

# POLISZTIROL BETONOK TARTÓSSÁGA

## 1. BEVEZETÉS

A polisztirol habok tömeges gyártásának beindulása idején, az ötvenes években felmerült annak a gondolata, hogy azokban ne csak lágy habokat, hanem merevebb, térelhatároló szerkezetként használható, jó hőszigetelő elemeket is készítsenek.

Ennek lehetősége abból adódik, hogy az expandált (EPS) habokat két lépcsőben állítják elő a polisztirol granulátumból.

A polisztirol granulátumot sztirol gyöngypolimerizációjával készítik.

A gyöngypolimerizáció lehetőséget ad rá, hogy a rendszerbe alacsony forráspontú anyagokat keverjenek. A polisztirol granulátum 0,1-0,3 mm átmérőjű gyöngyök halmaza, a gyöngyök testsűrűsége kb. 1000 kg/m<sup>3</sup>. Az expandálás első lépcsőjében a gyöngyöket 100°C alatti hőmérsékletre melegítik, amikor is a benne lévő hajtóanyagok elgőzölögnek és a termoplasztikus anyagot 1-5 mm átmérőjűre felfújják. Így laza halmazt kapunk, amit kihülése után vagy speciálisan kialakított sablonokba töltenek, 110-120°C-ra hevítenek 0,5-1,3 bar túlnyomás mellett, amikor a habszemcsék összehegednek, vagy a laza halmazból cement-gipsz, vagy más kötőanyaggal habarcsszerű anyagot formálnak és ezután töltik-tömörítik zsaluzatban.

Az így megszilárduló anyagot nevezzük polisztirol betonnak (továbbiakban PSC-nek) annak ellenére, hogy a benne lévő maximális szemcsék mérete miatt inkább habarcsnak nevezhetnénk. Habarcsként csak akkor definiáljuk, ha habarcs funkciót látnak el (pl. vakolat).

Az így felhasznált polisztirol hab rugalmas-plasztikus tulajdonságú, mikrocellás szerkezetű. A cellák zárt szerkezetűek, így nedvességet csak nagyon kis mértékben vesznek fel (max. 1%-ban). A felvett nedvességet azonban gyakorlatilag sohasem engedik el.

A kis víz felvétele teszi lehetővé, hogy cementtel-vízzel keverve könnyűbetonok készüljenek belőle.

A polisztirol habok felülete azonban nem víztaszító, így lehetővé válik, hogy a cementszuszpenzió jól rátapadjon.

A hab rendkívül kicsi sűrűsége teszi lehetővé, hogy rendkívül kis testsűrűségű betonok készülhessenek belőle.

Más könnyűadalékos betonok testsűrűsége 400-600 kg/m<sup>3</sup> alá nem vihető, a polisztirol betonok akár 200 kg/m<sup>3</sup> alatt is használható.

## 2. TÖRTÉNETISÉG

A PSC-t az ötvenes években az akkori NSZK-ban találták ki. A BASF vállalat szabadalmaztatta. A szabadalmi védettség lejártá után terjedt el a világban a hetvenes években, így ekkor került hazánkba is.

A hernádi „Március 15.” Tsz. alkalmazta a Hunniahibrid rendszerben baromfi és egyéb állattartó épületekként.

Nagyon egyszerű technológiával állították elő az épület paneljeit.

L szögvasból összehegesztették a panel vázát, bezsaluzták, vasalták, kiöntötték PSC-vel.

Megszilárdulás után egyszerűen felállították, összeillesztették, hegesztéssel kötötték a paneleket, majd elkészítették az épülethez szükséges egyéb szerkezeteket.

Az épületek hosszú ideig jól kiszolgálták az állattartási technológiát.

A 22. ÁÉV főtechnológusa, Papp Aladár megbízta az Építőanyagok Tanszéket a panelok továbbfejlesztésével és a hozzá szükséges anyagtani összefüggések tisztázásával.

Így került sor a kutatás beindítására 1971-1972-ben.

### 3. A KUTATÁSI FELADATOK

#### 3.1. Szakirodalom összefoglalása

A szakirodalom áttanulmányozása teremtette meg a lehetőséget a laboratóriumi kísérletek megtervezésére. A laboratóriumi munkáink későbbiekben jól visszaigazolták a szakirodalmi adatokat.

Elsősorban Köhling [1], Runk [2], Jahontova [3], Hoefler [4], Hohhiller [5], Baum [6] és Schneider [7] adatai voltak értékesek, amelyek tisztázták a hajlító-húzó-, a nyomószilárdság testsűrűség, továbbá a rugalmassági modulus, térfogatállandóság, hőtechnikai tényezők, víz és páratechnikai tulajdonságok és a testsűrűség, cementtartalom összefüggéseit.

Ipari példákat adtak meg az alkalmazhatóságukra vonatkozóan.

A következőkben ezek nagyon rövid összefoglalóját adom meg.

[4] szerint tájékoztató jelleggel a következő összetételű betonokat lehet irányreceptúráként elfogadni abban az esetben, ha a polisztirol gyöngy felületét kellősítik.

A kellősítést végezhetik a bekeveréskor, vagy előtte.

Hatékonyabb az előzetes kellősítés, mert ennél a megoldásnál a keveréskor nem dörzsölődik le a kellősítőszer. Az ilyen a felületre felhordott és rögzített szereknek ugyanis előbb a keverővíz hatására gelesednie kell, miközben a keverés folyik.

A kellősítés feladata a gyöngy felületén kialakuló nagyobb tapadóerő megteremtése.

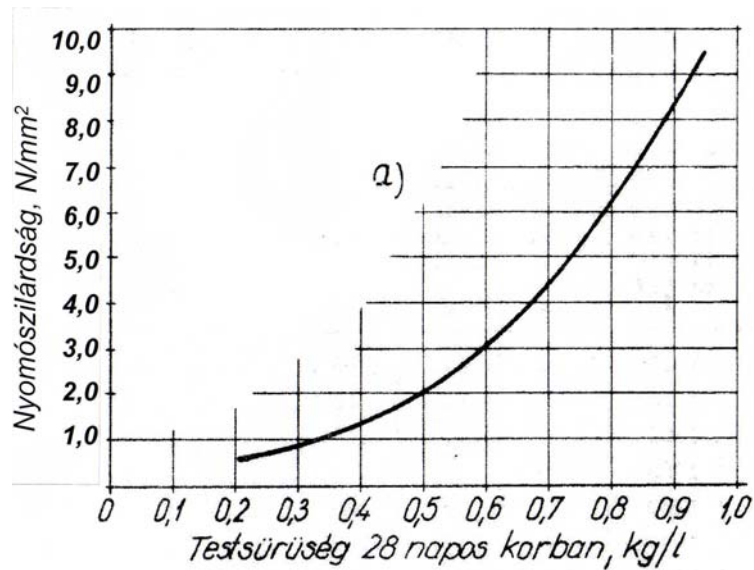
A táblázatból kivehető az összetételhez tartozó várható szilárdsági érték is.

#### 1. táblázat

Tájékoztató betonösszetétel helyszíni kellősítés esetén [4]

Frissbeton test-sűrűsége kg/m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup> szilárdbetonhoz szükséges					28 napos szilárdság N/mm <sup>2</sup>	
	polisztirol gyöngy l	cement Z 275 kg	homok 0-1,5 kg	víz kg	v/c	nyomó	hajlító-húzó
300	1100	200	-	105	0,52	0,5	0,5
400	1100	285	-	120	0,42	1,0	0,7
500	1100	340	40	130	0,38	1,5	0,8
600	1085	380	90	140	0,37	2,5	0,9
700	1065	390	165	155	0,40	3,5	1,0
800	1040	390	260	165	0,42	4,5	1,1
900	1000	400	340	175	0,44	6,0	1,2
1000	950	400	433	180	0,45	8,5	1,3

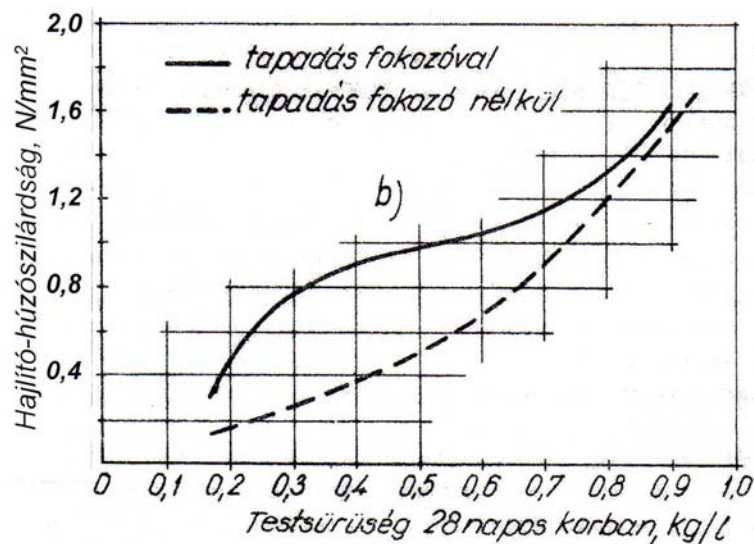
Az 1. ábrán bemutatom a testsűrűség-nyomószilárdság összefüggést.



1. ábra: Az összefüggés a 28 napos beton testsűrűsége és szilárdsága között  
a) nyomószilárdság.

Azonnal felmerül a kérdés, hogy mennyire szükséges kellősiteni a felületet.

[4] vizsgálatai alapján erre elsősorban a 200-700 kg/m<sup>3</sup>-es testsűrűségek között van szükség, mert itt emeli meg jelentősen a hajlító-húzószilárdságot. Lásd 2. ábra. (A mi vizsgálataink eredményei ettől eltérőek voltak.)



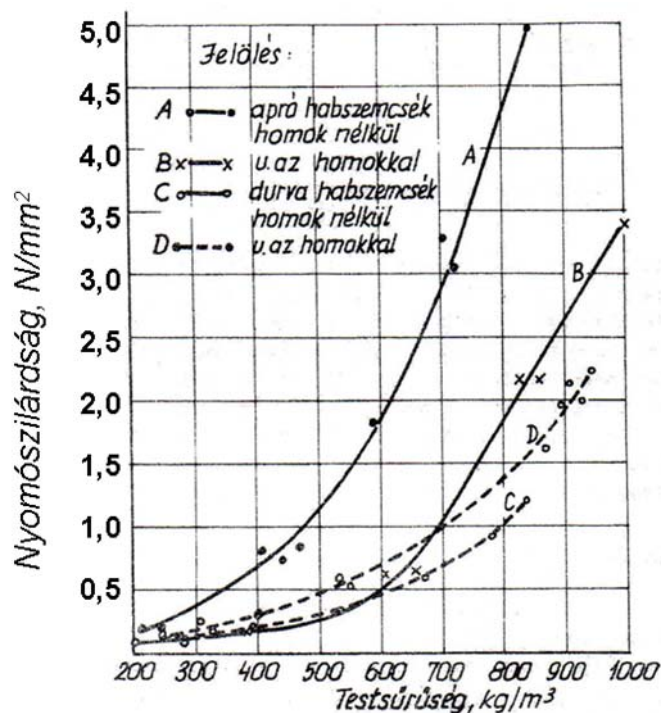
2. ábra: Az összefüggés a 28 napos beton testsűrűsége és szilárdsága között.  
b) hajlító-húzószilárdság.

Itt merül fel az egyéb tényezők hatása a beton tulajdonságaira vonatkozóan.

Elsősorban a nagyobb testsűrűségeknél homokot is használnak a cementkötőanyag mellett. (Lásd 1. táblázat)

A homok szemnagysága, összetétele, mennyisége jelentősen befolyásolja a beton tulajdonságait.

Az összefüggéseket [3] alapján a 3. ábrán mutatjuk be.



3. ábra: Összefüggés a beton testsűrűsége és nyomószilárdsága között.

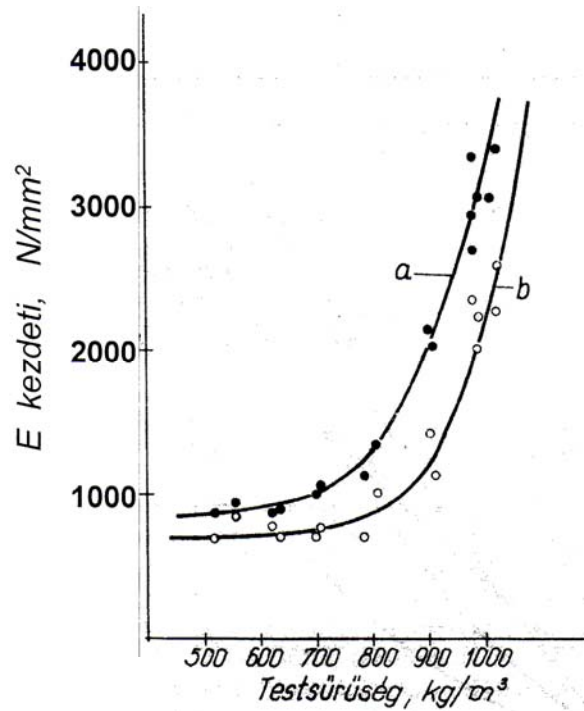
Természetesen ezzel összefüggően a habszemcsék nagysága is megváltoztatja a beton tulajdonságait.

Az 1. sz. táblázat adataiból látható, hogy a PSC-nél a nyomó- és a hajlító-húzószilárdság aránya eltér a szokásos betonoknál tapasztalt kb. 10:1.

A kisebb testsűrűségek esetén ez akár 1:1 is lehet.

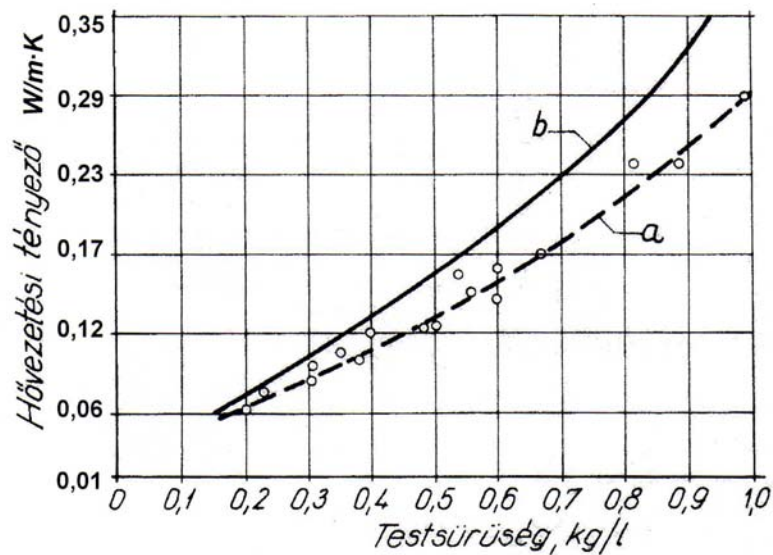
Ez azt jelenti, hogy ezekben az esetekben a polisztirol gyöngy alapanyag alaptulajdonságai érvényesüljenek, persze megfelelően kis abszolút értékek mellett.

Ahhoz, hogy a PSC erőtanit viselkedését jellemezni tudjuk ismernünk kell az alakváltozási tulajdonságait is. [6] szerint a testsűrűség összefüggésében a 4. ábrán látható görbe adódik a kezdeti rugalmassági modulusok alakulásában.



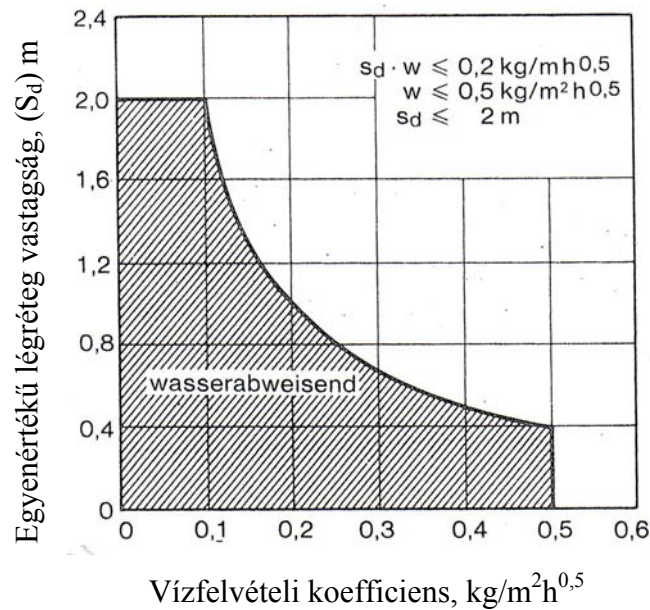
4. ábra: Nyomási E-modulus (Young-modulus) a beton testsűrűsége függvényében.  
 a) a vizsgálati feszültség kb. a hengerszilárdság harmada;  
 b) a vizsgálati feszültség kb. a hengerszilárdság 1/12-e.

A PSC hővezetési tényezői és a testsűrűsége között [4] szerint az 5. ábra szerinti összefüggés áll.



5. ábra: Hővezetési tényező a testsűrűség függvényében.  
 a) mérési eredmények DIN 52612.1 lap szerint  
 b) számított értékek DIN 52612 szerint.

Általában a betonok víz- és páramozgására vonatkozó összefüggését a 6. ábra szemlélteti.



6.ábra: Vízszítóképesség kritériumai

A PSC-ék az ábrán jelölt kvázi hidrofób terület szélére sorolhatók, ha a kötőanyag mátrixban megteremtjük a hidrofób struktúrát (zárt gömbpórusok), akkor elérhető a telje hidrofobitás is.

A polisztirol gömböcskék felülete lassítja a vízáramlás sebességét egyrészt, mert a kapcsolódó felületi réteg tömörebb, mint a cement paszta struktúrája, másrészt megnövekedik a felszívódó víz útja a gömbök felületén.

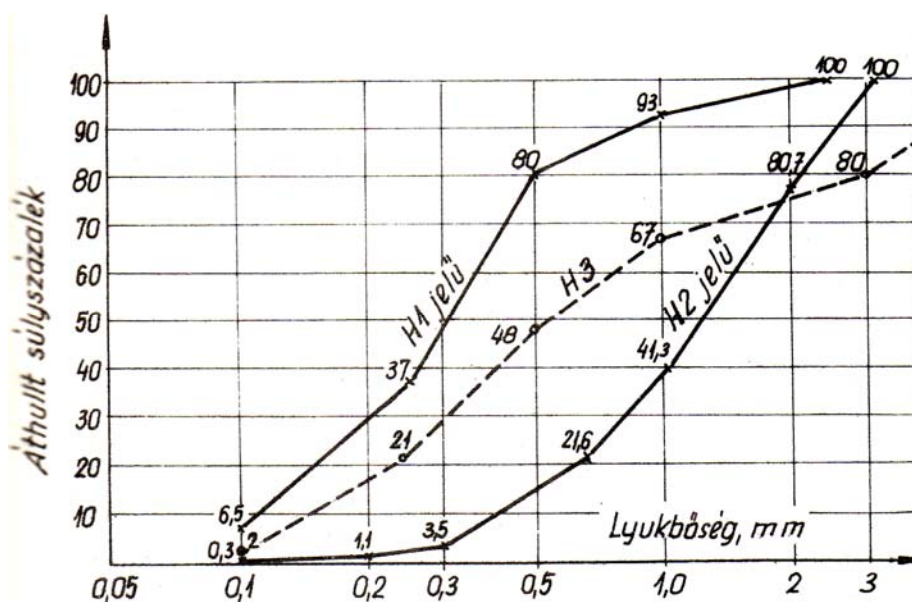
### 3.2. A kutatási feladat végrehajtása

A PSC-ből sokféle szerkezet építhető meg (útalapok, takaréküregek, ill. ahhoz hasonló szerkezet könnyítések, hőszigetelő bevonatok, vakolatok, stb.).

A feladatunk az önhordó, sőt teherviselő vasalt panelek előállítására volt. Ehhez végig próbáltuk a PSC betonok különféle változatait.

A próbatesteinken mért szilárdsági, alakváltozási, hőszigetelési tulajdonságok az irodalomban találtakhoz hasonlóak, ezért erről csak összefoglaló jelleggel számolok be.

Kétféle homokkal készítettünk próbatesteket. Ezek szemcseösszetételét a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra: Homokok szemmegoszlási görbéi

Az elkészült próbatestek szilárdsági és összetételi adatait a 2. táblázatban közöljük.

2. táblázat

H 2 és H2 jelű homokkal készített polisztirol gyöngyadalékos beton szilárdsága

Kísérlet jele	Cement, kg 1 m <sup>3</sup> gyöngy- halmaz	C : V : H 1 : H 2	Hajlító-	Nyomó-	Kiszáritott beton testsűrűsége N/mm <sup>2</sup>
			szilárdság kp/cm <sup>2</sup>		
60	400	1:0; 32:0; 14:0; 11	0,53	1,30	564
61	355	1:0; 33:0; 28:0; 12	0,49	1,01	532
62	355	1:0; 33:0; 33:0; 06	0,50	0,86	569
63	400	1:0; 33:0; 20:0; 05	0,52	1,36	599
64	400	1:0; 33:0; 22:0; 03	0,58	1,82	599
65	355	1:0; 33:0; 37:0; 03	0,50	0,92	579
66	400	1:0; 31:0; 11:0; 14	0,53	0,87	539
67	445	1:0; 30:0; 10:0; 03	0,70	1,48	584
86	600	1:0; 33:0; 17:0; 075	1,383	4,335	929
87	525	1:0; 26:0; 26:0; 14	1,335	4,77	933
89	377	1:0; :0; 65:0; 34	0,884	2,395	855
90	312	1:0; 39:0; 93:0; 48	0,655	1,987	878
92	750	1:0; 34:0; 12:0; 05	1,662	5,162	931
93	625	1:0; 33:0; 24:0; 16	1,558	5,743	935
94	500	1:0; 38:0; 50:0; 25	1,431	4,125	948
95	375	1:0; 45:0; 93:0; 40	1,0263	3,613	902
96	300	1:0; 54:1; 25:0; 67	0,732	2,20	920

Vizsgáltuk a betonok készítéséhez szükséges technológiai tényezők hatásait a tulajdonság kialakulására vonatkozóan.

Megállapítottuk a következőket:

- A PS gyöngyöt zárt, huzatmentes, száraz helyen kell tárolni.



- A keverés közönséges ejtődobos keverőben is végezhető.
- A keverés sorrendje szigorúan betartatandó, mert különben a keverés nehézségekbe ütközik. Ezek szerint:
  - A tiszta keverőbe a vizet mérjük be.
  - A cementtel-homokkal habarcsot készítünk. Ha szükséges az adalékszereket is beadagoljuk.
  - A PS-t fokozatosan úgy adagoljuk a keverékben, hogy az adott mennyiség gyorsan összekeverődjék a habarccsal.
- A zsaluba vibrátorral, lehetőleg tű- és/vagy lapvibrátorral tömörítsük a betont. Tűvibrálni nem szabad, ezért a technológus az adott receptúrát, szerkezetméretet figyelembe véve állapítsa meg a tömörítési időt.
- Az utókezelést mindenképpen nedves körülmények között kell végezni, de víz alá helyezni tilos a betont. (A korai időkben kiúsznak a szemcsék.) Az utókezelés legalább egy hétig tartson.
- 3 naponál korábbi állapotban ne vegyük igénybe a betont.
- Sürgős esetekben 80°C alatt gőzölhető is a szerkezet, de nagyon fontos, hogy előtte legalább 2 órát pihentessük. A gőzölés növeli a szerkezet zsugorodását.
- A PSC zsugorodása viszonylag nagy, de a zsugorodás mértékadó része a korai időkben lezajlik.  
1000 kg/m<sup>3</sup> testsűrűségű betonok zsugorodása jelentősen nagyobb, mint a normál testsűrűségűeké (1-2%).
- A betonok hővezetési tényezője az összetétel függvényében a 3. sz. táblázatban található.

### 3. táblázat

A polisztiroltartalom változásának a hatása a beton szilárdságára

Kísérlet jele	Cement, kg	C : V : H 2	Hajlító-	Nyomó-	Kiszáritott beton testsűrűsége kg/m <sup>3</sup>
	1 m <sup>3</sup> gyöngyhalmaz		szilárdság N/mm <sup>2</sup>		
122	2500	1:0,46:3,0	2,836	14,4	1918
123	1660	1:0,46:3,0	2,526	13,166	1891
124	1250	1:0,35:0,23	1,986	9,406	1717
125	1000	1:0,46:3,0	1,900	7,406	1596
126	837	1:0,46:3,0	1,706	6,413	1549
127	715	1:0,46:3,0	1,88	6,160	1504
128	625	1:0,46:3,0	1,206	4,806	1439
129	555	1:0,46:3,0	1,153	2,506	1302
130	500	1:0,46:3,0	0,916	2,606	1202
131	440	1:0,46:3,0	0,803	1,426	1156
132	417	1:0,46:3,0	0,723	1,700	1128
133	385	1:0,46:3,0	0,82	2,533	1074
134	357	1:0,46:3,0	0,600	1,260	1126
135	250	1:0,46:3,0	0,313	0,400	876
136	200	1:0,46:3,0	0,23	0,296	767
137	287	1:0,46:3,0	0,393	0,623	992
138	222	1:0,46:3,0	0,236	0,430	943



A panelek gyártásánál alapvető gondot jelentett a vasalás korrózióvédelme.

Erre annak idején két mód kínálkozott.

- Az acélbetét felületét korrózióvédő anyaggal vonjuk be.
- A paneleket szendvicselemekként képezzük ki, azaz a hőszigetelő magra kétoldalt tömör kéregbetont-habarcstot hordanak fel, ebben a rétegben helyezük el az armatúrát.

Az első megoldást egyéb könnyűszerkezetekben, betonokban annak idején már használták.

Érdekes módon a korrózióvédelmet különféle festékek felhordásával, ill. bitumenes anyagokba való mártással képzelték el.

Ma már megállapítható, hogy ezek biztosan nem voltak jó megoldások.

Az ilyen rendszerű bevonatok erősen gátolták az acélbetét tapadását a betonmátrixhoz.

Az ilyenfajta bevonatolási technológia helyes anyagtani megoldása csak később alakult ki az epoxigyanták felhordásával, ami biztosította az acélhoz hasonló rugalmassági modulusú bevonati réteget.

Normál betonszerkezetekben való alkalmazásuk ma már elterjedt megoldást jelent erősen korrozív környezetű vasbeton szerkezetek kialakításánál, bár jelenleg is folyik a vita a biztonságukról. Az epoxi réteg megsérülésekor, ami könnyen előfordulhat szállításkor-szereléskor, a korrózió azonnal és intenzíven indul meg a hibahelyeken az ún. szellőzési galvánelem kialakulásával.

A pótlólagos korrózióvédelem szükségességét már abban az időben is vitattuk, a következő megfontolás alapján.

- A polisztirol gyöngy lég- és vízfelvevő képessége nem nagyobb a cementpépénél, ezért az acélhoz nem jut több oxigén, mintha normál betonban volna.
- Az acélbetétet cementbázisú massa veszi körül, tehát, ha az nem karbonátosodik nagyobb mértékben, mint a tömör normálbeton, akkor nincs nagyobb korróziós veszély sem.

A nagyobb korróziós veszélyt elsősorban az okozza, hogy a pillekönnyű polisztirol gyöngyöknek az acélbetéthez való tömörödése helyenként nem olyan mértékű, mint a normál adalékanyagok esetében, ezért helyi fellazulások fordulhatnak elő.

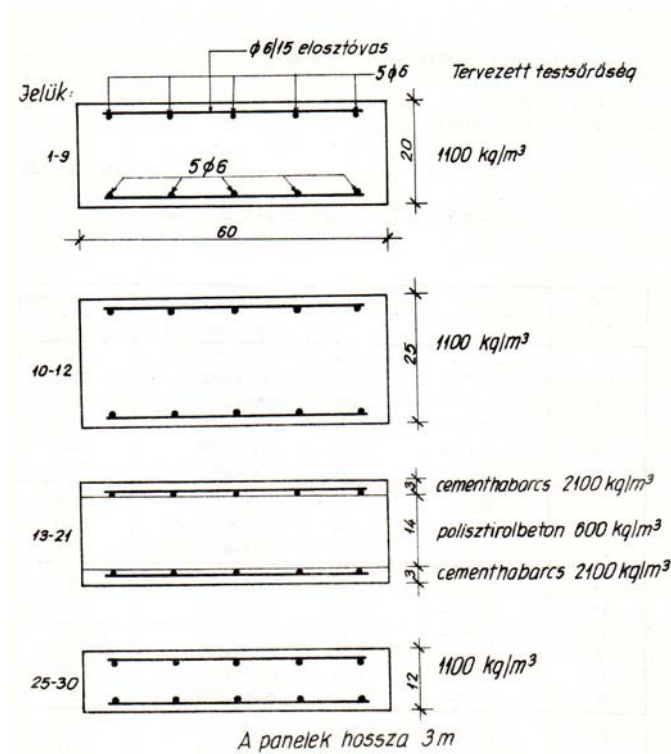
A biztonságos korrózióvédelemhez mi a nagyobb fedettséget javasoltuk.

A szendvicspanelok alkalmazására mégis szükséges volt gondolnunk.

A PSC felülete ugyanis morzsolódó jellegű, tehát olyan helyeken, ahol erős koptatási, vagy más dinamikus hatásoknak is ki van téve a szerkezet, ott azt valamivel védeni kell.

A védelem lehet egy felületi bevonat is, ám könnyebb és tartósabb megoldásnak láttuk egy-egy kétoldali habarcsréteg felhordását.

A tervezett panelek méreteit és vasalását a 8. ábra szemlélteti.



8. ábra: A kísérletek során készített panelek terve.

Az elkészült panelek viselkedését különféle terhelések mellett vizsgáltuk.

- Vizsgáltuk egyenletesen megoszló teherre
- Vizsgáltuk vonalmenti teherre
- Vizsgáltuk tartós teherre
- Ellenőriztük a szendvicspanelek merevségi tulajdonságait.

Ezek eredményeit a Balázs, Gy.–Kovács, K.–Papp, A. Polisztirol gyöngyadalékos könnyűbeton című tanulmányában [9] foglaltuk össze, ott részleteiben tanulmányozható.

#### 4. A KUTATÁSI MUNKA UTÓÉLETE

Sikeres kutatást hajtottunk végre, amelyben tisztáztuk a PSC anyagtani és néhány szerkezeti tulajdonságát.

Ez alapján konkrét megoldás is született egy lehetséges, sorozatban gyártható panelrendszer előállítására.

A panelek nagyüzemi gyártásának előkészítése is megtörtént, a Típustervező és Tervezés Fejlesztő Intézet dolgozott a panelek továbbfejlesztésén ipari és lakóépületi célokra.

Ám 1973-ban beütött az első olajválság, aminek következtében a polisztirol termékek ára 30-50%-kal megemelkedett, és ezzel elvetették annak a gondolatát, hogy ezekből valaha is nagy sorozatokban gyártható paneleket készítsenek. (Pedig akkor nem tudták, hogy 1976-ban újabb olajválság keletkezik, majd utána folyamatos olaj, ill. energia krízis nyomorítja az iparfejlesztési technológiákat.)

A polisztirol betonok készítése azonban megtermékenyítették a hőszigetelési technikát.

Sorra születtek a különféle megoldások a polisztirolos hőszigetelő szerkezetekre.

Ezeknek a kutatás-fejlesztési munkáknak egy részében is részt vettünk a Tanszéken.

Így született meg pl. a Hóstop hőszigetelő vakolat, majd a különféle habbetonokkal kombinált tetőszigetelési eljárások stb.

Van azonban az alapkísérletből közvetlenül is folytatódó tapasztalati vonal is. Ez pedig a megvizsgált és egyébként jó állapotban maradt panelek másodlagos felhasználásából származnak.

Ilyen paneleket építettünk be három szituációban:

- Beltérben közfalként
- Kültérben járdaként (csak a szendvicspaneleket)
- Kültérben részben légtérben, részben talajban

A paneleket 1973-ban gyártottuk és 1974-75-ben építettük be. A szerkezetek tehát 35 évesek és legalább 33 éve állják ki a környezetükben előforduló hatásokat.

A vizsgálatot 2008. február-március havában folytattuk le.

Először helyszíni szemlét tartottunk, amelynek tapasztalatait a következőkben foglaljuk össze.

– Belső tér

A falazat száraz és vakolt.

A vakolaton nem tapasztalható semmiféle kül- vagy belsőoldali sérülés.

A panel csatlakozásoknál hajszálrepedés látható.

A vakolatot megbontva, alatta a polisztirol beton felülete tökéletesen ép, elválkozás nem észlelhető. A habarcs a betonfelületből a polisztirol szemcséket kiragadta.

– Kültérben járdaként

A panel felületén a távtartóként használt acélbetét részek helyenként a felszínen találhatóak, érdekes módon csak futórozda található rajtuk.

A kis fedettségű keresztirányú osztóvasak a felszín alatt elszíneződtek, enyhén rozsdásak.

A záróhabarcs állapota jó, majdnem hibátlan. (1. fotó)



A panel eredeti vizsgálatakor keletkezett keresztirányú repedés élesen kirajzolódik, helyenként kitöredezett. (2. fotó)



Néhol a kis fedettségű betonacél felett a beton kitöredezett, alatta az acél rozsdás.  
(3. fotó)



- Kültérben levegőben  
A beton felületéből a polisztirol gyöngyök kiperegtek, olyan kinézete van, mintha mállana a beton. (4. fotó)





Megdörzsölve a felületét vékony rétegben hámlik a habarcs. Alatta azonban szilárd a cementes habarcs.

Látható, hogy a felületre moha telepedett meg, ami részben a környezetbarát jellegét mutatja a szemlélőnek, részben pedig bizonyíték arra, hogy a növényből származó huminsavak a betonrétegbe hatolnak.

A normál betonhoz való csatlakozásnál zsugorodási hézag keletkezett. Feltehetően a PSC zsugorodott mintegy 1-1,5 mm-t. (5. fotó)



Nem lehet azonban azt megállapítani, hogy a PSC nagyobb mértékben romlott volna le, mint a normál beton.

– Kültérben talajban

A talajszint alatti humuszos rétegben a PSC erősen elszennyeződött, erősen sáros. (6. fotó)





A sarat vízszugárral lemosva azonban előkerült a tiszta PSC felület.  
A felületi polisztirol gyöngyök itt is hiányoznak, de a beton jó állapotú.

#### Egyéb vizsgálatok

A helyszíni állapot rögzítése után a betonfelületek jellemző helyeiből 3-3 db.  $\varnothing = 80$  mm magmintát fűrtünk ki, amelyek állapotát szemrevételeztük.

Jellemző 2 db magminta felületet a 7. fotó mutatja.



A magminták palástján jól kivehető a beton szerkezete. (8. fotó)



Látható, hogy a polisztirol szemcsék elhelyezkedése a cement mátrixban egyenletes és a felületi kontaktusok jók.

A kép jobb alsó sarkában az acélaratúra metszete látható. Észlelhető, hogy egyik része eredetileg sem volt tökéletes kontaktusban a cementpasztával, köztük hézag található.

Az acélfelülete egyébként nem rozsdás. A nem érintkező felületen futórozsdá látható. Ez a magminta egyébként kültéri talajfeletti részből került ki. Az acélbetét fedettsége kb. 3 cm volt.

Sajnos azokon a helyeken, ahol a külső légtéri betonoknál az acélfedés csekély volt, ott rozsdásodtak is.

Ilyen jellemző képet mutat a 9. fotó. Ebben az esetben a mintegy 20 cm vastag panelt lapjával fűrtam meg és hosszába vágtam el a felülettől mintegy 2 cm mélységben lévő acélbetéteket.



A magminta palástján maradó rozsdanyomokat a 10. fotó szemlélteti.





Megjegyzendő, hogy a rozsdás acélbetétek keresztmetszete kb. 10-20 %-ban csökkent.  
A szendvics szerkezetű panelekből kifűrt magminták palástjának jellemző képét a 11. fotó szemlélteti.



Látható az egyenletes szemszerkezeti kép. Az acélbetétek a tömör és a PSC részben egyaránt megtalálhatók.

Állapotuk tökéletes, nem rozsdások annak ellenére, hogy az eredeti bedolgozás sem volt tökéletes. Lásd a jobboldali hengeren lévő kontaktushibát. Megfigyelhető, hogy a PSC és normál beton csatlakozása és egymásba ágyazódása is tökéletes.

A kifűrt magmintákon alkoholos fenoltaleines oldattal megvizsgáltuk a karbonátosodás mértékét.

A 8-11. fotón az látható, hogy a kifűrt paláston mindenütt lúgos indikációt kaptunk, ami nyilvánvalóan helytelen. Ennek oka az, hogy a fűróiszap beszennyezte a teljes felületet.

Ilyen okok miatt a karbonátosodás vizsgálatot a fűrt minták szilárdsági vizsgálatát után a próbatest roncsain megismételtük. A következő eredményeket kaptuk.

PSC fajtája	Környezet	Karbonátos mélység, mm	Acélbetét mélység, mm
vakolt PSC 25-cm-es	beltér	18-23	25-30
„csupasz” PSC 25 cm-es	kültér levegő	30-40	25-30
„csupasz” PSC 25 cm-es	kültér talaj	18-25	25-30
szendvics PSC 25 cm-es	kültér levegő oldal	15-20	20-30
szendvics PSC 25 cm-es	kültér talaj	10-15	20-30

A karbonátosodási helyzetnek megfelelően az egyes fűrt próbatesteken jól látni, hogy az acélbetétek rozsdásodni kezdtek. (12. fotó)



Ahol az acélok lúgos pH-jú környezetben vannak, ott nem rozsdásak, illetve csak olyan esetekben, ha az acélt nem ágyazza be tökéletesen a cementmátrix és felületközelsége miatt a környezeti levegő és nedvesség közvetlenül éri. (13. fotó)



A kifűrt magmintákat egységesen 100 mm hengermagasságra vágtuk le. Az acélbetétek részeit eltávolítottuk a furatból. Ugyancsak eltávolítottuk a szendvics panelek normál betonos fedő rétegeit. Ezáltal a tiszta polisztirol beton részeket vizsgálhattuk.

A hengereken meghatároztuk a testsűrűségeket, majd meghatároztuk a nyomószilárdságukat is.

PSC fajtája	Környezet	Testsűrűség kg/m <sup>3</sup>	Nyomószilárdság, N/mm <sup>2</sup>	
			Egyedi	Átlag
„csupasz” 20 cm-es	beltér	935	4,82	4,67
		1010	5,23	
		948	3,96	
„csupasz” 25 cm-es	kültér, levegő	1050	3,22	3,13
		945	3,12	
		982	3,05	
„csupasz” 20 cm-es	kültér, talaj	981	2,83	3,14
		942	3,25	
		956	3,33	
szendvics 25 m-es belső rész	kültér, talaj	975	3,86	3,18
		980	2,92	
		1012	2,76	

Az eredmények alapján leszögezhető, hogy a PSC 35 év alatt nem veszítette el szilárdságát. Sajnos az eredeti vizsgálatoknál fűrt minták szilárdságát nem elemeztük. A nyomószilárdsági adatok hasáb alakú próbatestek ún. testszilárdsági adataiból származnak. Ezek a szilárdsági értékek inkább a jelenlegi értékek alatt vannak.

Ez biztosan bizonyítja, hogy az elmúlt időben szilárdságmrolás nem volt.

#### **Struktúra vizsgálata**

A PSC fontos része a polisztirol habgyöngy. A műanyag habok tulajdonságát ismerve feltételezhető az anyagának valamilyen mértékű degradációja.

A degradáció mindenképpen térfogatsökkenéssel, zsugorodással járó folyamat.



Ezért célszerű volt megvizsgálni a polisztirol szemcsék kapcsolatát a cement kötőanyaggal.

Ilyen célból szemléltük meg a fűrt, majd eltört felületeket.

A 14. fotón egy tört felület képe látható.



Észlelhető, hogy a kiszakadt és bennmaradt polisztirol gyöngy szemcsék aránya kb. 50-50%.

A kiszakadt felületeken a polisztirol szemcsék beleragadt maradványai láthatók.

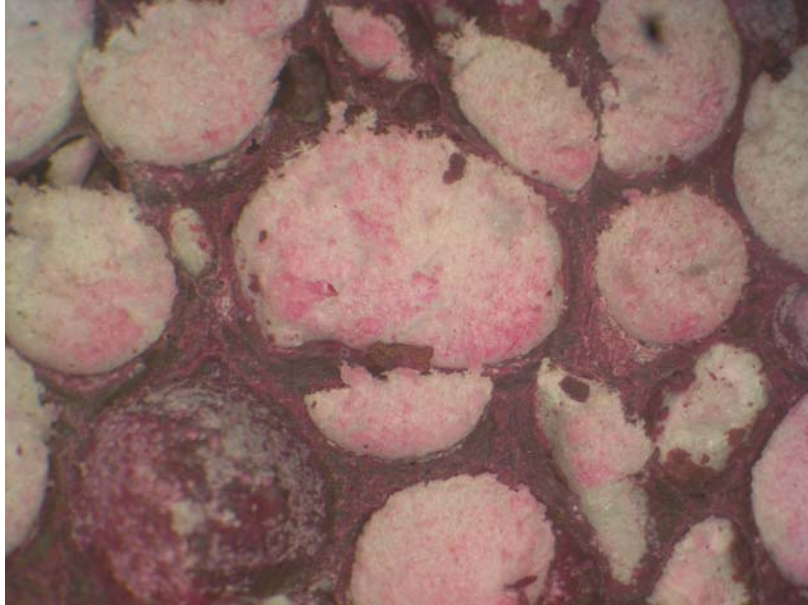
Megjelenik a felületen az eredeti cementmátrix is. Ezek sötétebb, a szemcsék körvonalait ölelő alakúak.

A töret lenyomatán jól kivehető a mész kivirágzás is.

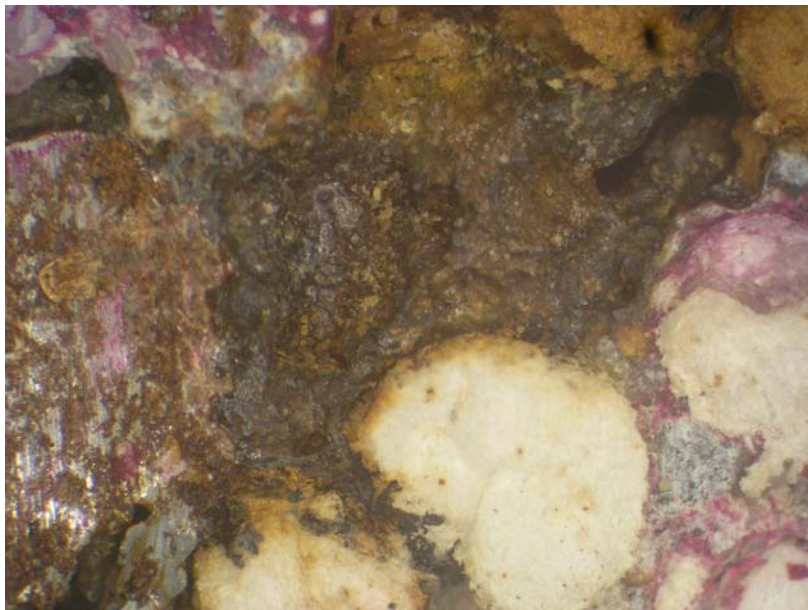
Összességében az észlelhető, hogy a polisztirol-cementpép kapcsolata ma is tökéletes.

A tökéletesebb nyomon követés érdekében mikroszkóppal is megvizsgáltuk a kapcsolatot.

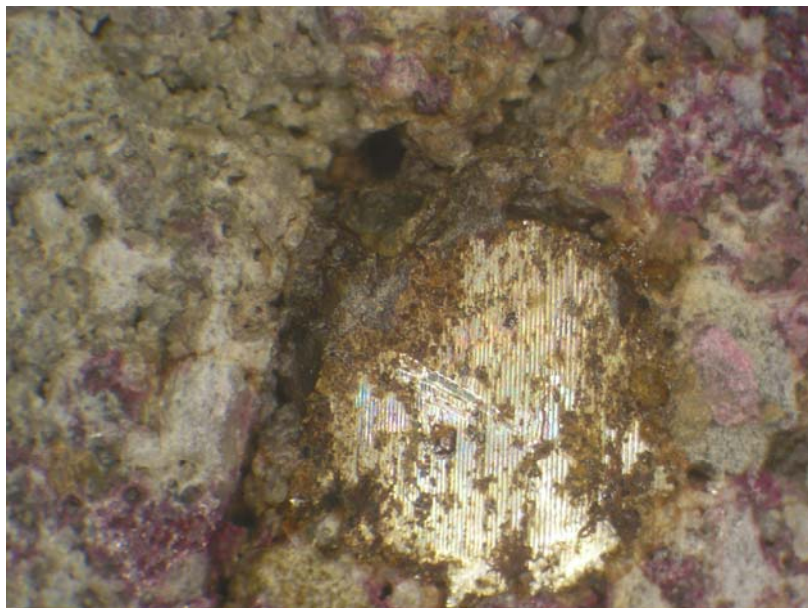
Kb. 20-szoros nagyításban is tökéletes tapadást észleltünk a szemcsék és a cementpép között (15. fotó).



Tökéletesen összedolgozott felületet láttunk a szendvicselemek kétféle betonja között (16. fotó).



Látható, hogy a PSC rész felülete lúgos (nem karbonátos). Azoknál a PSC elemeknél, ahol az acél karbonátos rétegben fekszik és rozsdásodik, megfigyelhető a rozsdanyomás okozta mikrorepedések keletkezése (17. fotó).



### **MEGÁLLAPÍTÁSOK**

Megállapítható, hogy a polisztirol betonok (PSC) tartóssága 35 év távlatában nem rosszabb, vagy nem észrevehetően rosszabb a közönséges kvarckavics adalékos betonokénál.

A lég-, ill. szén-dioxid áteresztése kissé nagyobb a normál betonokénál, mindamellett a legalább 30 mm-es betonfedéssel rendelkező kezeletlen acélbetét gyakorlatilag korróziómentes az elemekben.

A beton készítésénél a tömörítésre nagyobb gondot kell fordítani, mert az acélbetéteknél a beton polisztirol szemcséi könnyebben megakadnak, és ilyenkor hézagok maradnak a betonban.

A beton jól tűri a kültéri és talajalatti viszonyokat is.

A felületére ráhordott védőbeton réteg jól működő szendvicset képez.

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

Több mint 35 éve kísérleti úton meghatároztuk a PSC alapvető tulajdonságait.

Néhány kedvező összetétellel a vasalt panelok előregyártását alapoztuk meg.

Meghatároztuk a panelok teherviselési, hőtechnikai tulajdonságait. A vizsgálatok befejeztével az elemeket másodlagosan hasznosítottuk. 35 év elteltével meghatároztuk a betonok nyomószilárdságát, a korróziós stabilitását, az acélarmatúrák védettségét.

Megállapítható, hogy az eredeti receptúrákkal előállított elemek anyagtanilag kiváló állapotban vannak. Továbbfejlesztésükkel ma is érdemes lenne foglalkozni.

### **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Köszönetemet fejezem ki prof. emeritus Dr. Balázs Györgynek, aki az 1971-75 közötti munkát irányította és vezette, s engem kezdő kutatót az anyagtudományokkal megfertőzött.

Ugyancsak hálával emlékezem néhai Papp Aladárra a 22. ÁÉV főtechnológusára, aki lehetővé tette a kutatás finanszírozását és jó ipari felhasználási területeket jelölt ki számunkra.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] KÖHLING, K.: Die Herstellung von Dichtbeton unter Verwendung von vorexpanierten (R) Styropor-Partikeln als Zuschlagstoff. Betonstein-Zeitung 1960.H.5. p 208-212.
- [2] RUNCK, W.: Schaumstoffe aus Polystyrol in der Sicht des Bauingenieurs. VD1 Berichte 1966. H. 103.
- [3] JAHONTOVA, N.E.-AVGYEJEV, G. K.-KLOKOV, V. A. és ANCEROVA, G. P.: Legkij beton sz Zapolnitelem iz polisztiroljnogopenoplaszta. Sztroityelnüe Materiali 1962. 12. szám p.13.
- [4] HOEFER, G.: Herstellung und Anwendung von Styropor-beton. Beton 1973. H. 7. p. 296-302.
- [5] HOHWILLER, F.-KÖHLING, K.: Styropor-Leichtbeton Betonsteinzeitung Heft 2/1968 p. 81-87, Heft 3/1968 p. 132-137.
- [6] BAUM, G.: Styropor als Zuschlagstoff für Mörtel und Beton. Betonwerk + Festigteil Technik, Heft 3/1973. p. 189-193. Heft 4/1973. p. 274-277.
- [7] SCHENIDER, W.: Erfahrungen an Versuchstrecken mit Dämmschichten aus Schaumkunststoffen. Strassen-Technik No 3. Febr. 1979 p. 113-123; Nr. 4 115. Febr. 1969. p. 176-181.
- [8] Balázs, Gy.-Kovács, K., Papp, A.: (1975) Polisztirol gyöngyadalékos könnyűbeton. BME, Építőanyagok Tanszék. Tudományos Közlemények. 15 kötet. pp 1-111. Közlekedés Dokumentációs Vállalat, Budapest