, %	12—20	15
SO ₃ , %	2,5—3,5	3—3,5
Fajlagos felület, m ² /kg	290—350	260—300

Az összetételi javaslatok kisebb mértékben eltérnek ugyan, de mindkét javaslat szerint nagy trikalcium-szilikát (C₃S) és kis trikalcium-aluminát (C₃A) tartalmú jól kiégetett cementre van szükség, melynél az adagolt gipsz mennyiségének döntő jelentősége van. A kutatók (dr. Balázs, dr. Révay) rámutattak, hogy a gipsz mennyisége a cement szilárdságát, zsugorodását, szilárdulási ütemét, hőfejlesztését, de egyéb stabilitási tulajdonságait is lényegesen befolyásolja és Jirku által javasolt optimális gipszadagolást javasolják

$$SO_3\% = 6,8 \times 10^{-5} C_3A\% \times F,$$

ahol „F” a fajlagos felület cm²/g-ban, illetve a nagyobb húzószilárdság elérése érdekében dr. Révay ennél nagyobb értéket javasolt

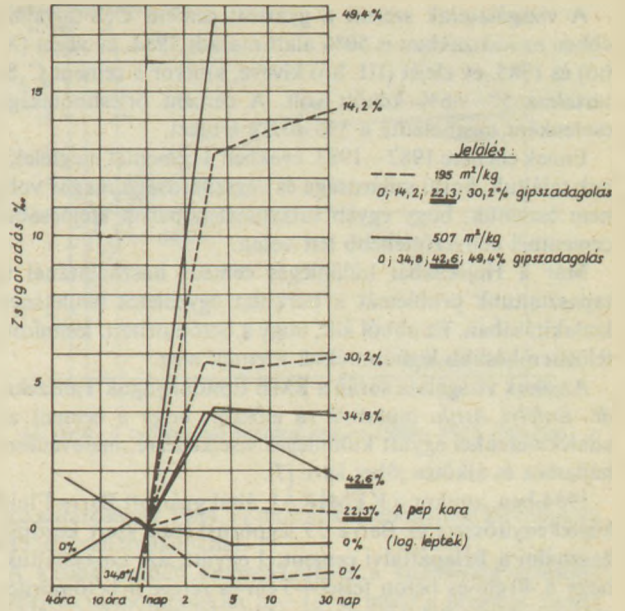
$$SO_3\% = 1,02 \times 10^{-4} C_3A\% \times F.$$

A gipszadagolásnak nem csak a C₃A-ra van hatása, hanem a brownillerit (C₄AF, tetraalkalium-aluminát-ferrit) hidrátjainak tulajdonságait is befolyásolja.

A gipszadagolás hatását a BME Építőanyagok Tanszéke a tiszta klinkerásványok hidrátszerkezetének kutatása során vizsgálta 1971-ben [5].

Ezekből a rendkívül érdekes kutatási eredményekből mutatom be a 195 m²/kg és az 507 m²/kg fajlagos felületre örölt C₃A pépek zsugorodását a Jirku képletéből adódó egyensúlyi és annál nagyobb, illetve kisebb gipszadagolással.

A 6. ábrán jól látható, hogy a gipszadagolás jelentősen



6. ábra. C₃A-pépek zsugorodása

befolyásolja a zsugorodást és az optimális adagolással kapjuk a legkisebb értéket.

A kutatási eredmények egyébként azt is egyértelműen bizonyították, hogy a C₃A péptestek zsugorodása a legnagyobb és a C₄AF pépek zsugorodása is függ a gipsztartalomtól, amely ugyancsak jelentős.

A C₃S péptestek zsugorodása volt a legkisebb.

A Ferihegyi repülőtér új pályarendszerének építése előtt 1978-ban a Betonútépítő Vállalat megállapodott a Cement és Műszervek Hejőcsabai gyárával, majd később a Belpátfalvi Gyárral, hogy a pályabetonokhoz különleges követelményeket is kielégítő 450-es portlandcementet szállítanak.

A megállapodásban rögzített, szabványban előírtakon felüli külön követelményt a 2. táblázat tünteti fel.

2. táblázat

Pályabetonhoz használt 450 pc külön követelményei

Megnevezés	Előírt érték
C ₃ S-tartalom, %	≥ 50
C ₃ A-tartalom, %	≤ 8
Szabad CaO-tartalom, %	≤ 1,5
Fajlagos (Blain-) felület, m ² /kg	≤ 330

4. A cement tulajdonságainak hatásai

Az 1980—1982. évek között a Hejőcsabáról szállított cement megfelelt a megállapodás szerinti követelményeknek, a belpátfalvi cement trikalcium-szilikát- (C₃S) tartalma azonban nem érte el az 50%-ot.

Az eredményekről a [6] irodalom már beszámolt. 1982-től a pályabeton-burkolatokhoz Belpátfalvi cementet használtunk.

1982—1986. között továbbépült a Ferihegyi repülőtér pályarendszere elkészült az új forgalmi épület előtti előtér burkolata, ma már befejeződött a régi pálya felújítása, újraburkolása és néhány katonai repülőtér felújítása is befejeződött.

A vizsgálataink szerint a gyártott cement C_3S -tartalma ebben az időszakban is 50% alatt maradt 1984. év végét (X. hó) és 1985. év elejét (III. hó) kivéve, amikor a cement C_3S -tartalma 52—56% között volt. A cement őrlésfinomsága esetenként meghaladta a $330 \text{ m}^2/\text{kg}$ értéket.

Ennek ellenére 1982—1983. években a cementet megfelelőnek találtuk, korai szilárdsága és végszilárdsága magas volt, nem észleltük, hogy egyéb tulajdonságaiban a Hejőcsabai cementnél kedvezőtlenebb lett volna.

Már a Hejőcsabai különleges cement használatánál is tapasztaltunk problémát a burkolat egyenletes felületének kialakításában. Ez abból állt, hogy a betömörített, lesimított felületen később légbuborékok jelentek meg.

Az okok vizsgálata során a BME Építőanyagok Tanszéke, dr. Erdélyi Attila mutatott rá először, hogy a cement az adalékszerekkel együtt különleges viselkedésre, merevedésre hajlamos és álkötés jöhet létre [7].

1984-ben, amikor a KEMIKÁL által gyártott Barra Fluid képlékenyítőszert és Barra 55 légpórusképző szert kezdtük használni a Bélapátfalvi cementtel együtt, azt tapasztaltuk, hogy a 40 cm-es beton felső 4-5 cm-es rétege a betömörítés után rövid időn belül megmerevedik, míg alatta a beton lágy, képlékeny marad.

A simítógép ezt a megmerevedett réteget az alatta mozgó lágy betonon megmozgatva összetörte és a felületen rövid repedések jöttek létre.

A továbbiakban csak úgy tudtuk a repedéseket elkerülni, hogy a simítógépet közvetlenül a tömörítőgép közelében működtettük a felső kéreg merevedésének elkerülése, illetve a merevedés előtti simítás érdekében.

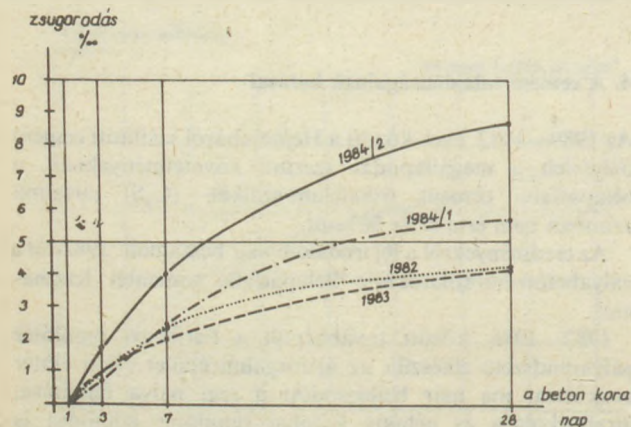
A munkahelyi laboratóriumban sikerült a Vicat készülékkel kimutatni, hogy a cementhez adagolt Barra adalékszeres pépen gyorsabb merevedés jön létre, és ez a merevedés annál intenzívebb, minél kevesebb a péphez adagolt víz.

Repülőtéren, ahol mindig erős szél tapasztalható, a felület, a felső réteg a betömörítés után viszonylag gyorsan szárad és így bekövetkezhet az általunk laboratóriumban is észlelt jelenség.

A cementnél álkötést kimutatni nem lehetett, de az adalékszerekkel elsősorban a Barra Fluid adalékszerrel a cement álkötését a SZIKKTI az ekkor beküldött mintákon kimutatta.

Az álkötést az ASTM C—451 szerint VICAT-készülékkel vizsgálták.

Álkötő a cement, ha a Vicat-mérőrúd behatolása 5 perc múlva nem éri el az első behatolás 50%-át.



7. ábra. Bélapátfalvi 450 pc zsugorodása 1982—1984. években

Az okok vizsgálata során azt is megállapítottuk, hogy némelyik cementszállítmány 70°C hőmérsékletű volt, amikor megérkezett és a felhasználásig a hőmérséklet nem csökkent lényegesen.

A meleg cement a normális kötési folyamatot megzavarta és kétségtelenül okozhatott bedolgozási, felületképzési problémákat.

1984. évben az előzőekben ismertetetteken felüli további problémák is jelentkeztek, melyek ugyancsak összefüggnek a cement tulajdonságaival.

A Bélapátfalvi gyár VIII—IX. hónapban valamilyen ok miatt nem tudott cementet szállítani, ekkor helyette hejőcsabai cementet használtunk. A két gyár cementjének összetétele bár közel azonos, mégis a cementek és így a pályabetonok színe eltérő. Így az egyik repülőterünk négy középső sávja sötétebb színű lett, mint a szélei, a pilótákat az eltérő szín zavarja.

Ennél kellemetlenebb következmény származott abból, hogy a cement zsugorodása 1984. évben az előző évekhez képest növekedett.

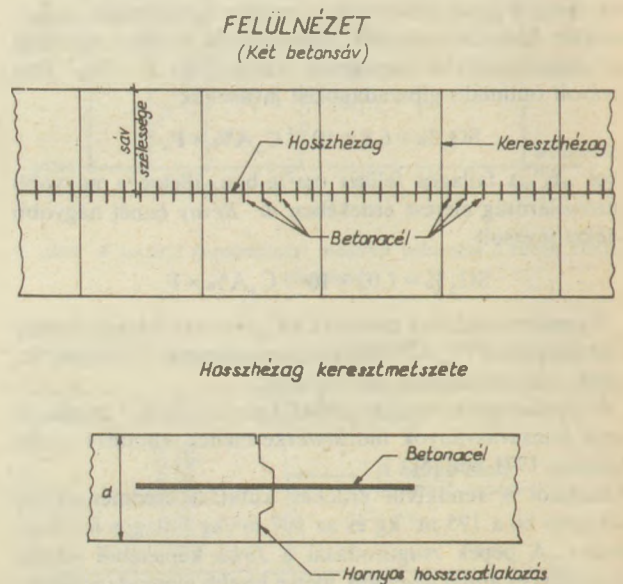
Már az év első felében szállított Bélapátfalvi cement zsugorodása is nagyobb volt, mint 1982—1983. években (7. ábra), de lényegesen megnőtt az év második felében szállított cement zsugorodása. A nagyobb zsugorodást az okozhatta, hogy ebben az évben a vizsgálataink szerint a szállított cement gipszadagolása kisebb volt, mint az előző években. Ugyanakkor azonban a cement ásványi összetétele, őrlésfinomsága lényegében nem változott, sőt a C_3A -tartalom középértéke 5,8%-ról 6% fölé nőtt a vizsgálataink szerint.

A cement nagyobb zsugorodását fokozta az új párazáró utókezelő anyag is, melyet az importból származó ANTISOL anyag helyett ekkor kezdtünk alkalmazni, és ennek száradása lassabb, a párazáró tulajdonsága rosszabb a korábban használt anyagnál.

A szabálytalan repedések, melyek a zsugorodás és hőmérséklet-változás hatására jönnek létre, rendszerint a betonsáv teljes szélességén átérnek.

1984. évben a repedések újabb fajtáját figyeltük meg, melyek az egyik szélről indulva a sáv teljes szélességén nem haladnak végig.

A repedések okát csak később az összes körülmény és anyagtulajdonság ismeretében sikerült tisztázni.



8. ábra. A hosszhézag kialakítása

A repülőtéri fel- és leszállópálya, egymás mellé épített párhuzamos sávokból áll.

A sávok széle hornyos és a két sávot betonacél köti össze azért, hogy a hosszézag az ismétlődő hőmozgások hatására ne tudjon túlzottan megnyilni (8. ábra).

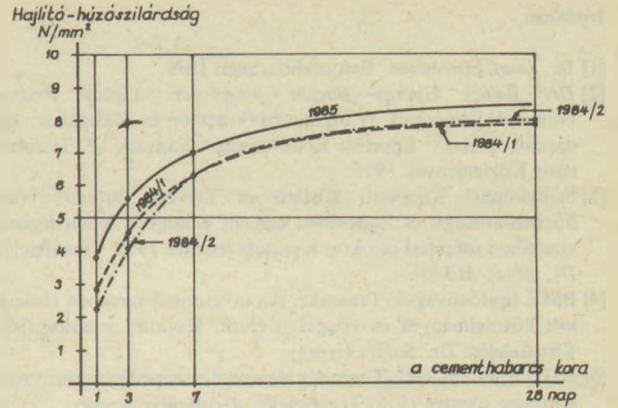
A már szilárd sáv mellé betonozott újabb sáv tehát kezdettől hozzá van kapcsolva a régebben építetthez. Az 1984. év októberében épített 5 m-es pályasáv keresztézagai a cement nagyobb zsugorodása miatt jobban megnyiltak.

A nyitottabb hézagok mindig nagyobb mozgásokat végeznek, mert a nappali felmelegedéskor a hézagrés alatti repedés összezáródik ugyan, de kisebb nyomfeszültséget ébreszt a záródás utáni további hőmérséklet-növekedés. A lehülés éppen ezért nagyobb hézagmegnyílást idéz elő.

1984. október 15—18. között a régebbi sáv mellé betonozott friss betonban keresztrepedések keletkeztek. A repedések képét két jellegzetes szakaszon a 9. ábra mutatja be.

Feltételezhető, hogy a repedések már a hézagok kivágása előtt megjelentek, de még nem észleltük azokat. A repedések keletkezéséhez döntő mértékben hozzájárult az a körülmény is, hogy 1984. évben a cement kezdeti (korai) szilárdsága kisebb volt, mint előtte, vagy utána következő években.

A 10. és 11. ábra tünteti fel az 1984. év első és második felében és az 1985. évben szállított bélépátfalvi cement nyomó- és hajlító-húzó szilárdsági vizsgálati eredményeinek középértékét. Az ábrákon jól megfigyelhető, hogy az 1 napos



11. ábra. A cement húzószilárdsága az 1984—1985. években

korú szilárdságok 1984. év második felében jóval kisebbek az 1985. évi szilárdságoknál.

A kisebb kezdeti szilárdságok és a viszonylag alacsony kezdeti betonhőmérséklet 15—19 °C miatt a hézagok vágási ideje a beton későbbi korára tolódott és még így is a vágókorongok gyorsabb kopása jelentős többletköltséggel járt.

A szakasz betonozását követően nem túl nagy, de tartós lehülés következett be kb. 10 °C hőmérséklet-csökkenéssel.

Ilyen nagyságú hőmérséklet-ingadozás a pályabetonozás során repedésveszélyt általában nem jelent, csak a 20 °C-ot meghaladó hőmérséklet-ingadozások jelentenek fokozottabb repedésveszélyt.

Mégis ez a mintegy 10 °C hőmérséklet-csökkenés, a cement nagyobb zsugorodásával, és egyúttal a mellette lévő vele összekapcsolt sáv nagyobb összehúzó mozgásával, a hézagok vágásának elhúzóásával együtt, 80 db keresztrepedést idézett elő.

Ezek javítása nagy költséget jelentett és a javítás utáni állapot sajnos sohasem teljesen egyenértékű az eredetivel.

5. Összefoglalás

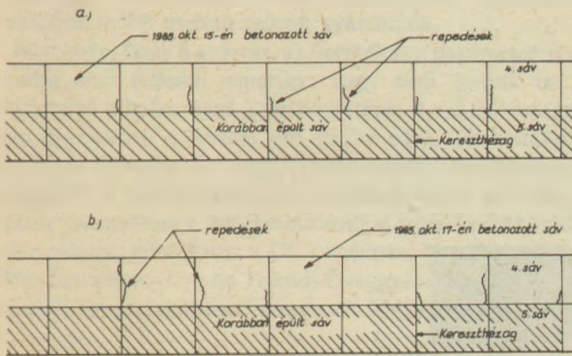
A betonburkolaton a szabálytalan repedések kialakulásának okait vizsgálva azt lehetett megállapítani, hogy sok tényező együttes hatására jönnek azok létre a hézagok bevágása előtt.

Az okok között döntő jelentőségű a beton zsugorodásának mértéke és a hőmérséklet-eloszlás a burkolatban a betonozás és a hézagvágás közötti időszakban.

Ezt a két tényezőt is sok betontechnológiai (keverékösszetétel stb.) építéstechnológiai (utókezelés stb.) és időjárás (hőmérséklet, légnedvesség, szél stb.) körülmény befolyásolja.

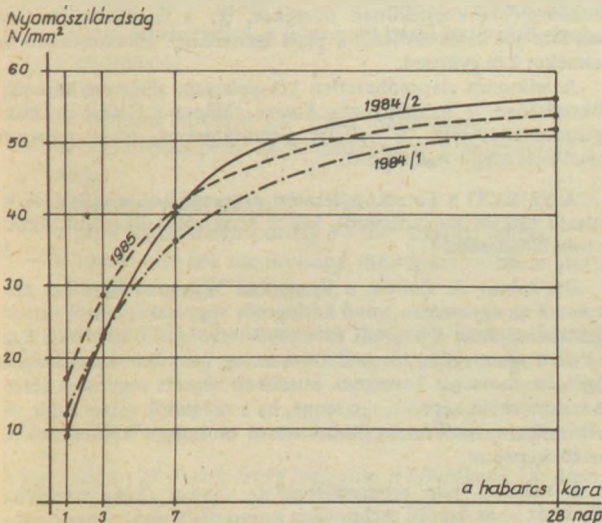
A technológiát előre meg tudjuk tervezni és be tudjuk tartani, az időjárás hatását csökkenteni lehet, de következményeit teljesen kivédeni nem tudjuk. A beton repedésérzékenységét a cement tulajdonsága határozza meg, éppen ezért a betonburkolathoz használt cementnek a szabványban előirtakon felül további követelményeket kell kielégíteni.

A cement összetételének, megfelelő minőségének betartása és ezek egyenletességének biztosítása a jó minőségű betonburkolat építése szempontjából rendkívül fontos, mert a cement tulajdonságainak (szilárdság, zsugorodás stb.) kismértékű változása is szabálytalan repedések kialakulásához vezethet, ha a külső időjárás feltételek kedvezőtlenek.



9. ábra. Helyszínrajz két jellegzetes szakasról

a) 1985. okt. 15-én betonozott sáv repedései, b) 1985. okt. 17-én betonozott sáv repedései



10. ábra. A cement nyomószilárdsága az 1984—1985. években

Irodalom

- [1] *Dr. Josef Eisenmann: Betonfahrbahnen* 1979.
- [2] *Dr. Balázs György—Borján József—dr. Liptay András: Hőmérsékletmérések az útpályaszerkezetben és földműben. Budapesti Műszaki Egyetem Építőanyagok Tanszék 17. Tudományos Közlemények* 1975.
- [3] Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet: Nagy húzószilárdságú és légpórusos cement előállítási lehetőségének vizsgálata útépitési célokra. Kutatási jelentés 1969. Témafelelős: *Dr. Révay Miklós.*
- [4] BME Építőanyagok Tanszéke: Az útbetonnal szemben támasztott követelmények és vizsgálati elvek. Kutatási jelentés 1971. Témafelelős: *Dr. Balázs György.*
- [5] BME Építőanyagok Tanszéke: Az útbeton repedésérzékenysége. Kutatási jelentés 1971. Témafelelős: *Dr. Balázs György.*

- [6] *Gábor András—dr. Képes János—dr. Liptay András—ifj. Nemesdy Ervin—Székelyné Márkus Judit: A Ferihegyi repülőtér új pályabetonja. Mélyépitéstudományi szemle* 1983. június.
- [7] BME Építőanyagok Tanszéke: A Ferihegyi gurulóutak finiseres felületképzési problémái. Kutatási jelentés 1981. Témafelelős: *Dr. Erdélyi Attila.*

Luntau, A.: Строительный опыт применения различных цементов при строительстве бетонных дорог

Liptay, András: Bauerfahrungen mit besonderen Zementen für Strassenbau

Liptay, András: Experiences with Special cements used for Runway Concretes

Egyesületi élet

A Szilikátipari Tudományos Egyesület Finomkerámiai Szakosztálya, hatodik alkalommal rendezte meg, 1987. május 8–9-én Zamárdiban a Finomkerámiai Napokat.

Az iparághoz tartozó vállalatok műszaki vezetői valamint a Szilikátipari Központi Kutató és Tevező Intézet és a Veszprémi Vegyipari Egyetem képviselői kilenc előadásban vázolták az iparág 1990-es évekig várható stratégiáját. Külön érdeme a tanácskozásnak, hogy nemcsak az iparban dolgozó vezető műszakiak mondhatták el terveiket, hanem jól kapcsolódott az előadásokhoz a kutató- és az oktatómunka várható alakulása is. Az együtt gondolkodás – az elmélet, a tudományos kutatás és a gyakorlati munka – mindenkinek sokat nyújtott a tanácskozáson.

Bevezetőnek, vitaindítóknak is minősíthetnénk *Hertelendi Csaba* – Alföldi Porcelángyár – előadását. Vállalata helyét, szerepét elemezve vázolta a távlati terveiket, céljaikat. A versenyképességük fokozása itthon és külföldön, többek között azon is múlik, hogyan tesznek eleget a szelektív fejlesztésnek, tudják-e javítani innovációs készségeiket és a műszaki-fejlesztési feladataik mellett képesek lesznek-e az irányításban, a szervezésben lépést tartani a növekvő követelményekkel.

A piachoz való gyors alkalmazkodást példázta *dr. Jllek József*, a Herendi Porcelángyár műszaki igazgatója is. Jelenleg 30 országba exportálnak és ezt bővíteni akarják, úgy, hogy a hagyományos termékeik mellett bevonják a megrendelőt a tervezésbe, megkérdezik, mit vásárolna tőlük a legszívesebben

Az értékesítés gondjairól szolt *Nagy László*, a Budapesti Porcelángyár műszaki igazgatója is. Szelektálniuk kell, kivonni a termelésből a korszerűtlen terméket, így a fajanszsanitert és helyette jól értékesíthető, a piaci igényekhez alkalmazkodó új terméket kell gyártani.

A fejlesztés elengedhetetlen követelmény a versenyképesség fokozásában – hangsúlyozta *Karacs Gábor*, a Gránit műszaki igazgató-helyettese. A vállalat bemutatásával, majd terveivel ismertette meg a hallgatókat.

A SZIKKTI a kutatás-fejlesztési programjáról, a vállalatok és kutató intézet kapcsolatáról, közös terveiről hallhattunk *Agócs István* előadásában.

Dr. Juhász A. Zoltán, a Veszprémi Vegyipari Egyetem professzora az egyetemen folyó kétféle képzésről tartott tájékoztatójában a jelenről és a jövő terveiről informálta a kolokvium résztvevőit, hangsúlyozva az együttműködés szükségességét, hasznosságát. Terveznek korábban végzett vegyészek részére szakmérnöki képzést, s jó lenne, ha a vállalatok minél több, jól felkészült, vezetői utánpótlásra szánt mérnököt küldenének el továbbképzésre.

A második nap programjában *dr. Farkas Ödön* vitaindító előadását – az égetési technológia korszerűsítéséről – nemcsak a felkért előadók egészítették ki tapasztalataikkal, hanem igen élénk vita is követte azt.

Danner-üvegcsőhúzási eljárás optimalizálása

KOCSIS GÉZA

Veszprémi Vegyipari Egyetem

1. Bevezetés

Edward Danner 1917-ben szabadalmazott üvegcső és rúd húzási eljárását kisebb nagyobb módosításokkal az üvegyiparban ma is használják. A Danner-eljárás lényege, hogy a kádkemencéből az olvadékat fűtött adagolócsatornán, illetve vályún (feederen) át, szabályozva egy kerámiából készült forgópipára folytatjuk (1. ábra). A fűtött karmantyúvázbán kifolyó olvadékszalag gyűrűszerű felcsavarodása fokozatosan kisimuló olvadékköpenyre alakul a forgópipán. Az olvadékköpenyt vízszintes tengely irányban húzza — a húzási sebességtől és a levegő befúvás intenzitásától függően különböző falvastagságú és átmérőjű cső gyártható. A pipáról a cső vízszintes húzópályára kerül, ahol egyben temperálódik is. A cső ovalitását a belső nyomás és a pipa optimális fordulatszáma biztosítja. A Danner-eljárás előnye, a cső termékfeleségek gyártásának rugalmassága, hogy egy kemencéből több húzópályával egyszerre a legkülönbözőbb méretű csövek gyárthatók.

Hátránya, hogy a gyártás, az üzemeltetés paramétereit még mindig nem teljesen ismerjük, vagy nem tartjuk be, így különböző hibaforrások keletkezhetnek, a cső falvastagsága nem egyenletes, a húzott cső görbe lehet, de huzalosság, légszalak fellépése és üvegolvadék-köpeny leszakadása is felléphet. A hibalehetőségek kiküszöbölésére az üvegcső-eljárás paramétereit, az optimalizálást írjuk le cikkünkben.

Az előadás elhangzott a IX. Üvegyipari Napokon, Tokod, 1986. Tanulmányomat a Tokodi Üveggyárnak ajánlom, ahol műszaki tapasztalataimat szereztem 1947—től 1951-ig.

2. A Danner-eljárás legfontosabb paramétereit

- Az üveg viszkozitása (2. ábra), amely függ az olvadék anyagi minőségétől, a hőmérséklettől és kisebb részben a nyomástól,
- az olvadék sűrűsége,
- az olvadék kifolyás „h” esési magassága,
- az olvadékköpeny (karmantyúház) hőmérséklete (1. ábra),
- a pipa fordulatszáma,
- a pipa hajlásszöge (amely 9—14° közötti lehet),
- a húzott olvadék mennyisége, amit ipari szóhasználatnál „húzó tömegnek” neveznek,

A paraméterek felhasználására mélyebb ismeretekre van szükség. Ezeket a következő fejezetben adjuk meg.

2.1. A lejtőn (a pipára) áramló üvegolvadék sebessége

A lejtő síkján az olvadt üveg mozgása a következő (3. ábra):

$$\tau(x) = \frac{dv}{dx} \cdot \eta, \quad (1)$$

ahol:

$\tau(x)$ — az olvadék adott mélységű síkjában ébredő csúsztató feszültség ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2} = \text{Pa}$),

η — az olvadék viszkozitása ($\text{Pa} \cdot \text{s}$), amely adott összetételű és hőmérsékletű,

v — az áramló olvadék sebessége ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),

x — az olvadékrétegek közötti távolság (m).

A szabad felszíntől x távolságban fellépő csúsztatóerő (vagy nyiróerő) F (N):

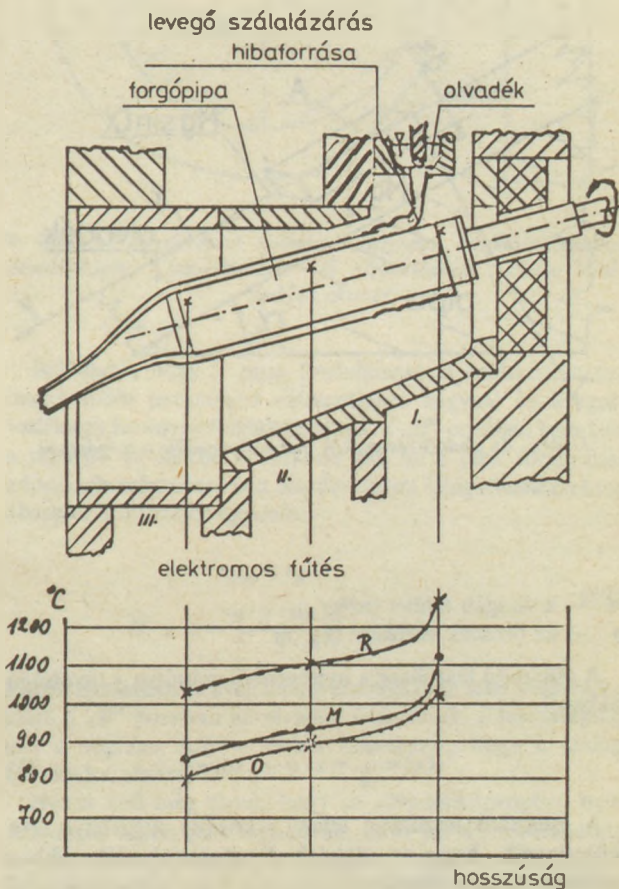
$$F = M \cdot g \cdot \sin \alpha = A \cdot x \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

ahol:

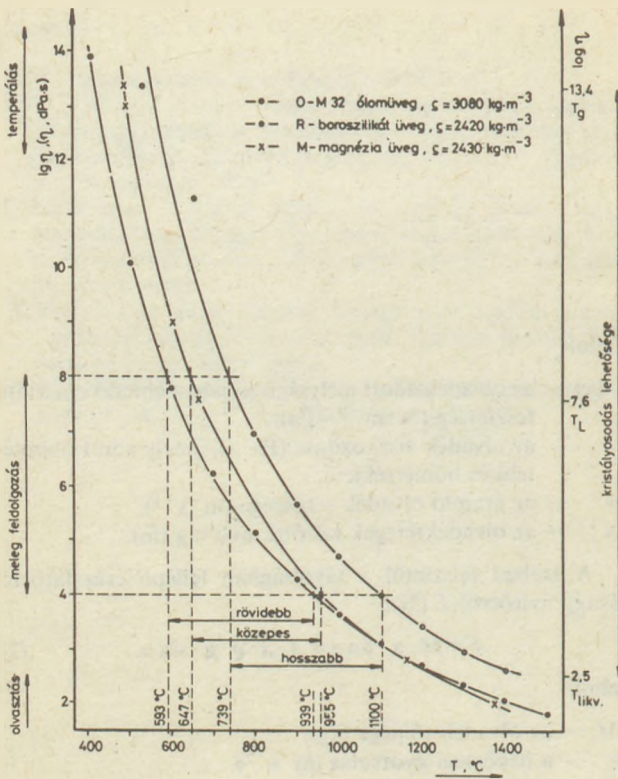
M — az olvadék tömege (kg),

g — a nehézségi gyorsulás ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$),

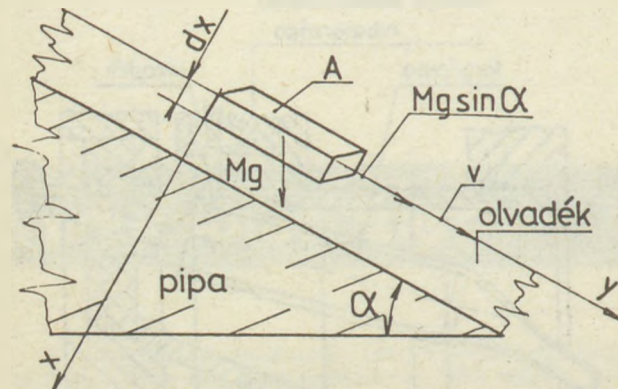
α — a lejtő dőlésszöge,



1. ábra. A Danner-üvegcsőhúzási eljárás fűtött karmantyúháza, a forgópipán lévő olvadékköpeny hőmérséklet-eloszlás görbéi, külön az R rezisztens-, a magnézia- és ólomüvegfeleségekre



2. ábra. Az ólom-, az R rezisztens (boro-szilikát) és magnéziaüvegek viszkozitás- és hőmérsékletfüggése, valamint azok fontosabb jellemzői



3. ábra. Az olvadékrészecskék mozgási modellje a forgópipán

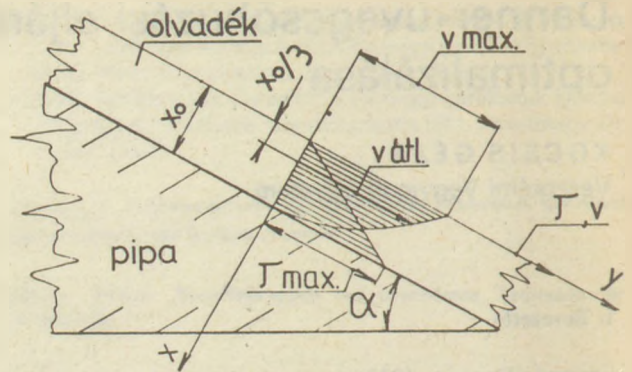
A — a vizsgált felület (m^2),
 ρ — az olvadék sűrűsége ($kg \cdot m^{-3}$).

A csúszató feszültség a nyíróerőből számítva x távolságú síkban:

$$\tau(x) = \frac{F}{A} = x \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

A csúszató feszültség tehát x lineáris függvénye. Ha feltételezzük, hogy az olvadék Newtoni-folyadék, akkor súrlódási képlete alapján:

$$\tau(x) = \eta \cdot \frac{dv}{dx} = x \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (4)$$



4. ábra. Az olvadékaramlás sebességének modellje a forgópipán

átrendezve a sebességre és megoldva:

$$\int_0^v dv(x) = \int_0^x \frac{x \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{\eta} \cdot dx \quad (5)$$

$$v(x) = -\frac{x^2 \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \eta} - c \quad (6)$$

Az egyenlet megoldása az üvegáramlás sebességét adja meg x függvényében. Az olvadék vastagsága x_0 -lal jelölve (4. ábra):

$$\tau_{\max} = x_0 \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Az egyenlet peremfeltételei a „c” konstans kiszámításához:

$$\text{A felületen } \tau = 0, \text{ ebből következik, hogy } \frac{dv}{dx} = 0.$$

A lejtő síkjával érintkező rétegben a sebesség nullával egyenlő ($v = 0$).

$$v(x) = -\frac{x_0^2 \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \eta} - c = 0 \quad (7)$$

$$c = -\frac{x_0^2 \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \eta} \quad (8)$$

„c” értékét tehát megkaptuk. Visszaírva az eredeti (6) egyenletbe majd összevonva kapjuk:

$$v(x) = \frac{\rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \eta} (x_0^2 - x^2) \quad (9)$$

A felszínen kialakuló sebességmaximum így:

$$v_{\max} = \frac{\rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \eta} \cdot x_0^2 \quad (10)$$

Az olvadéktömeg mozgására jellemző átlagsebesség (4. ábra szerint).

$$v_{\text{átl.}} = \frac{2 \int_0^{x_0} v_{\max} dx_0}{x_0} = \frac{2 \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{3 \cdot 2 \cdot \eta \cdot x_0} \cdot x_0^3 = \frac{\rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{3 \cdot \eta} \cdot x_0^2 \quad (11)$$

2.2. Az olvadékköpeny áramlási viszonyai a Danner-pipán

A pipán lévő olvadék hossztengety irányú mozgását, első közelítésben, a lejtő síkján lefelé mozgó üvegolvadékok leíró egyenletek adják meg.

Vizsgáljuk meg az 5. ábra szerint, a tetszőleges fordulatszámú forgó pipán, a kereszttengetely irányában a ráfolyás helyén, az első gyűrűnél hogyan alakul ki az olvadékköpeny. A pipa kerületi sebessége:

$$v_{\text{pipa}} = D \cdot \pi \cdot n, \quad (12)$$

ahol:

D — a pipa átmérője (m),

n — a pipa fordulatszáma (s^{-1}).

A pipán áramló olvadékköpeny keresztirányú mozgását az 5. ábra szemlélteti. Az ábrából láthatóan a forgó pipa bármely kerületi pontjára meghatározható a megfelelően választott elemi olvadék köpenyrész (dl) sebessége. Az egymástól differenciálisan kis távolságra lévő 1. és 2. pontok közötti távolság egyenesnek vehető, így az e pontok között áramló olvadékréteg sebességének meghatározásához felhasználhatóak az előbbieken levezetett, a lejtő síkján lefelé mozgó üvegolvadék átlagsebességét leíró egyenlet:

$$V_{12} = v_{\text{pipa}} + v_{12} = D \cdot \pi \cdot n + \frac{\rho \cdot g \cdot \sin \alpha_{12}}{3 \cdot \eta} \cdot x_{12}^2 \quad (13)$$

$$V_A = v_{\text{pipa}} + v_A = D \cdot \pi \cdot n + \frac{\rho \cdot g \cdot \sin 90^\circ}{3 \cdot \eta} \cdot x_A^2 \quad (14)$$

$$V_B = v_{\text{pipa}} - v_B = D \cdot \pi \cdot n - \frac{\rho \cdot g \cdot \sin 90^\circ}{3 \cdot \eta} \cdot x_B^2 \quad (15)$$

$$V_C = v_{\text{pipa}} + v_C = D \cdot \pi \cdot n + \frac{\rho \cdot g \cdot \sin 0^\circ}{3 \cdot \eta} \cdot x_C^2 = D \cdot \pi \cdot n \quad (16)$$

A továbbiakban a pipán lévő olvadék sebességviszonyait a jellemző pontokban (A , B , C) vizsgáljuk. A fentiekből kitűnik, hogy az áramló üveg sebességének maximuma az „ A ” pontban, minimuma a „ B ” pontban lesz (6. ábra).

2.3. A pipafordulatszám vizsgálata és a leszakadás jelensége

A pipafordulatszámot az előző esetben tetszőlegesnek vettük, de alsó értékének határt szab az olvadékszalag leszakadásának jelensége, ami ugyan az üzemi gyakorlatban igen ritkán előforduló hiba, mivel a gyakorlatnak és tapasztalatnak megfelelően a pipafordulatszám meghatározott értékek között változtatják, de vizsgálódásunkban nem kerülhettük ki ennek tanulmányozását.

A megfelelő átmérőre (szélességre) (d) választott, vizsgált olvadékszalagban a kontinuitás törvényét figyelembe véve, a kitézött pontokon (A ; B) a maximum és minimum alakulása a sebességekkel ellentétben pont fordítva lesz az olvadékréteg-vastagság esetében. A fellépő torzulás közelítő ábrázolása a 6. ábrán látható.

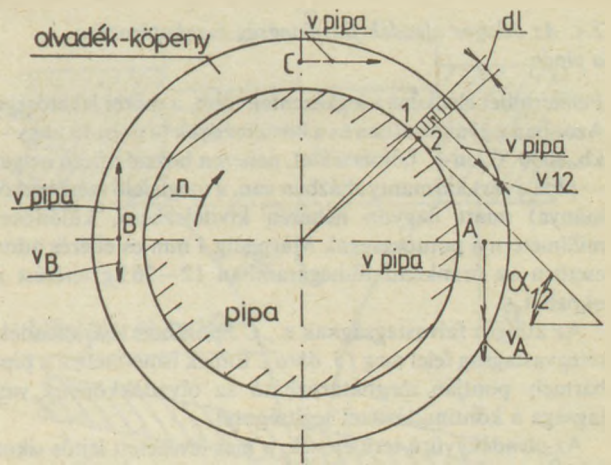
A kontinuitás törvényéből következik, hogy a pipa bármely pontjához húzott érintőre merőleges felületen a (t) időegység alatt átáramló olvadékmennyiség állandó, így:

$$x_A \cdot v_A \cdot d \cdot t = x_B \cdot v_B \cdot d \cdot t = x_C \cdot v_C \cdot d \cdot t = x_{12} \cdot v_{12} \cdot d \cdot t \quad (17)$$

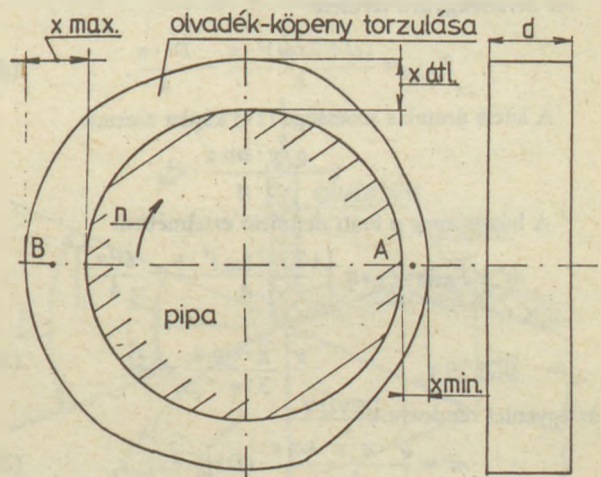
A tetszőlegesen felvett szalagszélességgel és idővel való egyszerűsítés után:

$$x_A \cdot v_A = x_B \cdot v_B = x_C \cdot v_C \equiv x_{12} \cdot v_{12} = x_n \cdot v_n \quad (18)$$

A torzulás mértéke tehát függ a pipa fordulatszámától, az olvadékréteg vastagságától és az olvadék viszkozitásától.



5. ábra. Az olvadékköpeny és a forgópipa keresztmetszetének ábrázolása az olvadékaramlás sebességének meghatározására



6. ábra. A pipafordulat számának helytelen meghatározása az olvadékköpeny „karcsúsodását” és „feltorlódását”, illetve leszakadását okozza

Belátható, hogy a pipa fordulatszámát csökkentve (az összes többi paramétert változtatlanul hagyva) az üvegolvadék egy bizonyos fordulatszámánál a „ B ” pontban leszakad a pipáról. Ez akkor következik be, ha a pipa forgásából adódó sebességvektor és a már levezetett átlagsebességvektor abszolút értelemben egyenlő:

$$v_{\text{pipa}} = v_B \quad (19)$$

$$D \cdot \pi \cdot n = \frac{\rho \cdot g \cdot \sin 90^\circ}{3 \cdot \eta} \cdot x_B^2$$

Ebben az esetben az üveg felfelé áramlásának sebessége nulla, ezért a „ B ” pontban az olvadék feltorlódik, a falvastagság tart a végtelen felé — ebből következik, hogy a szalag leszakad a pipáról.

Hozzá kell még tenni, hogy az olvadékköpenyben nem lépnek fel olyan erős torzulások, mint azt a szemléletesség kedvéért a 6. ábrán feltüntetettük, mert a karmantyú hőmérsékletét és ezzel a viszkozitást, továbbá a fordulatszámot úgy állítják be, hogy az inkább az 5. ábrán megrajzolt ideális állapothoz hasonlít. Ezért gyakorlatilag az x_{max} és x_{min} között nincs lényeges különbség.

2.4. Az átlagos olvadék-falvastagság meghatározása a pipán

Felmerülhet elsőként a legkézenfekvőbb, a mérés lehetősége. Azonban a gyakorlatban ez a körülmények (a nagyon nagy — kb. 1000 °C-on — hőmérséklet, nehezen hozzáférhető helyek — pipa a zárt karmantyúházban van, a megfelelő mérőeszköz hiánya) miatt nagyon nehezen kivitelezhető, különösen milliméternyi pontossággal. Márpedig 1 mm-es eltérés adott esetben az óránkénti tömegáramban 12—26 kg eltérést is okozhat.

Az átlagos falvastagságnak a „C” pontban lévő olvadék-rétegvastagság felel meg (5. ábra). Ennek ismeretében a pipa bármely pontján meghatározható az olvadékköpeny vastagsága a kontinuitástétel segítségével.

Az olvadékgyűrű területének, a már levezetett lejtős sikon lefelé áramló üveg sebességének (vagyis az olvadékköpeny hosszstengely irányában történő mozgásának sebessége) és a sűrűség sorozata a tömegáramot, ipari szóhasználatnál húzó tömeget m° ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) adja.

Az olvadékgyűrű területe:

$$T_{\text{gyűrű}} = \frac{(D + 2x_{\text{át}})^2 \cdot \pi}{4} - \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \quad (20)$$

A lefelé áramlás sebessége (11) képlet szerint:

$$v = \frac{\rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{3 \cdot \eta} \cdot x_{\text{át}}^2$$

A húzó tömeg a fenti definíció értelmében:

$$m^{\circ} = T_{\text{gyűrű}} \cdot \rho \cdot v = \left[\frac{(D + 2x_{\text{át}})^2 \cdot \pi}{4} - \frac{D^2 \pi}{4} \right] \cdot \frac{\rho^2 \cdot g \cdot \sin \alpha}{3 \cdot \eta} \cdot x_{\text{át}}^2 \quad (21)$$

az egyenlet rendezve:

$$m^{\circ} = \frac{\rho^2 \cdot g \cdot \pi \cdot \sin \alpha}{3 \cdot \eta} \cdot (Dx_{\text{át}}^3 + x_{\text{át}}^4) \quad (22)$$

Az egyenletbe a sűrűségek, viszkozitások, dőlésszögek és húzó tömegek behelyettesítésével a megfelelő kombinációjukkal az átlagos falvastagságot megkapjuk. A (22) egyenletet közelítő gyökkereséses algoritmussal oldjuk meg, személyi számítógép segítségével.

2.5. A minimális pipafordulat meghatározása

Az átlagos üvegfalvastagság ($x_{\text{át}}$) ismeretében a kontinuitástétel értelmében a tetszőlegesen felvett fordulatszámok mellett a pipa bármely pontjában lévő üvegréteg vastagsága meghatározható (8) egyenlettel:

$$x_A \cdot v'_A = x_B \cdot v'_B = x_C \cdot v'_C = \dots = x_n \cdot v'_n$$

$$x_B \cdot v'_B = x_C \cdot v'_C$$

$$x_C = x_{\text{át}}$$

$$v'_C = v_{\text{pipa}} = D \cdot \pi \cdot n$$

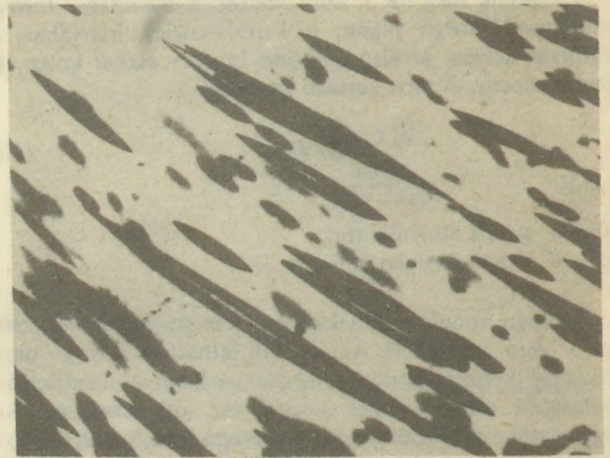
$$x_B = x_{\text{max}}$$

$$x_A = x_{\text{min}}$$

$$x_{\text{át}} \cdot v_{\text{pipa}} = x_{\text{max}} \cdot v'_B$$

a „B” pontbeli sebesség az előzőekben levezetettek (15) szerint:

$$v'_B = D \cdot \pi \cdot n - \frac{\rho \cdot g}{3 \cdot \eta} \cdot x_B^2$$



1. kép. A Danner-féle üvegcsőhúzásnál fellépő hibaforrás a „leghszálalázás” jelensége

behelyettesítve a (18) egyenletbe:

$$x_{\text{át}} \cdot D \cdot \pi \cdot n = x_{\text{max}} \cdot \left(D \cdot \pi \cdot n - \frac{\rho \cdot g}{3 \cdot \eta} \cdot x_{\text{max}}^2 \right) = D \cdot \pi \cdot n \cdot x_{\text{max}} - \frac{\rho \cdot g}{3 \cdot \eta} \cdot x_{\text{max}}^3 \quad (23)$$

A fenti egyenletből ismeretlen a pipafordulat (n) és az olvadékköpeny maximális vastagsága (x_{max}). Az egyenlet gyakorlati megoldása úgy történik, hogy „ n ” helyébe növekvő sorrendben konkrét értékeket helyettesítve eljutunk olyan fordulatszámhoz, ahol x_{max} -nak valós pozitív értéke lesz. Ez a fordulatszám a pipán — adott paraméterek mellett — a megengedhető legkisebb fordulatszámot adja.

2.6. A maximálisan alkalmazható pipafordulat

Az első megközelítésben úgy tűnik, a pipafordulat gyorsításával a leszakadás veszélye csökken és csökken a pipán áramló üvegolvadék falvastagságának maximuma és minimuma közötti különbség is.

Tehát a különbség tart a nullához és így a gyártott üveg falvastagsága egyenletesebb lesz. Azonban a pipafordulatszám növelésének határt szab a léghszálal felépése (1. kép, 1. ábra).

A függőlegesen lecső olvadékszalagot a forgó pipa elkapja, erőhatást fejt ki rá. A viszkózus függőleges olvadékszalag vége meghajlik és iv mentén folytatja útját a pipára érkezés érintkezési pontjához (7. és 8. ábra).

A léghszálalázás az „L” pontban következik be abban az esetben, ha a pipa „L”-vel jelölt pontjához húzott érintő és az eredő sebessége ($v_{\text{eredő}}$) irányában húzott egyenes által bezárt szög (β) kisebb 45°-nál.

A megadott 45°-os szögnagyságot, mint határértéket az üzemi tapasztalatok igazolják. Ha a β kisebb ettől a húzott üvegcső léghszála lesz.

A β szöveget a 8. ábra szerint egyrészt a pipa „L” pontjához húzott érintő határozza meg. Ha a jelölt pont távolabb van a pipa szimmetriatengelyétől (tehát az olvadékszalag ráfolyatása), akkor a β szög értéke nő, így csökken a léghszálalázás veszélye, de a pipa szimmetriatengelyének és a szalagráfolyás helyének távolsága sem növelhető bizonyos határon túl a ráfolyó olvadékszalag megcsúszásának veszélye miatt.

Ha a szalag megcsúszik, akkor az üvegcső átmérője fog ingadozni a cső hosszstengelyének függvényében.

Az eltolás biztonságos maximális értéke — üzemi tapasztalat —, ahol még nem jelentkezik a megcsúszás, a pipa átmérőjének egyhatoda.

β szög nagyságát másodszer az eredő sebesség iránya, annak vízszintessel bezárt szöge (ϵ) határozza meg. Az eredő sebességének két összetevője van, az egyik a pipa kerületi sebessége, a másik a leeső olvadákszalg végsebessége.

Nézzük először a kerületi sebességet. A (12) képlet szerint a pipa kerületi sebessége:

$$v_{\text{pipa}} = D \cdot \pi \cdot n.$$

A pipa kerületi sebességvektorának csökkentésével az eredő sebességvektor vízszintessel bezárt szöge (ϵ) növekszik — ebből következik, hogy a β szög értéke is nő. Tehát ezt a pipa fordulatszámának csökkentésével értük el.

Lássuk most a leeső olvadákszalg végsebességének ($v_{\text{üveg}}$) alakulását. Meghatározása összetettebb. Egyrészt megszabja az a sebesség, amivel az üvegolvadék a vályúval érintkezéskor halad, másrészt a vályú és a beállított pipahengertest közötti távolság, ahol az üvegszalag megközelítőleg szabadeséssel esik.

Az első esetben az olvadék sebessége mindaddig állandó, míg a vályúval érintkezik, így mozgásának leírására a már ismertetett (11) egyenlet alkalmazható:

$$v_{\text{átl.}} = \frac{\rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{3 \cdot \eta} \cdot x_{\text{átl.}}^2.$$

A művelet elvégzéséhez ismerni kell a függőleges vályúfal mentén (adott húzóterhelés és viszkozitás mellett) a lecsurgó olvadékréteg vastagságát (x_0). A vályúmedence szélessége szabványosított ($b = 6,5 \text{ cm}$). A vályúfal mentén lecsurgó olvadék keresztmetszetét a következőképpen kapjuk:

$$A_0 = x_0 \cdot b.$$

A keresztmetszet, a fal mentén lecsurgó üveg átlagos sebessége és a sűrűség szorzata a tömegáramot, vagyis a húzóterhelést adja.

$$m^\circ = A_0 \cdot v_{\text{átl.}} \cdot \rho = x_0 \cdot b \cdot \frac{\pi \cdot g \cdot \sin 90^\circ}{3 \cdot \eta} \cdot x_{\text{átl.}}^2 \cdot \rho. \quad (24)$$

Válasszuk úgy x_0 -t, hogy $x_0 \approx x_{\text{átl.}}$ és rendezzük:

$$m^\circ = \frac{\rho^2 \cdot g \cdot b}{3 \cdot \eta} \cdot x_0^3. \quad (25)$$

x_0 -t kifejezve:

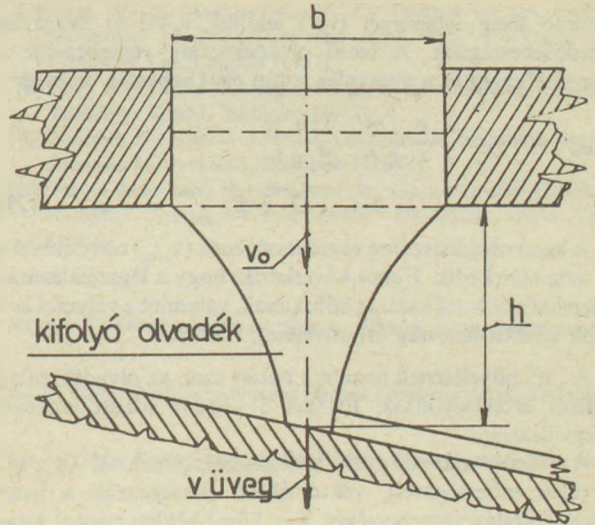
$$x_0 = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \eta \cdot m^\circ}{b \cdot g \cdot \rho^2}}. \quad (26)$$

A már ismertetett értékek behelyettesítésével x_0 meghatározható, x_0 ismerete $v_{\text{átl.}}$ kiszámításához szükséges. A $v_{\text{átl.}}$ ebben az esetben így:

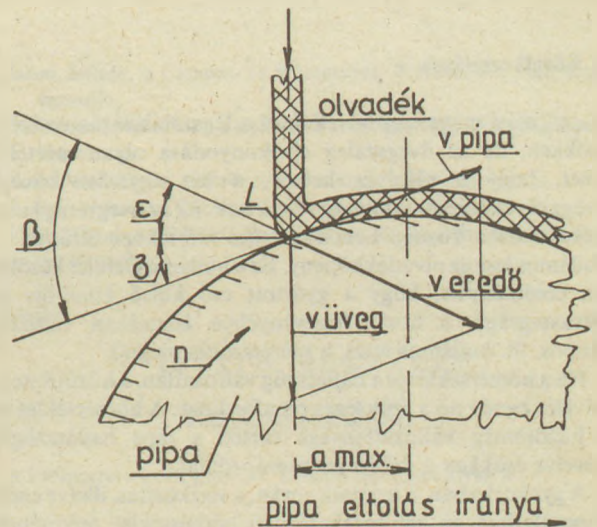
$$v_{\text{átl.}} = \frac{\rho \cdot g}{3 \cdot \eta} \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{3 \cdot \eta \cdot m^\circ}{b \cdot g \cdot \rho^2}} \right)^2 = \frac{\rho \cdot g}{3 \cdot \eta} \cdot \left(\frac{m^\circ}{b \cdot \rho^2 \cdot g} \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (27)$$

Vizsgáljuk most a vályú és a beállított pipahengertest közötti sebesség alakulását (7. és 8. ábra).

A vályúfalat elhagyó szalg gyorsulni kezd, ennek következtében „karcúsodik”, kontrakció lép fel (7. ábra). A gyorsulás végsebessége (v_e) az üveg viszkozitása miatt nem lesz egyenlő a szabadesés végsebességével, ezért be kell vezetni egy arányossági tényezőt (α_0):



7. ábra. Az olvadék kifolyása a feederből (vályúból) és a forgópipa helytelen beállítása hibát okoz



8. ábra. Az olvadék ráfolyása és annak elkapásának jelensége a forgópipán, ha az helytelen „légszálalázás”-hibát okoz

$$v_e = \alpha_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (28)$$

ahol:

g — a már megadott gravitációs gyorsulás ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
 h — az esés magassága (m).

Az „ α_0 ” arányossági tényezőt kísérletezéssel, nagyszámú mérésel tudjuk meghatározni úgy, hogy a „ g ”-t és „ h ”-t ismerve mérjük a szemmel jól látható pontszerű üveghibák, csomók esésének idejét. Az is belátható, hogy az „ α_0 ” értéke az üveg viszkozitásával fordítottan arányos. Minél kevésbé viszkozus (tehát nagyobb hőmérsékletű, folyékonyabb), annál jobban nyúlik ugyanazon erőhatásra. Az „ α_0 ” értéke természetesen csak egy adott hőmérséklet-tartományban állandó a gyártott üvegfajtáknál.

Ezek után már meghatározhatjuk a leeső olvadákszalg végsebességét. Végezzünk el, még egy módosítást a tisztán láthatás kedvéért. Az előbbieken kifejezett vályúfal mellett

áramló üveg sebességét (v_{atl}) jelöljük v_0 -lal és nevezzük kezdősebességnek. A leeső olvadékszalag végsebessége a kezdősebesség és a gyorsulás során elért sebesség összege:

$$v_{\text{üveg}} = v_0 + v_g = \frac{\rho \cdot g}{3 \cdot \eta} \cdot \left(\frac{m^2}{b} - \frac{3 \cdot \eta}{\rho^2 \cdot g} \right)^2 + \alpha_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (29)$$

A leeső olvadékszalag végsebességének ($v_{\text{üveg}}$) növelésével a β szög növekedik. Ebből következik, hogy a légszálalázás ellen hat az olvadékszalag hőfokának, valamint a vályúfal és a pipa közötti távolság (h) növelése (7. ábra).

A „ h ” növelésének azonban határt szab az olvadékszalag túlzott elvékonyodása. Értékét 5–10 cm között érdemes megválasztani.

A másik, már tárgyalt sebességkomponenssel (a pipa kerületi sebességével), vektoriálisan összegezzük a leeső olvadékszalag végsebességét. Egy hőmérsékleti pontot kiragadva grafikusán megszerkeszthetjük a kiadódó sebességeket ($a_{\text{max}} = 2,9$ cm). A β szöget felmérve és az egyenest behúzával kialakulnak azok a sebességpárosítások, amelyeknél az üveg légszálás lesz, és azok is, amelyeknél nem (9. ábra).

3. Következtetések

A „ h ” esési magasság növelésével a légszálalázás veszélye csökken, de az üvegszalag elvékonyodása olyan mértékű lehet, hogy a ráfolyás helyén, a két egymást követő üvegyűrű között kis hézag keletkezik. Ez az üvegréteg lassú előrecsúszása közben nem fog teljes mértékben eltűnni — hullámos lesz az olvadékköpeny. Ez a hullámos felület később azt eredményezi, hogy a gyártott cső külső átmérője és falvastagsága, a hossz függvényében állandóan változik (kúpos, ill. hullámos lesz), a méretszórás megnő.

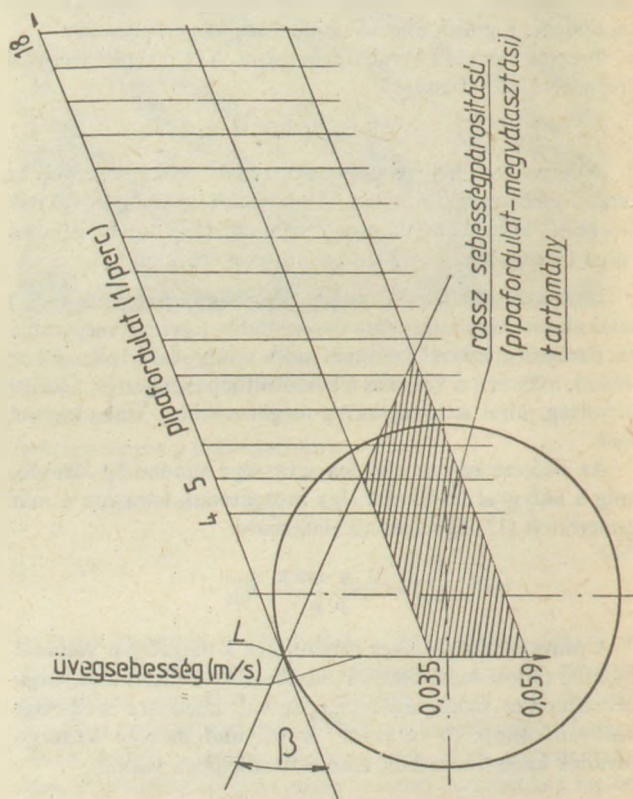
Ha a hőmérséklet és a hajlásszög változatlan, a húzóerő-növelés esetén nő a szükséges pipafordulat. A hőmérséklet és a húzóerő változatlansága esetén a pipa hajlásszögét növelve csökken a szükséges pipafordulat.

A gyakorlatban, a mérések során, a viszkozitás, illetve ezzel kapcsolatban az azt meghatározó hőmérséklet mérésének helye okozta a legnagyobb problémát.

Ugyanis a hőmérséklet és a viszkozitás exponenciális görbe szerint függ össze, ami a képletekben történő behelyettesítések után, kis eltérések esetén is nagyságrendi különbségeket jelenthet, meghamisítva az eredményt.

A gyártott üvegcső kész mérete a befúvatott levegő nyomásával és a húzási sebesség változtatásával tág határok között változtatható. A levegő nyomásának növelésével a cső külső átmérője növekszik, a húzás sebességének növelésével a falvastagság csökken. Ha növeljük a hőmérsékletet és a dőlésszöget, nő az üvegoldadék folyóssága (csökken a viszkozitás), tehát nő a sebessége és gyorsabban folyik le (ha meredekebbre állítjuk a pipát), akkor növelni kell a húzóerőt is. A sűrűség és az olvadékköpeny növelése ugyancsak a sebesség növekedését vonja maga után.

A lejtős pályán lecsúszó olvadék hőmérséklete az előrehaladás irányában csökken. Ha az üveg viszkozitása nő, akkor az olvadékköpeny sebessége az előrehaladás irányában csökken. Az olvadékköpeny külső, nagyobb sebességű rétege fokozatosan ráfolyik az előtte lévő rétegre, így a falvastagság nő az előrehaladás irányában. Jó hőmérséklet beállításánál az olvadékköpeny vastagságának növekedése lineáris a pipa-hossz mentén.



9. ábra. Bemutatjuk, hogy egy üvegféleséghez választott fix hőmérsékletre megszerkeszthetjük az olvadéksebességeket, a β szög felmérésével és az egyenes behúzásával kiadódnak azok a sebességpárosítások, amelyeknél az üveg légszálás lesz és azok is, amelyek nem

4. Összefoglalás

Munkánkban tanulmányoztuk a Danner-eljárás fizikai és matematikai módszerrel történő megoldását. A csőhúzási részfolyamatokat és az eljárás paramétereire jellemző összefüggéseket matematikai egyenletekkel írtuk le.

Az egyenletek jól írják le a csőhúzás-részfolyamatokat.

Megállapítottuk, hogy a légszálalázás elkerüléséhez szükséges paramétereket hogyan kell beállítani, hogy a csőgyártást optimalizálni lehessen. Kitűnt, hogy a pipafordulatszámot a maximális alatt egy kicsivel, optimálisan tudjuk tartani, amikor még nem következik be légszálalázás, ugyanakkor a 6. ábrán látható torzulás egyenletesebbé válik és az ideális rétegeloszlás felé közelít (5. ábra).

A Danner-eljárás optimalizálása alatt, az üvegcsőgyártás melegformázásának fizikai és matematikai modellezését értjük. Az optimalizálást a gépi számolás- és irányítástechnika (nem elhanyagolva a közös termelési és kutatási mérnöki együttműködés és tevékenység) tette lehetővé.

Kimutattuk, hogy a pipafordulatszám, a dőlésszög helytelen beállításából, a feeder- (vályú-) nyílás változásából, az olvadék, valamint annak forgópípával való elkapásából, a forgópipa helytelen beállítása esetén, az olvadékparaméterek [$\eta, \rho = f(T)$] ismerete nélkül, milyen hibaforrások léphetnek

fel. Rámutattunk arra is, hogy az általunk bemutatott üzemi „modellezéssel” (9. ábra) az előforduló hibaforrásokat hogyan lehetséges csökkenteni, illetve az üzemeltetést optimalizálni.

Irodalom

- [1] 384796 DRP szabadalom (1917).
- [2] Nölle, G.: Technik der Glasherstellung VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1978).
- [3] Res, M.—Michlek, J.—Sklár a keramik 2 (1952) 24—26
- [4] Pattantyús A. G.: A gépek üzemtana. Tankönyvkiadó Budapest (1953).
- [5] Giegerich, W.—Trier, W.: Glasmaschinen. Springer-Verlag, Berlin (Göttingen) Heidelberg (1964).
- [6] Perry, J. H.: Vegyészmérnökök kézikönyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1969). I. és II. kötet.

- [7] Rose, H. E.—Sullivan, R. M. F.: Treatise on the Internal Mechanics of Ball, Tube and Rod Mills. Constable and Company Ltd. London (1957).
- [8] Fejes G.—Tarján G.: Vegyipari gépek és műveletek. Egyetemi Tankönyv Kiadó, Budapest (1973).
- [9] Benedek P.—László A.: A vegyészmérnöki tudomány alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1964).
- [10] Jepsen-Marwedel, H.—Brückner, R.: Glastechnische Fabrikationsfehler. Springer-Verlag. Berlin—Heidelberg—New York. (1980).

Кочин, Г.: Оптимизация метода — Даннер вытягивания стекла

Kocsis, Géza: Optimisation des Danner-Glassrohrziehen-Verfahrens

Kocsis, Géza: Optimisation of the Danner Glass Drawing Process

KITÜNTETÉSEK

Az építésügyi és városfejlesztési miniszter hazánk felszabadulásának 42. évfordulója alkalmából, eredményes munkájukért

- Balogh László*, a Cement- és Mészművek Váci Gyára üzemvezetője,
Gyurkó István, a Parádi Üveggyár üzemvezetője,
Kovács Jánosné, a Délalföldi Téglá- és Cserépipari Vállalat osztályvezetője,
Orosz József, az Üvegipari Művek Nagykanizsai Üveggyára pártvezetőség titkára,
Otterbein István, a Zsolnay Porcelángyár termelési főmérnöke,
Pusztai Ervin, az Üvegipari Művek Miskolci Üveggyára osztályvezetője,
Salamon Zoltán, a Romhányi Építési Kerámiagyár gazdasági igazgatóhelyettese,
Sas Jenő, a PANNOLIT Kőbányászati Vállalat gazdasági irányító vezetője,
Stmon Jenő, a Szilikátipari Központi Kutató- és Tervező Intézet igazgatója,
Szilágyi László, az Északmagyarországi Téglá- és Cserépipari Vállalat főenergetikusa,
Szűcs János, a PANNOLIT Kőbányászati Vállalat igazgatója,
Tóth László, az Üvegipari Művek Karcagi Üveggyára osztályvezetője,
Tóth Sándor, az Üvegipari Művek Karcagi Üveggyára gyárigazgatója részére

KIVÁLÓ MUNKÁÉRT

kitüntetést adományozott.

Az építésügyi és városfejlesztési miniszter az 1986. évben elért eredményeikért „Kiváló Vállalat” címet, valamint „Elismerő Oklevél” címet nyert szervezetek dolgozói közül, eredményes munkájukért

- Gyulai Pál*, a Cement- és Mészművek Váci Gyára üzemvezetője,
Hárs Béla, a Közmű- és Mélyépítő Vállalat műszaki igazgatóhelyettese,
Hudi József, a Zsolnay Porcelángyár gyáregységvezető-helyettese,

- Jakab Zoltán*, a Cement- és Mészművek Beremendi Gyára üzemvezetője,
Jedlacska Jánosné dr., a Zsolnay Porcelángyár gazdasági igazgatóhelyettese,
Kocsi Jenő Attila, a Zsolnay Porcelángyár főtechnológusa,
Korbély József, a Cement- és Mészművek műszaki előadója,
Vilics Antal, az Alföldi Porcelángyár Edénygyára műszaki igazgatóhelyettese

részére

KIVÁLÓ MUNKÁÉRT

kitüntetést adományozott.

A kitüntetteknek gratulál, további sikereket kíván a

Szilikátipari Tudományos Egyesület
 Vezetősége

KITÜNTETETT VÁLLALATAINK

Az építésügyi és városfejlesztési miniszter, az Építő-, Fa- és Építőanyagipari Dolgozók Szakszervezete Elnöksége

az 1986. évi eredmények alapján a következő vállalatoknak

„KIVÁLÓ VÁLLALAT”

kitüntető címet adományozta:

- Beton- és Vasbetonipari Művek,*
Építésgazdasági és Szervezési Intézet,
Közmű- és Mélyépítő Vállalat,
Zsolnay Porcelángyár

„ELISMERŐ OKLEVÉL”-ben

részesült a
Cement- és Mészművek.

Üvegszilárdság Irodalmi összefoglaló tanulmány

SIPICZKI JÁNOS

Üvegipari Művek, Orosházi Üveggyár

1. Bevezetés

Az építészet egyre nagyobb ütemű fejlődése magával hozta a mind nagyobb méretű, valamint az egyre speciálisabb tulajdonságokkal rendelkező üvegek és üvegszerkezetek előállításának igényét.

A speciális tulajdonságok között elsősorban a jó hőszigetelés, hanggátlás, a fény- és hővisszaverő-képesség került előtérbe.

A méretek jelentős növelése egy bizonyos érték felett már igen komoly problémát okoz. Az üveg rideg, törékeny anyag, szilárdsága a méretek függvényében változik.

A méretnövelés egyre jobban csökkenti a természeti erőkkel, valamint egyéb mechanikai hatásokkal szembeni ellenálló képességet, csökkenti az élettartamot.

Jelen cikkünkben az üveg mechanikai tulajdonságait befolyásoló tényezők hatásaival kapcsolatos kutatási eredmények összegzését kíséreljük meg, korántsem a teljesség igényével.

2. Az üveg szerkezete

Az üveg jellegzetes tulajdonságait, ezek közül a mechanikait is, legjobban azzal az elmélettel lehet magyarázni, hogy az üveget szabálytalan, nemperiodikus térhálózatban felépülő ionok, ill. atomok alkotják [1].

Zachariasen [2] tudományos feltevése szerint az üveg egy SiO_2 tetraéderekből véletlenszerűen összefüggő térbeli hálószerkezetbe épül be teljesen véletlenszerű, statisztikus eloszlásban.

Újabb megfigyelések szerint azonban a módosító ionok eloszlása nem statisztikus, hanem tömörülésük következtében mikroheterogenitások alakulnak ki. Erre már Lebegyev [3] a kristallit elméletével is rámutatott.

Prebus és Michener [4] elektronmikroszkóppal vizsgált különböző összetételű üvegeket és kimutatta, hogy igen kis méretű, 2–4 μm nagyságú, eltérő sűrűségű tartományok különböztethetők meg bennük. A mikroheterogenitások megléte az üvegszerkezetben Náray—Szabó [5] ideális elképzelése szerint nincs ellentétben az üveg nemperiodikus hálózatának elméletével, csak a módosító ionok statisztikus eloszlásának mond ellen.

Az iparilag előállított üvegek szerkezete azonban jelentős eltérést mutat az ideális homogén üveg szerkezetéhez viszonyítva.

A reális üvegszerkezetben a mikroheterogenitásokat messze meghaladó makroheterogenitások is tapasztalhatók [6]. A reális üvegszerkezetet Murgatroyd [7] úgy írja le, hogy az üvegbe beépült anyagrészekkék kisebb és nagyobb kötés erői váltogatják egymást.

Boneff és Swiete [8] továbbá Szöllösi [6] üvegfelületek folytasvas maratásával az elektronmikroszkópos vizsgálatkor makroheterogenitásokat mutatott ki. A felületen alkáliban dúsabb és szegényebb tartományokat tapasztaltak, melyeket

a folytasv különbözőképpen támadott meg. Az alkáli felületi feldúsulását az üvegalkotó oxidok felületi feszültségkülönbsége okozza. Keppeler és Hechter [9], majd később Tichane [10] és Szöllösi [6] kimutatta, hogy hőkezelés hatására az üvegfelületen az alkálitartalom jelentősen megnövekszik. A kis felületi feszültségű alkáli kidiffundál a felületre, s ott a felület állapotától függően makroheterogenitások jönnek létre. Ugyanakkor vannak olyan elképzelések Goodmann [11] és Wong [12] munkái szerint, hogy az üvegben több azonos szabadenergiájú polimorf módosulatú részecske van jelen. Így lehetőség van arra, hogy többféle fázisszétválás jöjjön létre, de ezeket a hűtési sebesség, az idő mértéke megakadályozza, ill. befolyásolja, hogy tökéletes kristályos szerkezet jöjjön létre, tehát egyszerre jelen lehet üveg- és kristályfázis is.

Ugyanakkor nem szabad figyelmen kívül hagyni, ha a mechanikai tulajdonságokat magyarázzuk, Dietzel [13] ion térerősség, Smekal [14] keverékkötési, Weyl [15] árnyékolási, Sun [16] kötésérorősségi, Stevels [17] invertüveg-szerkezeti vizsgálatának eredményeit.

3. Az üveg mechanikai tulajdonságai (szilárdság, feszültség, törés)

Felmerült az a kérdés, mit értünk az üveg szilárdsága alatt? Mi az üveg szerkezeti szilárdsága alatt a vizsgált ablaküvegszerkezet egyes anyagrészekkéi (üvegalkotók) közötti kötőerőt értjük.

Az ideális üvegszerkezetben a $\geq\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\leq$ kötés elméleti erőssége $1-3 \times 10^{10}$ Pa, ami tényleges üvegszerkezeteknél, a hibahelyek kiküszöbölésével és a környezeti viszonyok megválasztásával elméletileg megközelíthető [18].

Az üveg elméleti szilárdsága az üvegszerkezetet alkotó molekuláris hálózatból számítható. Számítások alapján a kvarcüveg elméleti szilárdsága $1 \times 10^{10}-3 \times 10^{10}$ Pa értéknek adódik. Mész-alkáli szilikát üvegek elméleti szilárdsága ennél kisebb $6,5 \times 10^7-8 \times 10^9$ Pa. A többkomponensű üvegek esetében a módosító oxidok beépülése megbontja a hálószerkezetet, $\geq\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\leq$ kötések szakadnak fel, így az elméleti szilárdság a kötésfelszakadások számával arányosan csökken.

Az üveg elméleti szilárdsága (törési feszültség) a törési felületi energia ismeretében Orowan [19] szerint a következő összefüggéssel számítható:

$$\sigma_1 = \left[\frac{E\gamma}{a_0} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

ahol:

- σ_1 — elméleti szilárdság (törési feszültség) [Pa],
- E — Young-modulus [Pa],
- γ — Törési felületi energia [Pa m],
- a_0 — atomközi távolság [m].

Üvegpróbatesteken mért szilárdsági értékek messze elmaradnak az üveg elméleti szilárdságától. Az üveg gyakorlati szilárdsága normál körülmények között $3 \times 10^7 - 8 \times 10^7$ Pa-nak tekinthető. Ez alatt az üveg húzószilárdságát értjük. Az üveg nyomószilárdsága a húzószilárdságnál egy nagyságrenddel nagyobb értékű ($30 \times 10^7 - 80 \times 10^7$ Pa).

A törést általában a feszültség okozza és az üveg húzószilárdsági határának túllépése váltja ki. A feszültséget az üvegszerkezetre ható mechanikai és/vagy termikus megterhelés, azaz a deformáció okozza. Az üveg deformációjára érvényes a Hooke-törvény:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (2)$$

σ — az üvegre ható megterhelés (feszültség) [Pa],
 E — rugalmassági modulus [Pa],
 ε — relatív deformáció.

Abban a tartományban, ahol Hooke törvénye érvényes, az anyag a definíció értelmében véve tökéletesen rugalmas, azt a határt, amelyen túl a megnyúlás már nem arányos az azt okozó deformáló erővel, rugalmassági határnak nevezzük.

Az üveg esetében a rugalmassági határ egyben a törési határral is megegyezik. Az üveg terhelésénél, mivel rideg anyag, a rugalmassági határt nem követi képlékeny alakváltozási tartomány, közönséges hőmérsékleti és terhelési viszonyok között a rugalmassági határt átlépve bekövetkezik a feszültségek hatására a törés.

Az üveg általában izotróp, transzparens anyag. Feszültséges állapotban kettőtörővé válik. Egy egyirányban feszültséges üveg hasonló módon viselkedik, mint az egytengelyű kristály, ha az optikai tengely egybeesik a feszültség irányával. Ha polarizált fény halad át egy ilyen, párhuzamos lapokkal határolt, egyirányban feszültséges üvegen, a fény két, egymásra merőlegesen polarizált, különböző sebességű hullámra bomlik. Az üvegből való kilépéskor a két különböző terjedési sebességű komponens közötti úthosszkülönbségből számítható a főfeszültségek különbség, illetve a maximális nyírófeszültség.

Az úgynevezett feszültségi kettőtörés tulajdonképpen nem más, mint anizotróp kiterjedés hatására az átvilágításra merőleges két irányban fellépő kettőtörés. A különböző rezgési síkokban haladó fény optikai úthosszkülönbsége a három főfeszültség függvénye.

A Favre-törvény kibővítéséből adódik, hogy

$$\Delta S_1 = d(c_1 \sigma_1 + c_2(\sigma_2 + \sigma_3)) \quad (3)$$

$$\Delta S_2 = d(c_1 \sigma_2 + c_2(\sigma_3 + \sigma_1)), \quad (4)$$

ahol:

σ_1 és σ_2 — az átvilágításra merőleges főfeszültségek.

σ_3 — azzal megegyező irányú [Pa],

ΔS_1 , ill. ΔS_2 — optikai úthosszkülönbség [m] a σ_1 , ill. a σ_2 -vel párhuzamos, lineárisan poláros fénysugár (1) és (2) irányban,

d — a test vastagsága az átvilágítás irányában [m],

c_1 és c_2 — elasztóoptikai konstansok [$\text{m}^2 \text{N}^{-1}$].

Az optikai úthosszkülönbség csökkenése, amely általában húzófeszültséggel kapcsolatos (azaz σ_1 , σ_2 és σ_3 pozitív feszültségek) azt jelenti, hogy a hozzátartozó fénysugár a d utat Δt_1 , illetve Δt_2 -vel rövidebb idő alatt futja be. Azaz:

$$\Delta t_{1,2} = \frac{\Delta S_{1,2}}{v_0} \quad [\text{s}], \quad (5)$$

ahol v_0 a feszültségmentes testben a fénysebesség [m s^{-1}]. A két fénysugár közötti optikai úthosszkülönbség:

$$\Delta S_1 - \Delta S_2 = d(c_1 - c_2)(\sigma_1 - \sigma_2), \quad (6)$$

illetve a hozzátartozó fáziskésés a két fénysugár között:

$$\delta = \frac{\Delta S_1 - \Delta S_2}{\lambda} = \Delta n \frac{d}{\lambda}, \quad (7)$$

ahol:

λ — a vákuumban mért hullámhossz [m],

Δn — $\Delta n_1 - \Delta n_2$ törésmutató különbség.

Az egyenlőség átrendezése azzal a feltételezéssel történt, hogy a terheletlen test nem kettőtörő, így a két irányban a törésmutatók is egyenlők. A δ az itt megadott megfontolások szerint a hullámhosszra vonatkoztatott, relatív úthosszkülönbség.

Mindkét sugár rezgése az üvegfázisba való átlépésük előtt:

$$E_1 = E_2 = E_0 \cdot \sin \omega t, \quad (8)$$

az onnan való kilépés után:

$$E_1 = E_0 \cdot \sin \omega t \quad (9)$$

$$E_2 = E_0 \cdot \sin(\omega t - 2\pi\delta). \quad (10)$$

A $\Delta S_1 - \Delta S_2$ -re és a δ -ra felírt összefüggésekből adódik, hogy:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{S\delta}{d}, \quad (11)$$

ahol:

S — a feszültség optikai konstans, csak az anyagi minőségtől és a hullámhossztól függ, dimenziója Nm^{-2} , azaz:

$$S = \frac{\lambda}{c_1 - c_2}. \quad (12)$$

Definíciószerűen az S feszültség optikai konstans az a főfeszültségi különbség, amely az átvilágított üveg próbatest egy mm-én egy hullámhossznyi útkülönbséget eredményez a két főfeszültségi irányban polarizált fénycsugár között.

Az így definiált feszültségoptikai konstans üvegek esetében általában negatív. Ez azt jelenti, hogy δ -nak is negatívnak kell lenni, azaz a maximális főfeszültségre (σ_1) merőlegesen rezgő fény gyorsabb.

Néha az alábbi kifejezéssel definiált C -t is feszültségoptikai konstansnak nevezik:

$$\frac{\lambda}{S} = c_1 - c_2 = \frac{\Delta S_1 - \Delta S_2}{d(\sigma_1 - \sigma_2)} = C. \quad (13)$$

Ennek egysége a Brewster (B):

$$1 B = 10^{-6} \frac{\text{mm}^2}{\text{N}}.$$

A gyakorlatban általában nem a főfeszültségek különbségét szokás megadni, csupán a próbatest vastagságára vonatkoztatott optikai úthosszkülönbséget, nm/cm egységben.

$$\frac{\Delta S_1 - \Delta S_2}{d} = \Delta n = \Delta n_1 - \Delta n_2. \quad (14)$$

A főfeszültségi különbséget megadott S és λ értékekhez az:

$$n = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)\lambda}{S} \quad (15)$$

összefüggéssel tudjuk pontosan meghatározni.

Az elméleti és gyakorlati szilárdság közötti nagy különbség okát abban kell keresni, hogy az üveg nem teljesen tömör test, hanem számtalan sok folytonossági hibája van, melyek mikro-, illetve makrorepedések, légrészvények, egyéb inhomogenitások formájában jelennek meg. Mechanikai terhelésnél a törés ezekből a folytonossági hibahelyekből kiindulva megy végbe, sokkal kisebb erő hatására, mintha ezek az üvegből hiányoznának. Az üvegszerkezetbe beépülő gázok [20, 21, 22, 23] fellazítják a hálószerkezetet, kötések szakítanak fel, csökkentik a szerkezet szilárdságát.

Az üvegfelületen Griffith [24] feltételezése szerint olyan szubmikroszkopikus repedések vannak jelen, amelyek hatása a szilárdságtani tulajdonságokra sokkal kedvezőtlenebb, mint az üvegyang tulajdonságai. A mikrorepedések száma a felület abszolút nagyságával arányos, ez magyarázza a törési tulajdonságok alakí és nagysági függését.

A Griffith által feltételezett mikrorepedéseket Andrade és Tsien [25] nátriumgőzöléssel kísérletileg igazolták. A repedések a nátriumgőzölés hatására kitágultak és mikroszkóp alatt láthatóvá váltak. Kimutatták, hogy friss üvegfelületen a repedések száma kevés, amely idővel erősen nő.

Grundmann és munkatársai [26] szintén a síküveg felületi repedéseit vizsgálták. Megállapították, hogy a nátriumgőzölés utáni felületen csak néhány durva repedés volt, ha azonban a felületet vízzel kezelték, a repedéssűrűség ugrásszerűen megnövekedett.

Smekal [27] a Griffithhipotézisből kiindulva kialakította a rideg törés elméletét. A feltételezése szerint a felület szerepe azért jelentős a rideg testek szilárdsági tulajdonságainál, mert a felületi hibahelyek és a hibátlan területek aránya egyértelműen meghatározza valamely test integrális szilárdságát. A felületi repedések mentén feszültségek koncentrálnak, s a repedésektől mentes, tehát hibátlan helyeken pedig a tényleges szilárdság az elméleti atomisztikus kohézióval azonos. Smekal [27] kísérletoszorozatai főleg az időtartam és a relaxáció hatásainak tisztázására irányultak.

A szilárdságra vonatkozó ismereteket Weyl [28] foglalta össze, és egészítette ki a felületi finomszerkezet olyan elképzelésével, amely az atmoszféra irányában elhelyezkedő elektronhéjak árnyékoltsági hatását is figyelembe veszi. A makroszakadások mellett a mikroszakadások is jelentős szerepet kapnak az üvegfelület állapotának kialakulásában. A felületen lévő Si-O-Si vagy Si-NH-Si kötések víz hatására felszakadnak és $\text{Si-OH} + \text{HO-Si}$ vagy $\text{Si-NH}_2 + \text{HO-Si}$ kötések jönnek létre. A szilícium-ion pozitív töltését az üvegfelületen az OH^- -ion jobban „árnyékolja”, semlegesíti, mint a hídképző O^{2-} -ion.

Smekal [29] az üvegtörésnek két szakaszát különbözteti meg. Az első szakaszban lassan terjed a repedés az üvegfelületről az üveg belseje felé, miközben az üveg a repedés mentén felmelegszik. Ez a felmelegedés aztán kiváltja a második, robbanásszerű gyors törési szakaszt.

Általános megfigyelés eredménye volt, hogy az üveg húzóigénybevétel mellett szemben rövid ideig sokkal nagyobb terhelésnek áll ellen, mint hosszú idő alatt. Ezt a jelenséget statikus kifáradásnak nevezik. A statikus kifáradást a meglévő repedések terhelés hatására bekövetkező növekedése okozza. A statikus kifáradást különböző tényezők határozzák meg, így függ a hőmérséklettől, a kémiai összetételtől, a névleges feszültségi szinttől, a meglévő repedések mértékétől, valamint a környezeti hatásoktól.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy a környezeti hatások döntő módon befolyásolják a statikus kifáradás jelenségét, valamint az üveg szilárdságát.

Néhány jel arra utalt, hogy a széndioxid hatással van az

üveg szilárdságára [30, 31], a legtöbb vizsgálat azonban arra mutatott rá, hogy az atmoszféra nedvességtartalma sokkal nagyobb befolyást gyakorol a szilárdságra. Baker és Preston [30] tapasztalták, hogy a statikus kifáradási jelenség lényegesen csökken az üvegnek vákuumban való vizsgálata alkalmával. Kimutatták, hogy a nedvességtartalom lényeges változása észrevehető változást okoz a próbadarabok szilárdságában. A relatív nedvességtartalomnak 100%-ról 30%-ra történő változása a szilárdságot 5%-nál kisebb mértékben növeli, míg 30%-ról névlegesen 5%-ra való csökkentése 10% szilárdságnövekedést eredményezett.

Gurney és Pearson [31] tapasztalták, hogy az üveg kifáradási jelensége attól az időtől függ, amely alatt a minta feszültség hatásának volt kitéve. Vákuumban végzett kísérleteik során a kifáradási jelenség jelentős csökkenését észlelték. Mould [32] vizsgálta a terhelés időtartamának befolyását az üveg szilárdságára 0,5% és 43% relatív nedvességtartalom mellett, valamint vízbe merítve. Azt tapasztalta, hogy a kifáradás jelensége növekedett a környezet nedvességtartalmának növekedésével. Baker és Preston [30] azt tapasztalták, hogy a kifáradás jelensége megszűnik, ha a vizsgálati mintadarabokat 300 °C hőmérsékleten és 10^{-2} Pa nyomás alatt 10 percig kezelik a vizsgálat előtt.

További kísérletek során a vákuumban való hőkezelés után a mintadarabokat száraz levegővel kezelték. Ezek a mintadarabok kétszer akkora szilárdságot mutattak, mint nedves állapotban és csaknem olyan nagy értéket, mint a vákuum alatti szilárdság. Cameron [33] E-üvegszálon végzett kísérletei kimutatták, hogy a környezet nedvességtartalmának gyakorlatilag nullára való csökkentése, 8–10%-os szilárdságnövekedést eredményez. Ez az eredmény jól egyezik Baker és Preston [30] vizsgálataival. A vákuum további növelésével a felületen adszorbeált nedvességtartalom fokozatos csökkenése a szilárdság jelentősebb növekedését eredményezte, igen nagy vákuumban, 10^{-3} – 10^{-5} Pa, 2850 perces kezeléssel közelítőleg ugyanazt az eredményt érte el, mint 5–0,1 Pa vákuumban 99 360 perc alatt.

A tapasztalt szilárdság 25%-kal haladta meg a nedves levegőn mért értékeket.

Sendt [34] 10^{-3} Pa vákuumban mészkő-alkáli szilikátüvegek vizsgálata során 30–35% szilárdságnövekedést tapasztalt. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a vákuumban történő mérések során a vákuumkezelés idejének függvényében a szilárdság változik, az idő függvényében növekszik, majd mindjobban megközelíti egy szintet, amely alacsonyabb, mint a teljes vízhiány állapotának megfelelő, mert nem valószínű, hogy szobahőmérsékleten a vákuum önmagában — bármennyi idő alatt is — képes az összes fizikailag kötött vizet eltávolítani.

A nedvesség hatásának vizsgálatát számosan elvégezték nitrogénközegben, szobahőmérsékleten és a cseppfolyós nitrogén hőmérsékletén.

Cameron [33] szobahőmérsékleten, száraz nitrogénben végzett vizsgálatokat és a normál levegőn mért szilárdsághoz képest jelentkező 8%-os növekedés megfelel a 0% relatív nedvességnél mért szilárdságnak, az adszorbeált víz teljes mennyiségének jelenlétében. Ez az eredmény nagyon jó összhangban van a kis vákuumban végzett kísérletek eredményeivel, amelyeknél 8–10% szilárdságnövekedést tapasztaltak.

A folyékony nitrogén hőmérsékletén E-üvegszálnál megfigyelt 49–52%-os [33], valamint mészkő-alkáli-szilikátüvegeken mért 35–40%-os [34] szilárdságnövekedés azt bizonyítja, hogy az üveg felületén lévő nedvesség jelentősebb befolyást gyakorol a szilárdságra, mint a környezet nedvességtartalma.

Nem kétséges, hogy a Young-modulus növekedése az oka részben a szilárdságnövekedésnek kis hőmérséklet-tartományban. Figyelembe kell venni, hogy a szilikátüvegek Young-modulusának 2—5%-os növekedése csak a folyékony nitrogén hőmérsékletére való hűtése során jön létre.

A $-68\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten a vizsgálatok bizonyították, hogy a hőmérséklet csökkenésével bekövetkezik a víz mennyiségének és a kation-aktivitásnak nagyon gyors csökkenése.

Charles [35] megfigyelte, hogy $-51\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt termikusan aktivált korrózió általában nem létezik.

Cameron [33] vákuumban és kis hőmérsékleten végzett kísérletei során olyan szilárdságnövekedést tapasztalt, amelyet vagy a vákuum, vagy a kis hőmérséklet önmagában nem indokolt.

Ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a két tényező kölcsönhatása áll fenn, mert a vákuum alatt eltávozik a fizikailag adszorbeált víz külső molekuláris rétege, amely még igen kis hőmérsékleten is bizonyos mozgékonyssággal bír, és így kevesebb aktív víz marad a repedés kémiai megindítására.

A külső erő hatására az üvegfelület nagymértékben feszül és a kémiai kötések a vízmolekulákat vonzzák. A húzószilárdsági vizsgálatok folyamán a kötésfeszültség bizonyos fokán egy vízmolekula csatlakozik a rácsszerkezet hidállású oxigénjéhez, disszociál és megbontja a rácskötést. A szomszédos kötések hasonló módon eltávolodnak, amíg végre olyan nagy hiba keletkezik, amely elegendően nagy, hogy kritikus feszültség keletkezzen és törés következzen be.

A mechanikailag előidézett feszültség mértéke, és így a vonzás foka függ a víz eredetétől és mozgékonyásától. A környezeti nedvesség kiküszöbölésével elért csak 8%-os szilárdságnövekedés arra utal, hogy a fizikailag adszorbeált víz hasonlóképpen mozgékony. A vákuumban bekövetkező fokozatos szilárdságnövekedés előrelátható, mivel a mozgékonyabb vizet előbb távolítjuk el és fokozatosan megnövekszik az a feszültség, amely még fennállhat anélkül, hogy a vízmolekula megtámadná a kötést. Nyilvánvalóan a szilárdságra alacsonyabb határértéket kapunk, mint ami a teljes vízhiánynál várható lenne, még nagy vákuum esetében is, mivel elkerülhetetlen a bizonyos mozgékonyságú fizikailag adszorbeált víz a felületen, amely túl erősen kapcsolódik a felülethez, hogy egyedül vákuummal nem lehet eltávolítani.

A szobahőmérséklet alatti hőmérsékleten végzett kísérletek hasonló eredményeket adnak, mint a vákuumkísérletek. Itt a mozgékonyabb víz elvesztése helyett egyszerűen annak termikus energiája csökken. Folyékony nitrogén hőmérsékletén a víz mozgékonyága gyakorlatilag nulla. A statikus kifáradás vizsgálatai ezen a hőmérsékleten arra mutatnak, hogy kémiai aktivitás kismértékben ugyan, de még mindig lehetséges, mindemellett azonban ezen a hőmérsékleten a törést többnyire a feszültség indítja meg.

Ez utóbbi megállapítással kapcsolatban érdekes becsléni az eredő repedés mértékét, amely a folyékony nitrogén hőmérsékletén törést okoz. Griffith [36] egyenletét alkalmazva Cameron [33] E-üvegszál adataiból számítva a repedés mértékére 0,6 nm értéket kapott. Ez az érték közel van ahhoz a mérethez, amely az üveg rácsában a hiány mérete lehet, ezért az ilyen eredmény azt mutatja, hogy kémiai aktivitás hiányában az üveg rácsa határozza meg az E-üvegszál szilárdságát, amely az általános terminológia szerint repedésmentes. Mutatja továbbá azt, hogy a rácsszerkezet közvetve meghatározza szobahőmérsékleten és normál nedvességtartalom mellett a szilárdságot. Meghatározott idő alatt végezve a kísérletet, a „legrosszabb” rácsszerkezeti hézag eléggé ki fog terjedni, hogy a hirtelen törés kritikus feszültségét kifejlessze.

4. Az üveg szilárdságának növelése

Az üveg szilárdságát a felületi hibahelyek, mikro- és makrorepedések, valamint az atmoszféra hatásának csökkentésével, ill. kiküszöbölésével lehet növelni.

Először nagy hőmérsékletű, huzamosabb ideig tartó vákuumhőkezeléssel próbálkoztak [37, 38]. A hőkezelés hatására valóban növekedett a szilárdság, azonban ez nem bizonyult tartósnak, a lehülés után a felület hajlamos volt újabb hibahelyek kialakulására. Tartósabb eredményt [39] termikus edzéssel tudunk elérni. Az üveget felhevítve (kb. $630\text{—}650\text{ }^{\circ}\text{C}$), majd intenzíven lehűtve, a felületén jelentős vastagságban nyomófeszültség képződik, tetemes rugalmas energia halmozódik fel. Ha valamilyen ok miatt repedés hatol be a belső, húzófeszültséges zónába, az gyorsan növekszik és többé-kevésbé szabályos módon szétágazik. A szilánkok törési felülete nagyrészt merőleges az eredeti felületre és a szilánkok lekerekítettek. E törési tulajdonság miatt alkalmazható az eljárás biztonsági üvegek gyártására.

A termikus edzésnek azonban bizonyos korlátai vannak. A termék vastagságának elegendőnek kell lennie, hogy megfelelő hőgradiensek jöjjenek létre az edzési folyamat során és csak egyszerű alakú tárgyakban lehet kellően egyforma feszültségeloszlást létrehozni [40].

A termikus edzéssel létrehozható felületi nyomófeszültség viszonylag csekély, kisebb, mint $2 \times 10^8\text{ Pa}$, a réteg azonban elég vastag ahhoz, hogy jelentős védelmet biztosítson külső behatásokkal szemben.

A szilárdság jelentősebb növelése érhető el a felület sérült rétegének az eltávolításával.

Proctor [41] és Holloway [42] üvegfelületek folyósavas maratásával a szilárdság $3,5 \times 10^9\text{ Pa}$ értékig való növelését érték el. Kraszovszkaja és Kulikova [43] vizsgálta a HF koncentráció változtatásának hatását a szilárdság növekedésére. Azt tapasztalták, hogy a 7,4 n koncentrációjú HF-fel történő kezeléssel érhető el a maximális szilárdságnövekedés. Megállapították, hogy az átlagos tulajdonságú és homogenitású síküvegek felületének kb. $50\text{ }\mu\text{m}$ vastagságú rétegét eltávolítva érhető el a maximális szilárdságnövekedés.

A HF-es kezelés hőmérséklet-viszonyait Ryabov [44] vizsgálta. Azt állapította meg, hogy mészkalkáli szilikátüvegek maximális felületi simasága $20\text{—}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérséklettel érhető el. A simaság tökéletesítése céljából javasolja kénsav, sósav vagy foszforsav adagolását a fürdőhöz. A savmaratással történő szilárdítás folyamatának gyorsítása céljából Kupfer [45] ultrahangos szilárdítási eljárást dolgozott ki. Az ultrahang segítségével a felületi réteg nehezebben oldódó rétegei is gyorsabban leválnak, valamint az erős hidrodinamikai áramlások a felületről eltávolítják a reakcióterméket. Így a síküveg megmunkálási ideje egy percre csökkent, az átlagos szilárdság $6 \cdot 10^8\text{ Pa}$ -ra növekedett. A felületről eltávolított réteg vastagsága $9,3\text{ }\mu\text{m}$ -re csökkent.

A savmaratással szilárdított üveg felülete igen érzékeny a mechanikai sérülésekkel szemben, kémiai ellenálló képessége az atmoszféra korróziójával szemben kicsi.

A felületi kezelés útján elért szilárdságnövekedés fenntartása megkívánja a felület megfelelő védelmének biztosítását.

Ryabov [47] szilikonbevonatokkal végzett kísérletei alapján megállapította, hogy a felület védelmére, valamint a felületre való felvitelre legalkalmasabb a metilszilikon. A bevonat polimerizációja $18\text{—}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra történő hevítés során megy végbe és mészkalkáli-szilikát üvegeknek a következő tulajdonságot adja:

— a nedvesítési szög 80° -ra növekszik,

- a korrózió többszörösen csökken,
- a bevonat stabilizálja a savmaratott felület szilárdságát,

ha nincs kiteve erős mechanikai hatásnak. A bevonat vastagságának vizsgálata során azt tapasztalták [46], hogy a maximális szilárdságnövekedés 5–10 μm rétegvastagsággal érhető el. A rétegvastagság további növelése az üveg-polimer érintkezési zónában olyan mértékű feszültségek ébredését okozza, amely a szilárdság csökkenéséhez vezet.

A szilikonbevonat a síküveg hajlítószilárdságát 30–60% mértékben növeli meg.

A polimerekkel bevont üvegek esetében sem tudtak tartós szilárdságnövekedést elérni, mert a polimerek öregsznek, továbbá a használat közben bekövetkező durvább mechanikai sérülések az üveg szilárdságát ismét a szokásos értékre csökkentik.

A szilárdság tartós növelése érhető el felületi kristályosítással.

A $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ rendszerbe tartozó üvegek felületi kristályosodásának kísérleti tanulmányát először Olcott és Stookey [48] hozták nyilvánosságra. Az üveget 50–100 °C-kal a lágyulás pontja alatti hőmérsékleten hőkezelve a felületen béta eukriptit kristályréteg válik ki. 80–100 μm optimális rétegvastagság esetén az üveg szilárdsága eléri a 7×10^8 Pa értéket. Szabadalmukban [49] az üveg tömeg szerinti összetételét a következőképpen adják meg: 65–72% SiO_2 , 22,5–30% Al_2O_3 és több mint 4% Li_2O .

A folyamat gyorsítására Garfinkel és Stookey [50] dolgozott ki eljárást. Az eljárás lényege, hogy a felületi réteget Li -sófürdőben ioncserével Li^+ -ionokkal dúsítják.

Hasonló módon lehetséges a kordierithez közeli üvegek felületi kristályosítása. A kristályréteg felületi nyomóréteg képződését vonja maga után, minek következtében növekszik a szilárdság.

A felületi kristályosítással kialakított felület jól ellenáll a mechanikai sérüléseknek, stabil, jól kötődő bevonatként véd a korrózió ellen.

Az üvegfelületen nyomófeszültség kialakítható a felület SO_2 -, SO_3 -tartalmú nedves levegővel történő kezeléssel.

Sendt [31] megállapította, hogy a száraz SO_2 az üvegfelületre nem hat, csak a vízgőzök egyidejű jelenlétében következik be az üvegben a Na^+ -ionokkal történő felcserélődése, aminek következtében húzófeszültség keletkezik. Az átalakulási tartomány feletti hőmérsékleten végzett hosszabb hevítés során az üvegfelületről H_2O szabadul fel, a húzófeszültség nyomófeszültséggé alakul.

A H^+ -ionok az átalakulási tartomány alatt igen szilárdan kötöttek az üveg szerkezetében és ezeket még elektrokémiai úton sem lehet Na^+ -ionokkal helyettesíteni.

Az SO_2 - és a H_2O -gőzök üvegre gyakorolt hatása túlnyomórészt csak vékony felületi rétegben nyilvánul meg és az így keletkezett nyomóréteg túlságosan vékony ahhoz, hogy ellenálljon a mechanikai sérülésekkel szemben, a szilárdság növekedése nem tartós.

Sendt [51] vizsgálta a $\text{Na}^+ - \text{Li}^+$ -ionok cseréje során bekövetkező változásokat.

A felületi Na^+ -ionoknak oldott sófürdőben Li^+ -ionokra való felcserélése az üveg átalakulási tartománya alatti hőmérsékleten az üvegek töréséhez vezetett.

Az átalakulási tartomány feletti hőmérsékleten végzett ioncserénél azonban ez a jelenség nem következett be, a felületen nyomóréteg keletkezett. Ez a nyomóréteg azonban igen labilis és kb. 600 °C hőmérsékleten történő rövidebb ideig tartó hevítéssel húzófeszültséggé alakulhat át.

Megállapították, hogy a Li^+ -ionok mozgékonyasága kis

hőmérsékleten kisebb, mint a Na^+ -ionoké, az átalakulási tartomány feletti hőmérsékleteken azonban mindenképp az ionok nagyságának hatása érvényesül.

Ez megegyezik Stuart és Anderson [52] méréseivel, akik a Li^+ diffúziójának aktiválási energiáját 85 kJ/mól értéknek határozták meg, összehasonlítva a Na^+ -ionok 73 kJ/mól értékével. Botvinkin és Denisenko [53] Li - és K -sók eutektikus keverékében, az átalakulási tartomány feletti hőmérsékleten kezelték üvegfelületeket.

Megállapították, hogy az eredeti $6,5 \times 10^7$ Pa-ról $1,6 \times 10^8$ Pa-ra növekedett a szilárdság 600 °C-on 3 óras kezeléssel. A mikrokeménységet mérve 30%-os növekedést tapasztaltak. A szilárdított réteg vastagsága 150 μm volt.

Felületi nyomóréteg alakítható ki a felületi Na^+ -ionok K^+ - vagy Ag^+ -ionokkal történő cseréjével.

A felületi Na^+ -ionok K^+ -ionokkal történő cseréjét Tupy [40] vizsgálta és megállapította, hogy az ioncserélő réteg vastagsága igen kicsi, a kicserélt ionok mennyisége a felülettől távolodva rohamosan csökken, a gyakorlati rétegvastagság kb. 5–10 μm .

Ez a rétegvastagság durvább sérülésekkel szemben nem ellenálló.

Az ioncsere folyamatát az üveg alsó hűtési hőmérséklete alatti hőmérsékleten vizsgálták Ward és munkatársai [54]. $\text{AgNO}_3 + \text{NaNO}_3$ 1:2, KNO_3 -, TLNO_3 -, TLCL -fürdőben. Megállapították, hogy valamennyi fürdő csökkenti a HF-val maratott üvegek szilárdságát.

Ray [55] tanulmánya szerint a KNO_3 -fürdőbe olyan anyagokat adagolva, amelyek nem tartalmaznak H^+ -ionokat és az üveggel kapcsolatban nagyobb az affinitásuk, mint a fürdőben lévő kationoknak, az üvegnek nem csak a szilárdsága, hanem az ellenálló képessége is növekszik. Táblaüvegek esetében a fürdő összetételétől függően 2×10^8 Pa— 5×10^8 Pa szilárdság érhető el.

Az ioncsere idejét és hőmérsékletét Stypula és Schleifer [56] tanulmányozta.

Megállapították, hogy az ioncsere idő- és hőmérséklet-növelésével nő az ioncsere rétegvastagsága, állandó hőmérsékleten az ioncsere rétegvastagságának növekedése a folyamat időtartam négyzetgyökének lineáris függvénye. Az ioncserélő rétegben majdnem teljesen bekövetkezik az üvegből a Na^+ -ionok K^+ -ionokkal történő kicserélődése. Azt tapasztalták, hogy hosszabb kezelési idők és az üveg transzformációs tartományát megközelítő hőmérsékletek mellett relaxációs folyamatok lépnek fel. Ez arra enged következtetni, hogy a nagy tömörségű üvegstruktúra képlékeny alakváltozás útján lazább felépítésű struktúrává alakul át, a mechanikai szilárdság csökkenése mellett.

A Na^+ -ionok Ag^+ -ionokkal történő cseréje lényegesen gyorsabban megy végbe, mint a $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ csere, az Ag^+ -ionok sokkal mélyebben hatolnak be az üvegfelületbe.

A $\text{Na}^+ - \text{Ag}^+$ -ioncsere diffúziós együtthatók százszorosan nagyobbak lehetnek [57].

Az Ag^+ -ion diffúziójával részletesen foglalkozott Doremus [58] és megállapította, hogy az Ag^+ -diffúzió aktiválási energiája 374 °C-on 85 kJ/mól. Hátránya ennek az eljárásnak, hogy az üveg sárgától egészen barnáig terjedő színárnyalattal elszíneződik, ami a megmunkálási időtől és hőmérséklettől függ.

Az Ag^+ -ionok 50 μm mélységbe behatolva fejtik ki a maximális szilárdítást, a szilárdság tovább már nem növekszik.

Irodalom

- [1] *Tamás, F.*: (1982). Szilikátipari Kézikönyv, Bp., Műszaki Könyvkiadó.
- [2] *Zachariesen, W. H.*: (1932). J. Amer. Chem. Soc. 54. 3841.
- [3] *Lebegyev, A.*: (1921). Trans. of the Optic. Insn. USSR 11. 57. (1926). Rev. d'Optique théor. et instr. 5.1.
- [4] *Prebus, A. F.—Michener, J. W.*: (1954). Ind. Eng. Chem. 46. 147.
- [5] *Náray-Szabó I.*: (1962). A szilikátüvegek fizikai tulajdonságai. Akadémiai Kiadó, Bp.
- [6] *Szöllösi J.*: (1984). Zárványok, mikroheterogenitások hatása az üveg szilárdságára. Kandidátusi értekezés. SZIKKTI.
- [7] *Murgatroyd, J. B.*: (1948). J. Soc. Glass Technol. 32. 373.
- [8] *Boneff, S.—Swiets, H. E.*: (1956). Glastechn. Ber 29. 120.
- [9] *Keppeler, G.—Hechter, M.*: (1932). Glastechn. Ber. 10. 37.
- [10] *Tichane, R. M.*: (1966). Glass Techn. 7. 26.
- [11] *Goodman, C. H. L.*: (1985). Phys. and Chem. of Glasses 26. 1.
- [12] *Wong, S.—Angell, C. A.*: (1976). Glass Structure by Spectroscopy Dekker, New York 864.
- [13] *Dietzel, A.*: (1948). Z. Elektrochem. Angew. Physik. Chem 48. 9.
- [14] *Smekal, A.*: (1949). Glastechn. Ber. 22. 278.
- [15] *Weyl, W. A.*: (1959). Silicates ind. 24. 36, 88, 151, 208, 267, 321.
- [16] *Sun, K. H.*: (1947). J. Amer. Ceram. Soc. 30. 277.
- [17] *Stevens, J. M.*: (1961). Philips techn. Rdseh. 22. 237.
- [18] *Korányi Gy.*: (1969). Műszaki tudomány 41. 311.
- [19] *Orowan, E.*: (1949). Prog. Phys. 12, 185—232.
- [20] *Scholze, H.*: (1966). The Glass Ind. 47. 546, 622, 670.
- [21] *Szlovjanskij, E. T.—Kresztnyikova, E. N.—Proszkurjakov, M. B.*: (1960). Sztyeklo i Keramika 6. 29.
- [22] *Mulfinger, H. O.—Franz, H.*: (1965). Glastechn. Ber. 38. 235.
- [23] *Kelen, T.—Mulfinger, H. O.*: (1968). Glastechn. Ber. 41. 230.
- [24] *Griffith, A. A.*: (1920). Philos. Trans 221 A 163.
- [25] *Andrade, C.—Tsien, L. C.*: (1937). Proc. Roy. Soc. A 159. 346.
- [26] *Grundmann, D.—Boden, G.—Richter, E.*: (1977). Silikattechn. 5. 236.
- [27] *Smekal, A.*: (1936). Ergelm. Exakt. Naturwissen. 15. 106.
- [28] *Weyl, W. A.*: (1946). The Glass Ind. 27, 17, 32, 34, 36, 38, 48, 74, 96, 98, 100, 126, 150, 152, 154, 156.
- [29] *Smekal, A.*: Glastechn. Ber. 13. 222 (1935). Glastechn. Ber. 23. 57, 60, 186 (1950). Glastechn. Ber. 31. 294 (1958).
- [30] *Baker, T. C.—Preston, F. W.*: (1946). J. Apl. Phys. 17. (3) 179.
- [31] *Gurney, C.—Pearson, S.*: (1952). Válogatott állami kutatási jelentések 10. 106. H. M. Stationary Office, London.
- [32] *Mould, R. E.*: (1961). J. Am. Ceram. Soc. 44. (10) 481.
- [33] *Cameron, N. H.*: (1968). Glass Technology 9. 1. 14—21.
- [34] *Sendt, A.*: (1964). Glastechn. Ber. 2. 102.
- [35] *Charles, R. J.*: (1959). Törés, Averbach, Felbech, Hahnés Thomas New York.
- [36] *Griffith, A. A.*: (1924). A szakítások elmélete Proc. Internatl. Congresse Apl. Mech. Delft. Holland.
- [37] *Kitajgorodszkij, J. J.—Bereznoj, A. J.*: (1956). Sztyeklo i Keramika 13. 6. 7—12.
- [38] *Robredo, J.*: (1965). Silikates Ind. 30. 647.
- [39] *Simmingsköld, S.*: (1967). Glastechnisk Tidskrift Växjö. 22. 1. 7—10.
- [40] *Tupy, A.*: (1969). Státny Vyzkumny Ustav. Inf. Prehled Sklářsky 2. 37.
- [41] *Proctor, B. A.*: (1962). Phys. Chem. Glasses 3. 1. 7—12.
- [42] *Holloway, D. G.—Brearley, W.*: (1963). Phys. Chem. Glasses. 4. 2. 69—75.
- [43] *Kraszovszkaja, T.—Kulikova, M.*: (1963). Sztyeklo i Keramika 20. 4. 13—15.
- [44] *Ryabov, V. A.*: (1968). Glass Technology 9. 4. 105—112.
- [45] *Kupfer, V. V.*: (1969). Sztyeklo i Keramika 26. 7. 10—13.
- [46] *Szilveszterovics—Sztoljarov*: (1972). Sztyeklo i Keramika 11. 12—15.
- [47] *Ryabov, V. A.—Borisova, I. K.—Kulikova, E. N.—Kaligina, S. G.*: (1964). Sztyeklo i Keramika 4. 16.
- [48] *Olcott, J. S.—Stookey, S. D.*: (1962). Strengthening by surface crystallization. Advances in Glass. Technology Plenum Press New York 400—403.
- [49] *Olcott, J. C.—Stookey, S. D.*: (1961). US pat. 2.998.675—K.5.9.
- [50] *Garfinkel, H. M.—Rothermel, D. L.—Stookey, S. D.*: (1962). Strengthening by ionexchange Advances in Glass Technology Plenum Press New York 404—411.
- [51] *Sendt, A.*: (1962). Ionenaustausch und Diffusionsvorgänge in Glass. Advances in Glass Technology Plenum Press New York 307—332.
- [52] *Anderson, O. L.—Stuart, D. A.*: (1954). J. Am. Cer. Soc. 37. 573—580.
- [53] *Botvinkin, O. K.—Denisenko, O. N.*: (1963). Sztyeklo i Keramika 20. 10. 1—3.
- [54] *Ward, J. B.—Sugarman, B.—Symmars, C.*: (1965). Glass Technology 6. 3. 90—97.
- [55] *Ray, N. A.—Stacey, M. H.*: (1967). Glass Techn. 8. 3. 78—81.
- [56] *Stypula, A.—Schleifer, P.*: (1977). Szklo i Ceramika (Varsó) 8. 6. 148—152.
- [57] *Burggraf, A. J.*: (1964). Phys. Chem. Glass 5. 5. 123.
- [58] *Doremus, R. H.*: (1964). J. Phys. Chem. 68. 8. 2212.

Шуницкий, Я.: Прочность стекла

Sipiczky, János: Glasfestigkeit

Sipiczky, János: Glass Strength

A kölni dóm építőkövei — mállási jelenségek és okok

KERTÉSZ PÁL
Budapesti Műszaki Egyetem

Az emberiség kultúrtörténeti emlékeit a kövek őrzik meg legmaradandóbban. A köfelhasználás több ezer éves időszakában talán a kölni dóm az a mű, amely a legtöbb közettani-közetfizikai tárgyú cikk megírására ösztönözte a szakembereket. Ezek a cikkek változatos problémákat taglalnak, számos nézőpontot képviselnek és így talán nem lesz érdektelen e problémakört is áttekinteni, különösen, mivel a kölni székesegyház építéstörténetét tekintve is különleges.

A székesegyház építése

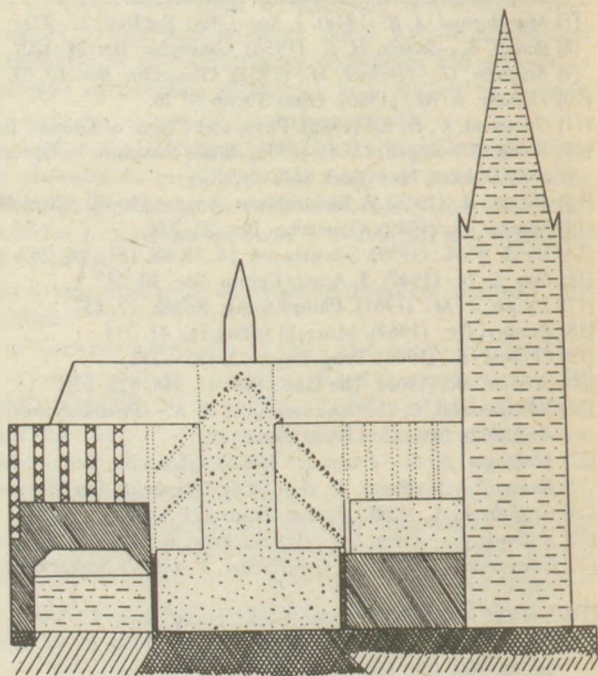
A középkor román stílusú templomai, egyházai gyakran egy építészeti lendülettel épültek; alig egy-két évtized alatt épült föl például a bambergi dóm (kb. 1219—1237) német földön vagy a francia St. Denis apátsági temploma (kb. 1137—1144). A gótikus templomépítészetre már jobbra hosszan elnyúló építkezési idők jellemzők (pl. Strassburg, 1276—1439, Gdansk, Mariacki 1400—1502); ritka kivétel a Mont Saint Michel apátsága, amelynek templomát szűk három évtized alatt készítették gránitból. A gótikus székesegyházak sorából a kölni először is amiatt válik ki, mert építése félig készen évszázadokra maradt abba, 1560-ban. Ekkor még csak egy tornya és a szentélye magasodott fel, és torzóként állt egészen a múlt századig. A feltörekvő porosz állam országos összefogással építtette tovább és jelenlegi formáját 1842—1880 között nyerte el.

Második sajátossága ezen egyháznak azonban a felhasznált *építőkövek* sokasága. A templomok jó része Európaszerte egyfajta kőből, mint falazó anyagból és néhány különleges diszítőkőből áll (pl. a francia székesegyházakon majdnem kizárólag a júra időszak durva mészkövet fedezhetjük fel). E kőanyagok sokszáz évre készült épületeiket híven szolgálták, jórésük időállósága legutóbbi évekig megfelelő volt. A kölni székesegyház változatos kőanyagain (1. ábra) ezzel szemben változatos, és gyakran igen jelentős mértékű mállási jelenségek (2. ábra) észlelhetők. A tudományos kutatás a kőanyagok származását nagyrészt tisztázta, viták főleg a mállási jelenségekre vonatkoznak, vitatván azok okát és a lehetséges módokat az épület tartósságának biztosítására.

A mállásnak, mint a tényleges kőzetkörnyezetnek (esetünkben klimatikus környezetnek) megfelelő laza kőzetállapot felé vezető folyamatnak csak pillanatnyi állapotát vizsgálhatjuk, maga a folyamat közvetlenül nem követhető. A mállási clemzések a kölni dómon általában abból az alapfeltételből indultak ki, amely mostanáig kísért. E szerint

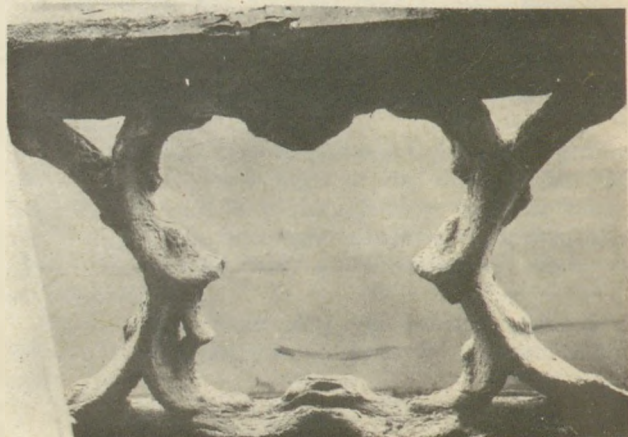
„a sokszáz éves székesegyház kövei az évszázadokkal épen dacoltak, majd az ipari fejlődés, különösen a vasúti forgalom miatt a XIX. század második felében megnövekvő füstgázok miatt rövidesen tönkrementek.”

Dr. Hans Breyer (1900—1986) emlékére



	DRACHENFELSI TRACHIT (1)
	HELYI BAZALT (2)
	BERKUMI TRACHIT (4)
	ANDEZIT (6)
	OBERNKIRCHENI ÉS STAUDENHEIMI HOMOKKŐ (12,17)
	KAGYLÓSMÉSZKŐ (24)
	SCHLAITDORFI HOMOKKŐ (16)

1. ábra. A kölni dóm északi oldalának fontosabb építőkövei (Knetsch, 1952) nyomán



2. ábra. Mállott homokkő szerkezet

1248–1560	<i>első építési szakasz</i>
1824–1880	<i>második építési szakasz</i>
1824–42	állagmegóvási munkák
1842–80	építés és befejezés
1880–	<i>fenntartási és helyreállítási szakasz</i>
1892	első jelzések a mállási jelenségekről
1893–94	Hirschwald (1910) mállási megfigyelései
1904	1,5 millió márkás kőpótlási költség megszavazása
1908	a mállási folyamat egy kivételével valamennyi kőfajtán észlelhető (Breyer, 1960)
1925–26	az épület állagára is kiható veszély megállapítása
1942–45	jelentős háborús károk
1945–	folyamatos helyreállítási, kőpótlási és állagmegóvási munkák

Ez a megfogalmazás hosszabb ideig érvek és ellenérvek burjánzásához vezetett: ma már bizonyossággal megállapítható, hogy ha a régi építőkövek mállásának üteme esetleg fokozódott is, rohamos mállás kizárólag a XIX–XX. században beépített köveken mutatkozott és mutatkozik. A mállás értékeléséhez — és ártértékeléséhez — legelőször

A felhasznált fontosabb építőkövek áttekintése

Első (középkori) építési szakasz — 1248–1560

Trachit — harmadidőszak Drachenfels (1) 1248–1560

Bazalt — harmadidőszak Köln-környék (2)
 Trachittufa — harmadidőszak Kruft, Andernach (3), (8)
 Durva mészkő ? esetleg → (20), (21)

Második (XIX. századi) építési szakasz — 1824–1880

Trachit — harmadidőszak Berkum (4)
 Wolkenburg (5)
 Andezit — harmadidőszak Stenzelberg (6)
 Bazaltláva — harmadidőszak Niedermendig (7) 1826–(1972)
 Trachittufa — harmadidőszak Kruft, Andernach (3), (8)
 Plaidt (9)
 Fonolittufa — harmadidőszak Weibern (10)
 Homokkő perm Flonheim (11)
 Breitenheim—Staudenheim-Musenheim (12)
 alsó triász St. Wendel (13)
 felső triász Udelfangen (14)
 Heilbronn (15)
 Schlaitdorf—Neuhausen környéke (16) 1842–1863
 alsó kréta Obernkirchen—Externsteinen (17)
 1845–1880
 felső kréta Baumberg (18)
 Durva mészkő jura Savonniere (Meuse megye, Franciaország (20) 1845–1875, esetleg a XIV. században is Caën (Normandia, Franciaország) (21), esetleg a XIV. században is Angoumis, Rochefort (Charante megye, Franciaország (19)

Fenntartási és helyreállítási szakasz — 1880–

Bazaltláva (harmadidőszak) Niedermendig (→7) (1826)—1972
 Londorf (22) 1952—
 Tömött mészkő — középső triász Krenshiem (23) 1825–1939

azonban át kell tekintenünk a köanyagokat származásuk és közettani minőségük szerint.

A felhasznált építőkövek

Az építőkövek felhasználásának határait a mértékadó földrajzi tartomány korlátozza (Kertész, 1983). A mértékadó földrajzi tartomány egy épületre (vagy más felhasználási pontra) vonatkozóan az a terület, amelyről az adott kor pillanatnyi gazdasági, közlekedési és politikai viszonyai között a kőszállítás célszerű és lehetséges volt. A mértékadó földrajzi tartomány így hosszabb építési időtartam alatt többszörösen változhat, bővíthet, szűkülhet. Ennek a változásnak érdekes tanúja a kölni dóm építéstörténete (1. táblázat) és kőválasztéka (2. táblázat).

A székesegyház első építési szakaszában az alapozásnál használt bazaltot kívül az épület szerkezete, külső falai kizárólag drachenfelsi trachitból állnak. A belsőben a szerkezeti köanyag általában trachittufa, kiegészítve durva mészkő faragványokkal. Mind a trachit, mind a bazalt közvetlen közelről származott (3. ábra), légvonalban a trachittufa sem esik 30 km-nél távolabbra. A mértékadó földrajzi tartomány csekély méretű volt, és a legtávolabbi köanyag is közel esett a vízi szállítás útvonalához. A durva mészkövek valószínű

2. táblázat

szanidin—oligoklász—trachit, több cm-es szanidinokkal, alapanyaga kristályos, csiszolható

nagy szemű, igen porózus

nagyobb porfiros kiválások nélküli szanidin—oligoklász—trachit, porózus, nem csiszolható, a bányakő is kissé mállott piroxénes amfibolandezit, a bányakő is kissé mállott porózus leucitbazalt, fekete színű nagyszemű, porózus

porózus horzsakőbreccsa

finomszemű, agyagos kötésű

finomszemű, agyagos kötésű, sok mállott földpátszemcsével

agyagos-kovás kötésű
 agyagos-meszes kötésű, egyenetlen, finomszemű
 agyagos kötésű, finomszemű
 dolomitos-agyagos-kovás kötésű, arkózás
 változatos porozitású és szemnagyságú
 világos színű, változatos, de főleg kovás kötésű,

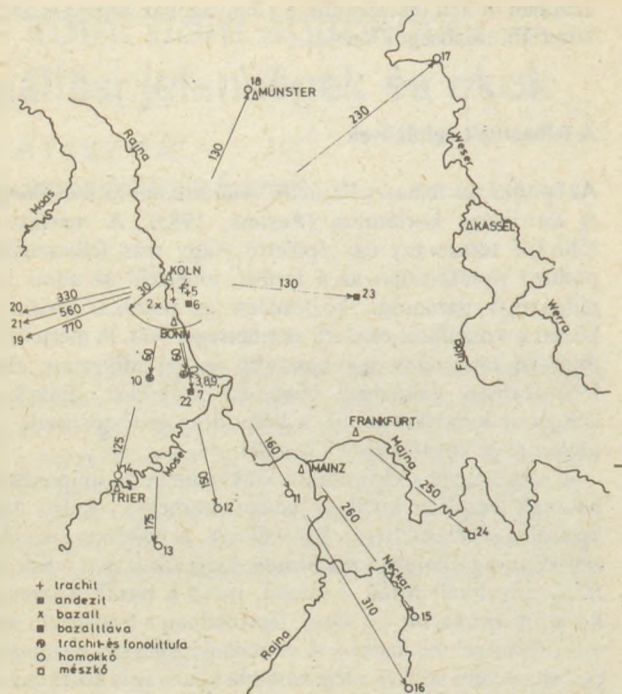
finomszemű, meszes kötésű, porló

fekete, tömöttebb jellegű

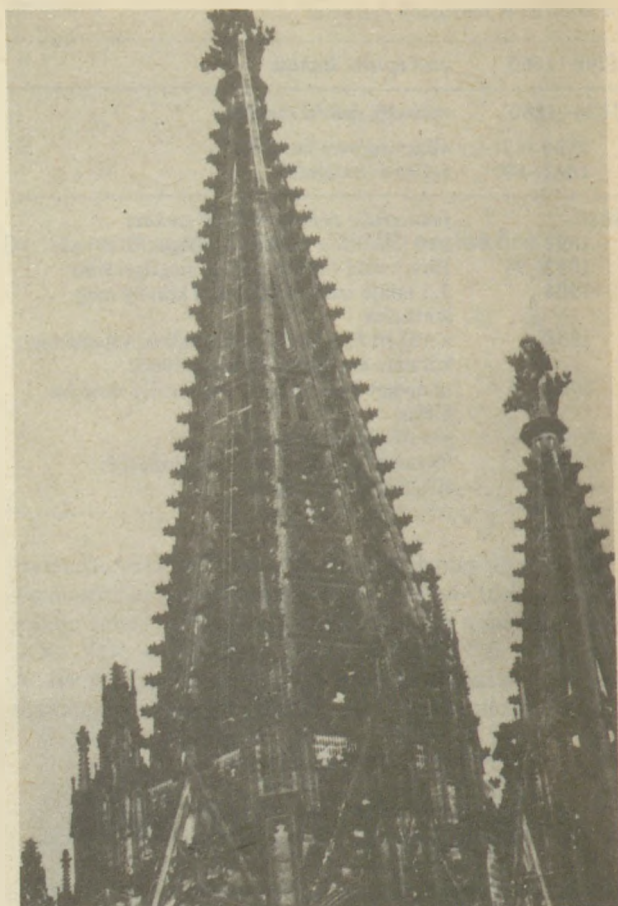
ooidos, karbonátos, könnyen oldódó kötésű

ooidos, karbonátos, könnyen kioldódó kötésű

porózus, fekete leucitbazalt
 porózus szürke leucitbazalt
 igen tömött, mikrokristályos



3. ábra. A fontosabb bányahelyek távolsága Kölnből légvonalban, km-ben. A számok a 2. táblázatra vonatkoznak



5. ábra. Toronyszerkezet obernkircheneri homokkőből (17)



4. ábra. A drachenfelsi trachit felülete a „sárkányfogakkal” (1)

franciaországi származása csak a faragott kövek esetére tágitja e tartományt többszáz kilométerre.

A külsőn alkalmazott trachit azonban nem volt jól kiválasztott kőanyag. Igaz ugyan, hogy csiszolható, de mállása térfogatában erőteljesebb, mint amit a templomépítésnél megszokott kőanyagokon általában észlelni lehetett. E kőzet jellegzetességét a több cm-es szanidinkristályok alkották, ezeket tekintette a nép sárkányfogaknak (4. ábra) és így kapta a bányahely a Drachenfels — sárkányszikla — nevet. Úgy tűnik, hogy a mállással már az első építési periódusban is találkoztak, de az határozottan jelent meg a második építési szakasz kezdetén.

A második építési szakasz karbantartási munkálatokkal indult. A már nem fejthető és mállása miatt sem megfelelő drachenfelsi trachit helyett más kiömlési kőzeteket választottak: berkumi trachitot és stenzelbergi andezitot. Az andezit egy része többé-kevésbé beváltotta a reményeket, de a trachit mállása rohamosan jelentkezett. Így a tényleges új építési

szakaszban nagy tömegben fejthető, új megfelelő kőanyagok kellett biztosítani.

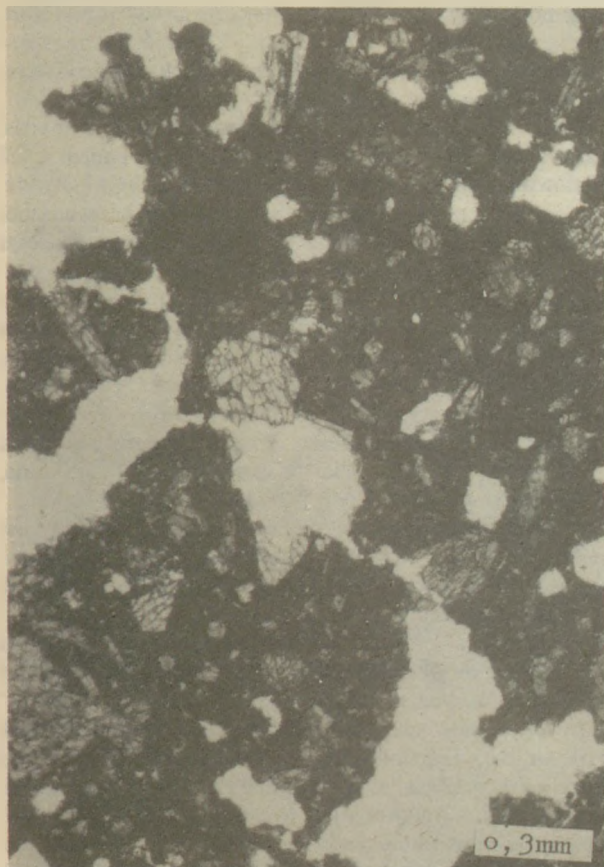
Ebben az időben is általánosan ismertek voltak a Rajna-vidék építkezéseivel időálló, évszázadok óta bevált kőanyagok. Ezek azonban nem kerültek be a felhasznált kőzetek közé: nem szerepel a kőzetek között sem a grauvakke, sem az alsó triász jó minőségű tarka homokkőve. Nem ismerjük a kiválasztás szempontjait, így nem tudjuk, miért tértek el a tájlelemű közeli kőzetek használatától; talán kizárólag a faraghatóságot (Breyer, 1963) véve alapul.

A felhasznált kőzetek egy, az előzőnél nagyobb földrajzi tartományt jelölnek ki, de a legtávolabbi bányahelyek most is még a vízi szállítás útvonalán fekszenek.

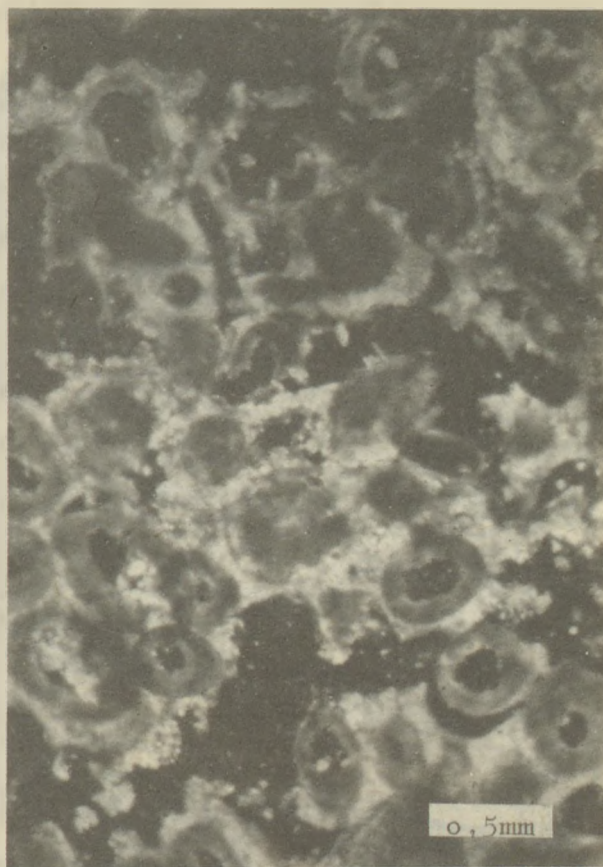
A bányahelyek nagy száma valószínűen annak is következménye, hogy a gigantikus méretű építéshez megfelelő mennyiségű kőanyagot a bányák egyike sem tudott szolgáltatni.

A legtöbb kőbányából homokkővek érkeztek az építkezéshez. Ezek közül azonban csak az Obernkirchen-környéki alsó kréta homokkő (5. ábra) kovasavas kötésű, a többi nagyrészt agyagos-karbonátos jellegű. Különösen nagy mennyiségű, agyagos-karbonátos kötésű, változatos porozitású és szemnagyságú homokkővet hoztak a Schlaifdorf-környéki ún. Stubensandstein kőbányáiból.

A homokkővek időállósága általában rosszabb volt, mint az ismert német homokkőveké. A közlekedési viszonyok javulása a távoli francia mészkővek felhasználását is felélesztette, de ezek közül csak egy (19) minősége volt tartósan megfelelő.



6. ábra. Bazaltláva fénymikroszkópos képe nagy (fehér) pörusokkal



8. ábra. Francia durva mészkő fénymikroszkópos képe



7. ábra. Bazaltláva falburkolat (Londorf, 23)

A beltéren változatlanul felhasznált vulkáni tufák mellett új köanyagként jelent meg a jól faragható és ellenálló bazaltláva, amelynek fekete színét gyakran festéssel rejtették el (6. ábra).

A templomok évszázadokra épülnek. Ennek ellenére a székesegyházon, röviddel az 1880-as, a császári, új Németország teljes pompájával megült átadási ünnepség után, már vészes mállási jelenségeket észleltek a szakemberek. Ezért már ettől az időponttól kezdve folyamatosan, majd a 2. világháború pusztításai miatt egyszerre nagymértékű kőpótlás vált szükségessé.

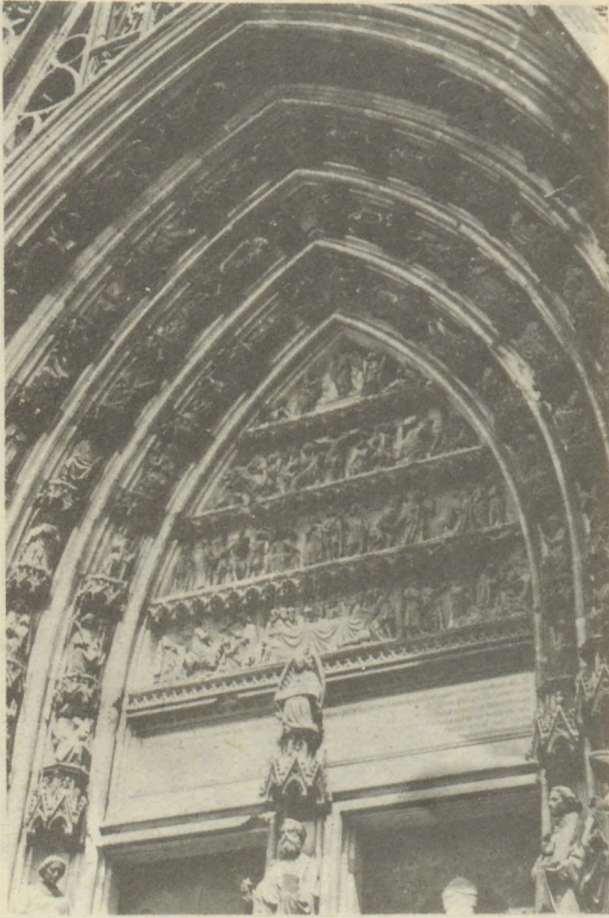
E kőpótlások során már ugyan ismerték és részben alkalmazták a kifejlődő közetfizikai tudomány eredményeit,

de részben helytelen választást ejtettek: a bevált bazaltlávát tovább alkalmazták ugyan, a fekete színűt a szürke színű londorfival váltva fel (7. ábra), de a majnai kagylómész jónak vélt tömött mészkőve rövid idő alatt katasztrofális károkat szenvedett, emellett világos színe is kirítt a szürke színű köegyüttesből.

Az építőkövek szokatlan nagymértékű változatosságára a székesegyházon a mállási jelenségek számtalan válfaja szuperponálódik, ezért nem egyszerű a mállási jelenségeket elemezni és értelmezni: a kitéti időtartam különbözőségei az összehasonlítást is nehezítik. Adott esetben egymás mellett található egyazon bányából való néhány éves vagy évtizedes és 500—700 éves kötömbök. Részletes dokumentáció nélkül nem is mindig lehet megállapítani, hogy például egy trachit melyik építési szakaszból való, így rossz megtartása 600 vagy 6 év alatt alakult-e ki.

A mállási jelenségek észlelése

A székesegyház befejezése körüli időszak a műszaki közettan tudománya kialakulásának ideje. Német területen, röviddel egymás után jelent meg Hirschwald három alapvető műve (1908, 1910, 1912); mindhárom sok évtizedes észlelési és gyűjtőmunka eredményeképp. Az első kifejezetten a kőzetek időállóságával foglalkozik, többszáz kőbánya anyagának vizsgálati eredményeit közölte. Ezek között azonban csak kivételesen találunk olyan köanyagot, amely a dóm szempontjából kérdéses lett volna (pl. andezit), így feltehetjük, hogy a sok évre rúgó vizsgálat sorozat idején e kövek még jelentős problémaként nem jelentkeztek. Hirschwald második



9. ábra. A főkapu faragványainak szerkezeti anyaga schlaitdorfi homokkő (16)

művében (1910) már számos egyéb épület mellett a kölni dómra vonatkozóan is találhatunk értékes mállási megfigyeléseket, az 1893–94-es évekre datálva:

„Trachit-Drachenfels: mind a 350–650 éve beépített, mind az 50 éves tömbök térfogatukban erősen mállottak, a kemény mállási kéreg alatt a kőzet porlik; a földpátok kimállottak.

Trachit-Berkum: a 15–55 éve beépített kőzetek már egy néhány év alatt térfogatukban teljesen elmállottak, jobban, mint a sokszáz éves Drachenfels-i trachitok.

Homokkő-Obernkirchen: a tornyok 20–50 éves jó megtartású. kőanyagán helyenként csekély felületi mállás látható. (Máig sem halad meg a mállási kéreg 0,1–0,3 mm-t, Wolf, 1980.)

Homokkő-Schlaitdorf: 50 éves, részben 15 éve kicserélt (!) tömbök erősen mállottak.

Durva mészkő (Franciaország)

Savonnière: 30 év alatt erős mállás és fellevelezés

Caen: erős mállás észlelhető

St. Méme: 60 év alatt nincs lényeges mállás.”

Ebből az összeállításból az tűnik ki, hogy a középkori Drachenfels-trachit mállása az évszázadok alatt fokozatosan érhetett el a kritikus állapotot, a XIX. század építőkövei közül csak az Obernkircheneri homokkő és St. Méme (Charante megye) durva mészköve tekinthető megfelelőnek.

A legrégebb ismert és részletesebb leírásban (Kaiser, 1907) csak a Schlaitdorfi jellegű homokkő megtartási állapotára találunk adatokat. Megfigyelése szerint a homokkő kérgesen mállik, a helyenként nagy kiterjedésű kőzeten. Esetenként a

kéreg-porlóréteg többszörösen váltakozik az üde kőzet fölött, mindig úgy, hogy a vastagságok kívülről befelé sorra csökkennek. A külső kéreg nagyobb esőzések után rendszeresen leválik és a jelenség folytatódik.

Knetsch (1952) általános megállapítása az, hogy a mállási károsodások nem a pályaudvar felé eső északi, hanem a déli oldalon a legintenzívebbek. A károsodások csekély hányadánál észleli a fagyás jelenségét a szokásos fagykárosodáshoz hasonlóan. A vegyi folyamatok hatásának intenzívvé válását írja le a habarccsal kitöltött *fugák* környezetében, és megállapítja, hogy a mállás a kőzetminőségi határokon jelentősen fokozódik a nagyobb porozitású kőzetekben (pl. az újonnan beépített kagylós mészkő körüli trachitokban). Leírja a mállás függését a köelemek *kitettsége*nek függvényében, amikor is az esőtől védett köfelületek lényegesen jobban mállanak, mint a rendszeresen esővízzel lemosottak. Ezt a kéregképződés nélküli mállást a csapó esőnek tulajdonítja, emellett a benapozás hiányát is mállási hatásként észleli.

A homokkövek alapvető mállási formájának a *kipergést* értékeli, amelynek mértéke a homokkő porozitása, szemnagysága és kötőanyaga függvényében sokkal nagyobb változatosságot mutat, mint a trachitoké.

A felszivargó *talajvíz* ismert hatásának elemzése mellett kitér még a megmunkálás fizikai hatásának tulajdonított kéregképződésre az andeziten.

Breyer (1960) nem ismerteti mállási megfigyeléseinek részleteit, de megállapítja, hogy Köln többi, a székesegyház közvetlen közelében fekvő műemlékén távolról sem észlelhető hasonló mértékű mállás. Megállapítja a rozsdás elszíneződés jelentős elterjedését, amelyek 1908-ban még nem kerültek észlelésre, de 1926-ban már távolról is szembetűnők voltak. Idézi az építópáholy megállapítását, miszerint az egyetlen olyan XIX. századi kőanyag, amely 80 éven át (1926 előtt) tökéletesen megőrizte épségét egy francia (Charante megyei, Cognac vidéki) durva mészkő; aminek lelőhelyét a XX. században nem sikerült megtalálni (8. ábra).

Wolf (1976) írja le a főbb kőzetfajtákra a ma is megfigyelhető mállási jelenségeket. Szerinte

- a trachit és andezit mindenütt jelentősen mállott (a régi drachenfelsi trachit térfogati jellegű fellazulásával szemben a többi kőzet rohamos kéregszerű mállást mutat),
- a schlaitdorfi homokkő általában 10–20 cm mélységig jelentősen fellazult, elvesztette szilárdságát,
- az obernkircheneri homokkő ép, legföljebb 0,1–0,3 mm-es felületi mállás jelenik meg,
- a Savonnière és Caen vidéki durva mészkő az esőnek kitett helyeken tönkrement, cserére szorul, egyébként viszonylag ép (9. ábra),
- a bazaltláván semmilyen mállási jelenség nem észlelhető,
- a majnai kagylómész szétesése megindult, de még nem szorul cserére.

Viták a mállás oknyomozásában

A mállási jelenségek értelmezésére több kísérlet történt, az egyes vélemények harcosai szenvedélyes — néha személyeskedő — vitákban hangoztatták álláspontjukat. Ezek vagy a közettani minőséget, vagy a fagyhatást, illetőleg a légköri szennyeződést tekintik egyedüli oknak. Az elemzések során általában legkritikusabb kőzeteket, a schlaitdorfi (Schlaitdorf-környéki) homokköveket és a trachitokat vették figyelembe. A három főálláspontot a következőkben hasonlíthatjuk össze:



10. ábra. A déli kereszthajó szerkezeti anyaga schlaitdorfi homokkő (16)

I. A kőanyag minősége már eleve nem felelt meg?

A schlaitdorfi homokkő gyűjtőneve Stubensandstein, azaz szobahomokkő. E név Breyer (szóbeli közlése, 1985) szerint onnan ered, hogy a csekély kötési szilárdságú homokkő járőfelületeken rövid idő alatt homokká aprózódik, így szolgáltatván pl. évszázadokon át a württembergi parasztházak padlóját. Kaiser (1907) szerint azelőtt a homokkősorozat malomkősorozatából származtatták a leírások a kőanyagot, főleg kovasavas kötőanyagúnak írva azt le. Már Kaiser vizsgálatai sorozatában bebizonyosodott azonban, hogy a kötőanyag a vizsgált mintákban sosem volt kovasavas, hanem főleg kaolinból, dolomitból, ezek mellett esetleg baritból áll, a tisztán meszes kötőanyag jelenlétét sem tudta kimutatni. Már ekkor megállapították, hogy a kőzet egy tömbön belül is jelentősen változtatja porozitását és szem-nagyságát (10., 11. ábra).

Breyer (1960) Kaiser adatait értékelve a kőzetekben jelentős mennyiségű magnetitet és piritet mutatott ki. Ez utóbbiak mállása szerinte az eredetileg (1908–1910 körül) világos színű kőzet jelentős foltosodását okozta már 1926-ig. A kőzetben már Kaisernél kimutatott és később ismertető gipszképződést a pirit oxidációjára vezette vissza. Így Breyer véleménye szerint a schlaitdorfi homokkő önmagában hordta a mállás okait és nem volt szükség ehhez külső vegyi hatásra. Megállapítása szerint egyes épületekben e kőzet azért mutatkozott megfelelőnek, mert a „Schlaitdorf” gyűjtőnévbe számos kőzetkifejlődés tartozott, így a jobb minőségű padokból időtállóbb tömbök voltak fejthetők, és kerültek

kiválogatásra olyankor, amikor nem volt szükséges ily nagy mennyiségű kőanyag. Nem részletezi, de kijelenti, hogy a többi, mállással megtámadott kőanyag ásványos összetétele vagy porozitása alapján szintén már eleve alkalmatlan volt.

II. A mállás a fagyhatás következménye?

A mérsékelt égövön tevékenykedő szakember ki van téve annak a kísértésnek, hogy az időállóságot a fagyállóságra egyszerűsítse. A különböző mállási jelenségek szimptomái alig választhatók el egymástól, sőt igen gyakran lép fel karöltve több jelenség is (pl. a szulfátos) kéregképződés zárja le úgy a kőzetfelületet, hogy mögötte a nedvesség a fagyhatás révén szétmorzsolja a szövetet.

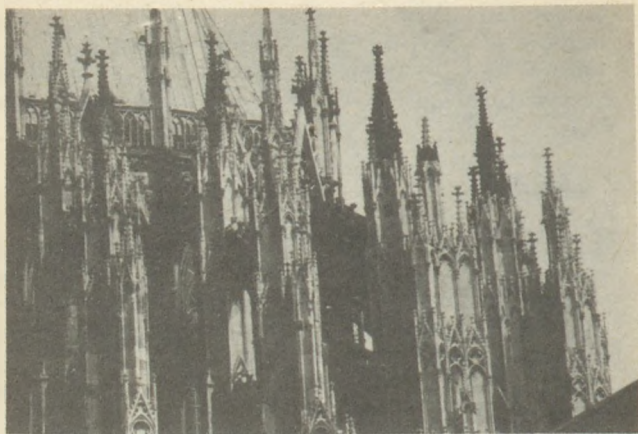
Minden porózus kőzetben közvetlenül is kialakul a fagyás jelensége, amennyiben a nedvesség utánpótlása biztosítva van. A kölni éghajlat nedves telet, gyorsan váltó fagy- és felengedésfolyamatokat jelent. Így a fagyhatás külső feltételei adottak.

Knetsch (1952) úgy találta, hogy a „tisztá fagyhatás viszonylag ritka”, ezzel szemben Breyer (1960, 1970) a fagyhatást tekinti (az eredetileg is rosszul kiválasztott) kőanyag tényleges mállási okának. Különösen azt hangsúlyozza, hogy a múlt századi munkáknál eltértek a középkorban szokásos vízelvezetési rendszertől és így a telőről minden víz a köveken mozog ma is lefelé, koncentrált víztelítést eredményezve (12. ábra).

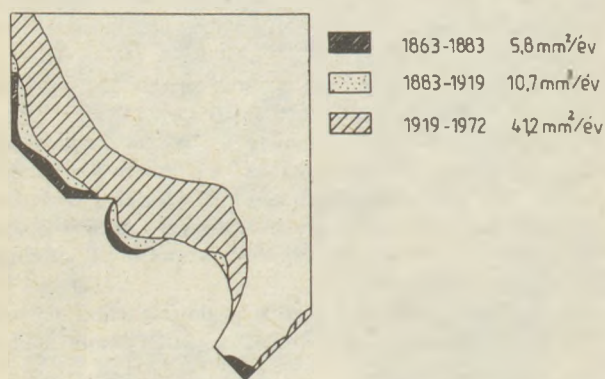
A kőzetek fagyállóságát a Hirschwald-féle telítési tényező alapján értékeli, amely szerint minden, a kölni dómon mállási



11. ábra. A schlaitdorfi, dolomitos kötésű homokkő fénymikroszkópos képe



12. ábra. A szerkezet kőanyaga tömött mészkő (24)



13. ábra. Egy faragvány keresztmetszetének csökkenése az idők folyamán (schlaidorfi homokkő, Wolf, 1976 szerint)

(szerinte kizárólag fagyási) jelenséget felmutató közet a „fagyveszélyes” kategóriába esik (azaz a telítési tényező meghaladja az általa határnak tekintett $S=0,85$ értéket).

Breyer felfogását a fagyhatás egyedüli vagy elsődleges jellegéről kevesen osztották. Különösen hevesen cáfolták e lehetőséget az építőpáholly szakemberei (pl. Wolf, 1976, 1980, Luckat, 1975). Nevezettek kizárólag a kémiai hatásokat tekintették mértékadónak, és a további teendőket is ennek a felfogásnak az alapján szabták meg, feltéve, hogy a károsítás kizárólag a légköri szennyeződés következménye.

III. A légköri szennyezés a kizárólagos mállási ok?

Már Kaiser (1907) részletesen foglalkozik a schlaidorfi jellegű homokkő kémiai összetételével; megállapítva, hogy pl. egy tömb ép részének alacsony szulfáttartalmával szemben a felület közelében annak 3—8-szorosa is található. Megállapította, hogy a szulfát mennyisége a felületétől néhány mm-re éri el a maximumot. Azt is kimutatta, hogy a szulfáttartalom felületi csökkenése egyben a (kalcium-) karbonáttartalom csökkenésével jár, és kijelentette, hogy az átalakulást létrehozó kénes sav kizárólag a kő anyagán kívülről származhat, és így csakis a füstgázok okozhatták a mállás fokozódó folyamatát (13. ábra). Részletesen foglalkozik a sókristályosodás folyamatával; és jelzi, hogy elvben lehetséges a sókristályosodás és kéregképződés által megbontott közet további pusztítása az így lehetőségessé vált fagyhatás révén.

Knetsch (1952) a tönkremeneteli formákat — az akkori felfogásnak megfelelően elemezve — csak kivételesen tartja fagy következményének, a vegyi hatást a talajképződéshez



14. ábra. Schlaidorfi homokkő riálása a székesegyházon

hasonlítja, Kieslingerre (1932) is hivatkozva. Az épületen belül nagyobb arányú nedvességmozgást tart lehetségesnek, és megfigyelések alapján a mállás intenzitásának jelentős növekedését tételezi föl nagyjából 1925—1950 között. Elsőnek foglalkozik egyébként a habarccsal, mint esetleges károkozó közeggel.

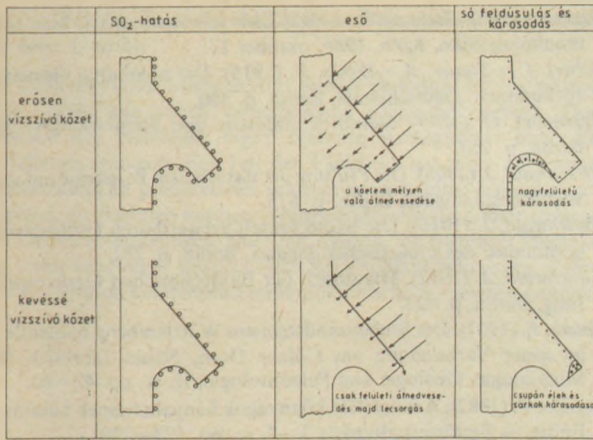
A magmás kőzetek mállásának különböző mértékét a kitéti hely függvényében a szabad fajlagos felület függvényének tartja, szerinte a szabad felület növekedésével a mállás is fokozottabb. A homokkövek mállását elsősorban a vízdoldható kötőanyag távozásával magyarázza (ennek ellentmond azon megfigyelésc, hogy a lényeges mállás a védett helyeken következik be, igen gyakran azokon a helyeken, amelyek mindig árnyékban fekszenek, 14. ábra).

Luckat (1975), az építőpáholly vegyész a kizárólagos vegyi mállás alapjaként tekintett légszennyeződést is már részletesen vizsgálta. A különböző kőzetekben jelentős mennyiségű, utólagosan keletkezett szulfátot mutatott ki, amelynek képződését az átlagban napi 100 mg/m² mennyiségű kéndioxid lecsapódásának tulajdonítja. A lényeges mállást azokon a kőveken észlelte, ahol a karbonát → gipsz átalakulás lehetséges volt.

Luckat kutatásai elsősorban a különböző kezelőszerekre irányultak, a kőzeteket is vegyi anyagokként tekinti, kőzetani, ásványtani sajátosságait kevésbé elemzi.

Kraus és Jasmund (1981) újra visszatérnek az elemzések során a kőzetteni kiindulópontonra. Leírt vizsgálatukban a két legfontosabb és egyben legtöbb problémát jelentő kőanyaggal, a drachenfelsi trachittal és a schlaidorfi homokkővel foglalkoznak. (Sajnos a kőzetteni adatok a kőzetalkotó ásványok gyakoriságát számszerűen nem tartalmazzák.)

A trachit üde anyagának 0,06%-nyi SO₃-tartalmával



15. ábra. Mállási jelenség a vízfelszívó képesség függvényében (Kraus, 1985 szerint)

szemben a szerzők szerint a kéregben, ill. felszínén 0,3—0,9% SO₃ található. A homokkő 0,1—0,3% SO₃-tartalma a felszín közelében esetenként 10%-ra is emelkedett, jelentős gipszképződést tanúsítva. A két kőzet szerintük is jelentősen különbözik porozitása jellegében: a homokkő porozitása igen nagy mértékben változik még egy-egy tömbön belül is, a trachit evvel szemben porozitásában is homogén.

Kraus-Jasmund szerint mindkét kőzetfajtánál a következő mállási szakaszok különböztethetők meg:

1. felületi oldás a felületre jutó nedvesség következtében,
2. új kristályok képződése a porúsvízből, mint oldatból,
3. az új képződmények feldúsulása és vándorlása,
4. a kristályosítás feszítő hatása.

1. Az oldódás elsősorban a homokkő dolomitos kötőanyagát, valamint a trachit kalcium-tartalmú plagioklászát érinti, a vizes oldat így Ca, Mg és Na mellett vasat és szilíciumot is tartalmazhat. E jelenség a felülettől mintegy 5 m mélységig mehet végbe.

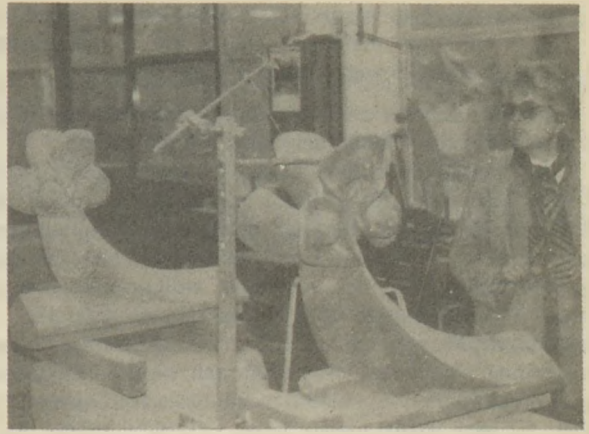
2. A felső, legfőljebb 1 cm-es rétegben játszódhat le a kiszáradás, kalcium- és magnézium-szulfátok (pl. gipsz, epsomit, thenardit) és kőso krikristályosodását hozva létre. A kétvegyértékű vas ekkor oxidálódik és így felületi rozsdás bevonatok képződnek.

3. Az előző két jelenség a kőzetfelületeken többszörösen ismétlődhet. A felületeken lecsurgó víz az oldatok egy részét oda is juttathatja, ahol a kőanyag maga könnyen oldható ásványokat nem is tartalmaz.

4. A kristályok részben közvetlen és a változó körülmények szerint ismétlődő kristályosítási nyomása a kőzet szöveti egyensúlyát megbontja. E közvetlen hatáshoz járul a kristályképződéssel új szöveti kifejlődésűvé vált külső kéregnek a kőzet egészétől eltérő hőtágulása. Ez a kristályosodási nyomással együtt a felületen kisebb-nagyobb hajszálrepedéseket okozhat, lehetővé téve a fagyhatást.

A mállást elősegítő hatásként értékelik a szerzők a trachitban a nagy — több cm-es — szanidin-kristályok jelenlétét. A kristályok határfelülete már eleve gyengített felület a kőzet belsejében, így a kristály és az alapanyag közötti hőtágulási különbség könnyen vezethet e kötés fellazulásához, hajszálrepedések képződéséhez.

Kraus (1985) kiegészíti az előbb említett Kraus-Jasmund (1981) tanulmány adatait, valószínűleg azért is, mert a különböző kőanyagok mállási jelenségei nem illeszkedtek be az ott ismertetett rendszerbe, különösen az eső által védett



16. ábra. Londoni bazaltlávából újjáfaragott elemek a kőfaragó műhelyben

kőfelületek jelentős mállása esetén. Így a kőzetek vízszívó képességét is bevezeti a mállási tényezők közé, de kizárólag a vegyi hatások szállítása szempontjából (15. ábra) értékeli azt.

A viták értékelése

A kölni dóm különleges ismertsége miatt a vele kapcsolatos viták is közérdeklődésre tartottak számot. Ezek a napilapok hasábjait is gyakran megtöltötték, de a szakemberek számos véleményt, választ és viszontválaszt írtak meg szaklapokban is. A mállási diszkusszió idején vált elterjedté a kőkezelés (kőkonzerválás) kérdése, a viták óhatatlanul erre is kitértek.

A vitákban Breyer hangsúlyozta a kőanyagok rossz kiválasztását, a — szerinte lassú — mállási folyamatokat elválasztotta a gyorsan ható fagyjelenségektől és a kőzetek tönkremenetelét kizárólag az utóbbiaknak tulajdonította. A megjelenő vegyi hatásokban csak a kőzetrendszeren belüli cserebomlást látta, legalább is a néhány évtized alatt kifejlődő jelenségek esetén.

Az építőpáholy szakemberei (elsősorban Wolf, Luckat, Kraus, Jasmund) minden mállást a légszennyeződésnek tulajdonítanak, és régebbi szerzők véleményét követve a fagyhatást csak alárendeltnek tekintik.

Nagyjából hasonló szembeállítás alakult ki a kőkezelés kérdésében is: Breyer (1963) szerint a kőkezelés főlegesen és általában káros, Luckat (1975) a különböző kezelőszerek összehasonlítására kiterjedt kísérleteket folytatott és a kezelést szükségesnek tekintette.

A nagyszámú vitacikket áttekintve és a helyszínen is megismervén a tapasztalatok egy részét, a kölni dóm hőmállási jelenségeinek megítélését a következők szerint vélem elfogadhatónak:

1. A mállási jelenségek nem az évszázadok óta ép kőzeten indultak meg hirtelen, hanem

— az eredetileg beépített kőanyagon régebben is észlelhető mállás az építés második szakaszában az érdeklődés előterébe került, esetleg a mállás sebessége valamelyest fokozódott is.

— az újonnan (a XIX—XX. században) beépített kőanyag — egyrésze teljesen megfelelt időállósági szempontból (pl. a máig üde obernkircheneri homokkő és a bazaltláva),

— nagyrésze viszont alkalmatlan lévén a beépítésre rohamos mállásnak indult (pl. a schlaitdorfi homokkő vagy a majnai gyalós mészkő).

Így Breyer állítását a kőanyagok egy részének eleve rossz minőségével kapcsolatban helyesnek kell elfogadni.

2. Az építőkövek mállása összetett jelenség, amely során mind a fagy hatása, mind pedig a légszennyeződés okozta vegyi hatások szerepet játszanak egyébként, most nem is említett hatások mellett. A jelenségek nem választhatók mereven szét. Így valószínűen Breyernek sincs igaza, amikor minden vegyi hatást a kőzetalkotók közötti reakcióként értelmez. A légszennyeződés egyedüli okként (pl. Wolf—Luckat írásában) szintén nem látszik elfogadhatónak, de az — legalábbis egyes kőzetfajtákon — a mállás megindítója és fő összetevője lehet. Az igen tagolt, mérete miatt mikroklimájában eleve igen változatos székesegyházon a mállásra a köelemek elhelyezkedése, alakja is igen nagy befolyással bírhat.

3. A kőanyagok kezelésével és a további teendőkkal kapcsolatban az eredetileg igen ellentétes álláspontok ma már kompromisszumos, a gyakorlatban bevált eljárásokhoz vezettek. Ennek főbb elvei a következőkben foglalhatók össze (Fitzner, 1986):

3.1. Szilárdító kezelést kell alkalmazni minden olyan köelemen, amely értékénél fogva közvetlenül megőrzendő és emellett teljes térfogatában átítható (impregnálható) a kezelő szerrel, akár a helyszínen készített szerkezetben, akár műhelyben.

3.2. Azokat az elemeket, amelyek vagy nem különlegesen értékesek, vagy csak nem itathatók át teljes térfogatukban, újjá kell faragni megfelelő kőzetből a jelenlegi ismeretek szerint az igen hosszú ideig időálló landorfi (vagy hasonló) bazaltlávából (16. ábra).*

3.3. Minden fenntartandó vagy újonnan kialakított köfelületet víztaszító kezeléssel kell ellátni, és a kezelést 5—10 évenként meg kell ismételni. Ehhez viszont a régebbi felületeket vizes-gőzös módszerrel le kell tisztítani. A tisztításhoz sem vegyi anyagot, sem szemcseszórást nem szabad alkalmazni.

Következtetés

A kölni dóm a kőzetmállási megfigyelések, valamint a kőzetkezelési próbálkozások és kísérletek iskolapéldája, vagy talán a tudomány hibáit is jól szemünk elé táró „állatorvosi lova”. Tudományos megfigyelések mintegy évszázad óta folynak; ha ezek a tudomány pillanatnyi és a kutatók személyéhez kapcsolódó személyi korlátok hatását tartalmazza is, jó alapot nyújtanak arra, hogy a megfigyelések folytatásával ne csak a mű fennállását lehessen művészeti hőszóggal biztosítani, hanem a mállási jelenségek megismerését is elmélyítsük.

Irodalom

- Breyer, H. (1960): Gründe und Ursachen für die Zerstörung der Bau- und Werksteine am Kölner Dom. Steinbruch und Sandgrube, 6—7. sz. pp. 269—274, 311—314.
- Breyer, H. (1963): Ist ein Schutz natürlicher und künstlicher Bausteine möglich? Bau und Bauindustrie 4. sz. pp. 119—122.
- Breyer, H. (1970): Das Wassersättigungsverfahren nach DIN 52113 zur Messung des Frostbeständigkeitsgrades von Gesteinen., Die Naturstein-Industrie, 5. sz. pp. 134—139.

* Az utóbbi években a mű hitelességét féltők tiltakoznak a köcsérék ellen.

Fitzner (1986): Ismertetés a RILEM kökonzerválási bizottság tanulmányútján, Köln, 1986. október 17.

Gabert, C.—Steuer, A.—Weiss, K. (1915): Die nutzbaren Gesteinsvorkommen Deutschlands, Berlin, p. 500.

Herrmann, O. (1899): Steinbruchindustrie und Steinbruchgeologie, Berlin, p. 923.

Hirschwald, J. (1908): Die Prüfung der natürlichen Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeiten Berlin, p. 675.

Hirschwald, J. (1910): Die bautechnisch verwertbaren Gesteinsvorkommnisse des Preussischen Staates, Berlin, p. 282.

Hirschwald, J. (1912): Handbuch der Bautechnischen Gesteinsprüfung, Berlin, p. 923.

Kaiser, E. (1907): Der Stubensandstein aus Württemberg, namentlich in seiner Verwendung am Cölner Dom, Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paleontologie, II. sz. pp. 42—64.

Kertész, P. (1982): A műemléki kőanyagok bányahelyeinek kutatása. Építés — Építészettudomány 1—2. sz. pp. 193—228.

Kieslinger, A. (1932): Zerstörungen an Steinbauten, Wien, p. 346.

Knetsch, G. (1952): Das Kölner Dom in der Geologie, Kölner Geologische Hefte, 2. sz. pp. 1—24.

Kraus, K.—Jasmund, K. (1981): Verwitterungsvorgänge an Bausteinen des Kölner Domes, Kölner Domblatt, 46. sz. pp. 175—190.

Kraus, K. (1985): Unterschiedliche Verwitterungsanfälligkeit der Kölner Dombausteine, Kölner Domblatt, pp. 101—104.

Luckat, S. (1975): Die Einwirkung von Luftverunreinigungen auf die Bausubstanz des Kölner Domes. III. Kölner Domblatt, pp. 75—108.

Mrusek, K. (1983): Wird der Kölner Dom völlig zur Kopie? Hessisch-Niedersächsische Allgemeine Zeitung 302. sz. p. 7.

Wolff, A. (1976): Gefahr für den Kölner Dom, Köln, p. 12.

Wolff, A. (1980): Die Gefährdung des Domes und die Arbeit der Dombauhütte, in: Das Kölner Dom, Jubiläumsbuch 1980, pp. 79—93.

Kertész Pál: A kölni dóm építőkövei — mállási jelenségek és okok

A kölni dóm két nagy periódusban (1248—1560 és 1824—1880) épült számos, különböző kőfajtából. Az újjáépítés befejeztével észlelt mállási jelenségek számos magyarázatot eredményeztek. A szakemberek egy része tisztán fagyhatásnak tulajdonította azokat, eredetileg is rosszul kiválasztott kőanyagon, mások kizárólag a fokozódó légszennyeződést tették felelőssé a romlásért. A különböző vélemények elemzése után az a meggyőződés látszik valószínűnek, hogy a kőanyag valóban rossz minősége mellett a mállási jelenségek komplex módon okozták a mállás jelenségét.

Кермес. П.: Явления выветривания строительных камней кельнского собора и причины этого

Кельнский собор был построен в два периода (1248—1560 и 1824—1880) из различных видов строительных камней. Явления выветривания, обнаруженные по окончании перестройки, нашли большое количество объяснений. Часть специалистов объясняла эти явления исключительно действием замораживания, особенно сильно проявляющемся в связи с выбором неблагоприятных каменных материалов, а другая часть считала ответственными за разрушения действиями воздушных загрязнений. После анализа различных мнений, наиболее вероятным можно считать, что наряду с плохим качеством использованного при строительстве каменного материала, явления выветривания являются ответственными за разрушения.

Der Dom von Köln wurde in zwei grosser Periode (1248—1560 und 1824—1880) aus vielen verschiedenen Steinarten gebaut. Das Beenden des Neubaus ergab mehrere Auslegungen über die Zerfallerscheinungen. Ein Teil der Fachleute hat diese der reinen Frostwirkung an grundsetzlich schlecht ausgewählten Steinen zugeschrieben, die Anderen machen verantwortlich für die immer steigenden Luftverunreinigungen. Nach der Analyse verschiedener Meinungen kann festgestellt werden, dass die Zerfallerscheinungen wahrscheinlich durch komplexen Einflussfaktoren hervorgerufen wurden.

The Cologne Cathedral was built in two long periods (1248—1560 and 1824—1880), of several, different stone sorts. After reconstruction, sever ageing of the stones was detected. According to some experts this is caused entirely by frost-and-thaw phenomena of the originally wrongly selected stone, while others claim air pollution to be responsible for deterioration. This paper critically reviews various opinions and concludes with a complex mechanism of ageing.

A világ szilikátiparából

Mozgás a spanyol síküvegszektorban

Az Asociacion de Empresas Fabricantes de Vidrio Plano, Madrid (Spanyol Síküvegyártók Szövetsége) 1986-ban néhány változást közölt, amely az ország síküvegyártási szerkezetében történt:

- A Cia Espanola para la Fabricacion Mecánica del Vidrio SA (Celo) 1985-ben leállította a Libbey-Owens-eljárással folyó húzott táblaüvegyártást és nem gyárt több síküveget.
- A Vidrietas de Llodio SA(Villosa) Bilbao mellé helyezte át táblaüvegyártását és az új 500 t/nap kapacitású gyárban a hagyományos Pittsburgh-eljárás helyett az úsztatott üvegyártási technológiát alkalmazza.
- Csökkenő kereslet miatt 1985-ben leállította öntött üvegyártó kemencéjét a Cristaleria Espanola SA (CESA), ugyanakkor elkezdte a gyártást a gépkocsi ablaküveg üzemének, 650 000 egység/év tervezett kapacitásra.

A spanyol síküvegyártás a változások után a következő nagyságúra becsülhető: 1580 t/nap úsztatott üveg, 440 t öntött üveg és ezen belül 2 200 000 autóüveg készlet. (Glass, 1986. aug.)

Újabb problémákat szül az erőművi kénmentesítés

A nyugatnémet gipszgyárakat aggasztják azok a környezetvédelmi törekvések, amelyek az erőművi légszennyezés radikális csökkentésére irányulnak. A költséges beruházások révén ugyanis mérsékelni fogják a kén-dioxid-kibocsátást, ami — az alkalmazott eljárás miatt — elengedhetetlenül azzal jár, hogy gipszhegyek halmozódnak fel. Az egyre kényelmetlenebbé váló melléktermék tömeges megjelenésével 1987 végétől mindenképp számolni kell.

A legnépesebb nyugatnémet tartomány, Észak-Rajna-Vesztfália környezetvédelmi minisztere úgy fogalmaz, hogy harcban állnak az idővel. Itt, ahol a legnagyobb a széntüzelésű erőművek sűrűsége, úgy vetődik fel a kérdés, hogy le kell állítani az erőműveket, ha nem találják meg a

melléktermékként nagy mennyiségben jelentkező gipsz ipari hasznosításának módját. Az erdőket pusztító savas esők és a korommal való légszennyezés megelőzését célzó intézkedések tehát egy másik ponton vetettek fel új problémákat.

A levegő szennyezése helyett most a felszíni környezet károsodásával kell szembenézni. A kéntelenítő eljárás lényege ugyanis az, hogy a szén elégetése után keletkező gázokat százezer szazapon áramoltatják keresztül, amely a kén tartalom jelentős hányadát leköti. A folyamat eredményeként azonban a bevitt mészkő mennyiségénél jelentősen több gipsz keletkezik. Az erőművekből ily módon kikerülő kalcium-szulfát tehát újabb gondok forrása. Egyrészt tiltakoznak azok a vállalatok, amelyek hagyományos módon állítanak elő gipszet, de az építőipari cégek is vonakodnak a nagyarányú felhasználástól, mert véleményük szerint a lakosság ellenérzést tanúsít a gyanús eredetű anyaggal szemben. Ha az ipari felhasználás nem oldható meg, akkor a havonta több százezer tonnányi mellékterméket valahol el kell helyezni. Ez pedig újabb aggályokat válthat ki, mert a kalcium-szulfát veszélyeztetheti az ivóvizeteket.

Az NSZK legnagyobb erőművi komplexuma, a Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk (RWE) máris vitába keveredett a tartomány környezetvédelmi minisztériumával. Az RWE, amely a legtöbb antracit- és lignitüzelésű erőművet üzemelteti, úgy vélekedik, hogy a korommaradványokat és egyéb szennyező anyagokat is tartalmazó szilárd gipsz tárolható a környezetben anélkül, hogy ez bármilyen módon károsítaná a vizet tartalmazó talajrétegeket. A környezetvédelmi minisztérium vitatja ezt a nézetet, és megtiltotta, hogy az RWE a kimerült lignittelepeken helyezze el a felesleges gipszet, amíg be nem fejeződnék a vizsgálatok.

Hasonló módon élénk ellenállást tanúsítanak a gipszet hagyományos módon előállító vállalatok is. Gyáraikból eddig 2,2 millió tonna gipsz került ki évente. Ez a mennyiség azonban jelentéktelenné válik, ha az évtized végén az antracitüzelésű erőművekből 2,5 millió tonna, a lignitet felhasználókból pedig 1,4 millió tonna gipsz kerül ki évente. A vállalatok szerint arra nincs esély, hogy a melléktermékként keletkező gipsz helyettesítse az eredetit, mert a felhasználók ellenállásán kívül azzal is számolni kell, hogy problémák jelentkeznek a szilárdsági és egyéb műszaki követelmények területén.

(Financial Times, 1986. dec. 31.)

Simó József, mai magyar porcelánfestő művész

MOLNÁR LÁSZLÓ

ELTE Művészettörténet Tanszék

A porcelánfestészet alkotói tevékenység, amely már az európai porcelán felfedezése utáni évtizedben kialakult.

A 19. században a kitűnő edénymintafestők készítettek festményekről kicsinyített képet, kópiát porcelánra. Az ilyen „miniatúra”-képek szinte valamennyi manufaktúra termékei között megtalálhatók, de ezek nem tekinthetők önálló kompozícióknak, alkotásoknak. A század második felének végén, a már nemzetközi híré Herendi Porcelángyárban is



1. kép. Tengeri hangulat, színes festésű tál, 1978



3. kép. Színek, formák harmóniája, színesen festett tál, 1980



2. kép. Az élet keletkezése, színesen festett tál, 1978

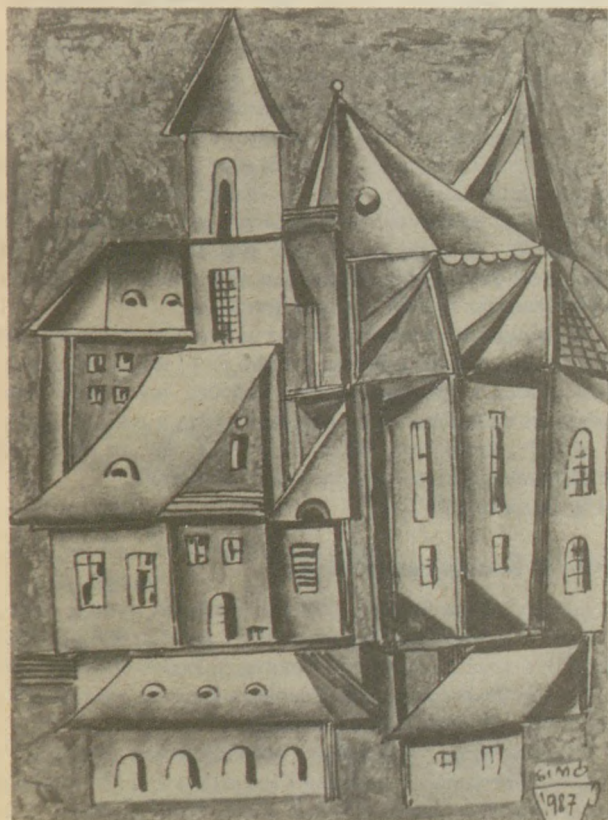
festenek ilyen képeket. Mindmáig nevezetes a gyári múzeumban látható ovális tálon J. F. Millet: Angelus c. festményének kicsinyített másolata.

Jelen tanulmányunk keretében sem részletesebben, sem a teljesség igényével nem foglalkozhatunk a porcelánfestés művészetének hazai történetével, mert szerény lehetőségeink azt nem engedik. A múlt felvillantása csupán azért történt, hogy előzménye legyen egy, a maga nemében különleges hazai porcelánfestészeti eredménynek.

Simó József porcelánfestése két forrásból táplálkozik: Több mint negyvenöt esztendeje, 1941-ben fiatalon került a Herendi Porcelángyárba, ahol a festés alapismereteit, majd speciális fogásait is elsajátította. Ezt a manulális képzettségét évtizedek alatt sem felejtette el, mai munkásságának ez az alapja. A másik forrás a festészet megismeréséből táplálkozik és az ehhez való kötődés sem az utóbbi években keletkezett. Bár 1948-tól évtizedeken keresztül a finomkerámia-ipar különböző vezető helyein tevékenykedett, porcelánművészeti ismereteit az időben is gyarapította. Ez időben ismerkedett meg a múzeumok festészeti remekeivel, találkozott a modern művészeti törekvésekkel, amelyek az európai festészetben a 19. század második felétől nyomon követhetők. Képzőművészeti önképzése során a modern festészet eredményei mély nyomokat hagytak benne. Ezek érlelődése kezdődött el mintegy két évtizede és a kísérletező útkeresés fáradtságos, de eredményes szép útjain haladva jutott el az utóbbi években létrehozott műveivel a mostani kiállításához (FIM STÚDIÓ 1987. II.).



4. kép. Mese, színes porcelánlap, 15 × 20 cm, 1983



5. kép. Szentendrei vázlat, színes porcelánlap, 15 × 20 cm, 1987

A tárlat keretében bemutatott közel félszáz porcelánfestmény a valóság képi elvonatkozásában egy következetes alkotói eltökéltségről tanúskodik. Elsőként kívánczik bemutatásra 1978-ból a „Tengeri hangulat”-c. (1. kép) kompozíció, amelyben a tenger növény- és állatvilága mesebeli szépségeiben és gazdag színeiben tárulkozik fel. A halak, kagylók, csigák, tengeri csillagok, meduzák, fűvek egységes kompozícióba foglalása különleges megfogalmazása a tenger mélyének Nem kevésbé jelentős az ugyancsak ez időben festett „Az élet keletkezése” c. kompozíciója (1978), amelyben az élet tejlődésének állomásai, pillanatnyi állapotok fogalmazódnak egységes képpé, a mindmáig megoldást kereső, kutató ember számára (2. kép). A színeinek harmóniája csak fokozza a kör alakú kompozíció nagyszerűségét. Ennek a formanyelvnek remek összefoglalása a „Színek, formák harmóniája” c. 1980-ban készített kompozíció (3. kép). Képeihez az évek során számos akvarellvázlat, tollrajz és ceruzatanulmány készült. Törekvéseinek lezárulását fejezik ki a festészetből táplálkozó élmények, amelyekben V. Kandinszkij, J. Miro, J. Tanguy és A. Masson művészetének alkotó elemei kiérikződnek. A kiemelkedő festők hatása felfedezhető a kortársak alkotásaiban, ezért nem tekinthető véletlennek azok feltűnése Simó József műveiben sem. Nála természetesen nem utánzásról, hanem egy mélyebben átértékelt és a kisméretű (15 × 15, 50 × 50 cm) porcelánlapnak, tondónak megfelelő egyéni értelmezésű megjelenéséről szerezhetünk bizonyosságot. Ennek az ösztönző élményanyagnak, képi világnak figyelmet érdemlő darabja 1983-ból a „Mese” (4. kép), amelyben a korábbi tapasztalatok fogalmazódtak meg a „mese” világából, a formák, alakok, színek, motívumok megformálásával. Az előbbiektől látszólag eltérő egyik legújabb műve a „Szentendrei vázlat” (1987), amely valójában nem is vázlat, hanem egy újabb képi élmény, egy új felfedezés és megközelítés művészi mondanivalója számára (5. kép). A korábbi alkotásainak elvonatkoztatásaitól eltérő, ismertebb művészi felfogásban jelenik meg a mértanias tömeg, ami ismételten egyértelmű kapcsolódást jelent a korunkban már klasszikusnak tekinthető kubizmushoz.

A kompozíciók színeiről: a halvány és dinamikus kékek, zöldek, sárgás árnyalatairól már előbb tettünk említést, azonban a technikai bravúr ahogyan: az arany, platina ötvözetek háttéri ragyogásait, opalizáló tónusait előidézi, sem hagyhatók figyelmen kívül munkássága eredményeinél. Bevezetőben két forrásra utaltunk, most szükségét érezzük a harmadik megemlékezésének, amely a szüntelen kísérletezésben, a téma festői megközelítésében és az ábrázolásban jutnak kifejezésre, műveinek ugyancsak félreismerhetetlen sajátos jegyci.

Simó József festői világképe összességében korszerű, mentes minden sallangtól, mások által meglátott, megfestett témák utánérzésétől. Művei eredeti megfogalmazások és sajátos elvonatkoztatások, egy-egy színes lehelletfinom kompozíciója miniatúrának is tekinthető.

Мольнар, Л.: Один из современных венгерских художников по фарфору

Molnár, László: Ein zeitgenössiger ungarischer Porzellankunstmahler

Molnár, László: A Hungarian Porcelain Painter Artist

A világ szilikátiparából

Tűzállóanyag-visszakeringetés a Szovjetunióban

A Szovjetunióban is egyre nagyobb hangsúlyt kap a használt tűzálló anyagok újrafeldolgozása, az ún. recycling.

A Szovjetunió Összövetségi Tűzállóanyag Intézetének adatai szerint 1 tonna samott-törmelékkel a tűzállóanyag-termelésben 1,5 tonna tűzálló anyag vagy kaolin takarítható meg, emellett 0,15 tonna fűtőanyag, 50 kWh elektromosenergia és 0,53 Rbl munkabér.

1 tonna magnezitalapú termék újrafelhasználása alapanyagként 2,3 t magnezit, 0,35 t krómérc, 0,25 t fűtőanyag, 60 kWh elektromosenergia és 0,65 Rbl munkabér megtakarítását teszi lehetővé.

Az újrafelhasznált tűzálló anyagok aránya a Szovjetunióban az utóbbi években 21–22% volt. Egyes vállalatok kísérletei alapján ennél magasabb, 30–35%-os arány is elérhető.

Az acélipari fejlesztés a tűzállóanyag-termelésben a jobb minőségek felé való eltolódást jelenti, egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert a magas Al_2O_3 -tartalmú anyagok. Nő a monolitanyagok (betonok, torkretmasszák stb.) szerepe. A XII. ötéves tervben a magas Al_2O_3 -tartalmú tűzálló anyagok termelését 30%-kal növelik, a korund és mullitkorund cikkekét 70%-kal, a szénalapú perikláztermékekét és az acélvákuumozók tűzálló anyagait (olvasztott anyagból és grafit tartalmú anyagból) és a lkerámiai szálasanyagokat a korábbinál lényegesen nagyobb mennyiségben fogják termelni.

1987-ben a szovjet tűzállóipar előtt az alábbi fontos feladatok állnak:

A „Magnezit”-kombinátban a széntartalmú perikláztermékek termelését szükséges növelni, a konverterbélések és elektrokemencék béléseinek készítésére. A széntartalmú perikláztermékek a kombinált fűtátású konverterekben történő felhasználás során jó eredményeket mutattak, jelentősen csökkentették a kohászat tűzállóanyag-költségét.

Növelik ezen kívül a vákuumozók tűzálló anyagainak és a perikláz spinellmasszák termelését is. A kombinát termelési-fejlesztési eredményeiről külön cikkben számolunk be.

A „Borovicsszkij” tűzállóipari kombinátban növelni fogják a magas Al_2O_3 -tartalmú termékek termelését az acélipari üstmetallurgiai folyamatokhoz szükséges tűzálló bélesek számára, illetve léghévitők béléseire. Növelik a krómmagnezit termékek termelését a folyamatos acélöntés számára.

A magas Al_2O_3 -tartalmú termékek közül még a blokkok és betonok termelésének bővítését tervezik.

A „Bogdanovszkij” tűzállóipari üzemben a folyamatos öntés tűzálló anyagain kívül monoblokdugók, bemezőlő kagylók növelik a szálasanyagok termelését és a periklázhabarcsok előállítását.

A „Vnukovszkij” és „Podolszkij” tűzállóipari üzemekben meghonosítják a korundmullit termékek gyártási technológiáját körkeverők béléanyagaihoz.

A „Kazogneupor” üzemben nagy hangsúlyt helyeznek az új típusú, hatékony tűzálló anyagok termelésére. Nagytisztaságú olvasztott spinelleket és korundtermékeket gyártanak.

A „Szeverszkij” dolomitkombinátban szálas tűzálló anyagok termelését tervezik növelni, valamint a közbenső üstök béléseinek hőszigetelő lapjait.

A „Szemilukszkij” üzemben bővíteni fogják a nagyolvasztó bélesek céljára gyártandó SiC-termékek termelését, a magas Al_2O_3 -tartalmú és a könnyített korundtermékekét, valamint őrlőműveket helyeznek üzembe.

A „Pantelejmonovszkij” üzemben vákuumozók számára az olvasztott tűzálló anyagok termelését növelik, és acélöntő üstök bélése számára periklázspinell alapú masszákét.

A szovjet Magnezit Kombinát tervei

A szovjet „Magnezit”-kombinát 1300 dolgozót foglalkoztat. A kombinát legnagyobb gondja jelenleg, hogy a termeléshez megfelelő nyersanyagokat biztosítson, miközben a kitermelhető magnezit minősége folyamatosan romlik. A kombinát 1975 óta foglalkozik magnezitdúsítással, nehéz-szuszpenziós módszerrel: a hazai gyakorlatban először itt alkalmaztak sósavas kémiai eljárást magnezitdúsításra. Ezzel 98%-os MgO-koncentrárum nyerhető, és lehetővé válik a szennyezőanyagok minimálisra csökkentése. Kísérleteznek fotometrikus eljárással is a dúsításban. Mindezek ellenére a megfelelő minőségű nyersanyagból még mindig nincs elegendő.

A XII. ötéves tervben az őrlő-dúsító üzemben rekonstrukciót hajtanak végre, és döntést hoznak a flotációs üzem építéséről. Az utóbbi években a kombinátban az acélöntő üstök tolózárlapjai gyártási technológiájának modernizálásán dolgoztak. Az alagútkemencében való kiegészítéssel a selejtet sikerült csökkenteni, ugyanakkor olcsóbb az égetés is. Kísérletezték az égetetlen foszfátkötésű tolólapokat is, melyek a kipróbálás során az égetett lapoknál jobb eredményeket mutattak.

A XI. ötéves terv során kezdték meg a kombinátban a csatornakiképzésű kifolyókagylók gyártását, ami lehetővé tette a fém sugar alakjának stabilizálását az öntés során.

Termékpalettájuk felőleli a tömör olvasztott foszfátkötésű periklázmasszák, porózus fűvókákat a fémek inertgázzal történő átfűvátásához, valamint vákuumozók tűzálló anyagait, melyek némely tulajdonságukban meghaladják a Radex termékeiket. A kombinát 14-féle tűzálló anyagot állít elő olvasztott anyagokból. Jelentősen nőtt az utóbbi években a króm-perikláz tűzálló anyagok termelése.

A „Magnezit”-kombinátban az új termékek bevezetésének általános gazdasági kihatása 1 milliárd Rbl-t tett ki. Az olvasztott termékek gyártása jelenleg deficites, így a veszteséges üzemelés elkerülése végett elengedhetetlen a rekonstrukció.

A XI. ötéves terv során 21,9%-kal nőtt az olvasztott tűzállóanyag-gyártó kapacitás a kombinátban. (Ognyeporü 1987/1.)

Növelik Kína magnezittermelését

Liaoning tartományban 1988-tól új bányát nyitnak, amely 50 kt/év kapacitással lép termelésbe. A 90-ig tartó tervidőszakban további 3 magnezitbánya belépésével számolnak, 110 kt/év összkapacitással. Jelenleg a kínai magnezittermelés évi 1 Mt, melynek felét exportálják.

Az acélipari válsággal összefüggésben a kereslet mérséklődése miatt azonban a közepes és gyengébb minőségű magnezitből csökkent a kivitel. Főbb exportpiacai: Japán, Közös Piac és az USA.

(Financial Times, 1987. január 14.)

A szerkesztésért felel:

Dr. Székely Ádám

Szerkesztőség:

Budapest VI., Anker köz 1—3. 1368

Telefon: 226-497

Felelős kiadó:

Budai Ferenc főigazgató

Kiadja:

Delta Szaklapíró és Műszaki Szolgáltató Leányvállalat

Budapest, IX., Közraktár u. 4. 1093

Telefon: 175-200

Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető a Hírlapkézbosztó Hivatalok és a Posta Hírlapelőfizetési és Lapellátási Irodáján 1900 Budapest V., József Nádor tér 1. vagy átutalással a 215-96 162 pénzforgalmi jelzőszámra.

Egy szám ára 26,- Ft. Előfizetés egy évre 312,- Ft.

Külföldön terjeszti a Kultúra, 1389 Budapest, Pf. 149 és a Magyar Média 1392 Budapest Pf 86-253

Neotyp Nyomdaipari Szolgáltató Kiszövetkezet

Felelős vezető: Kurucz Gábor

INDEX: 25250
HU ISSN 0013—970 X

