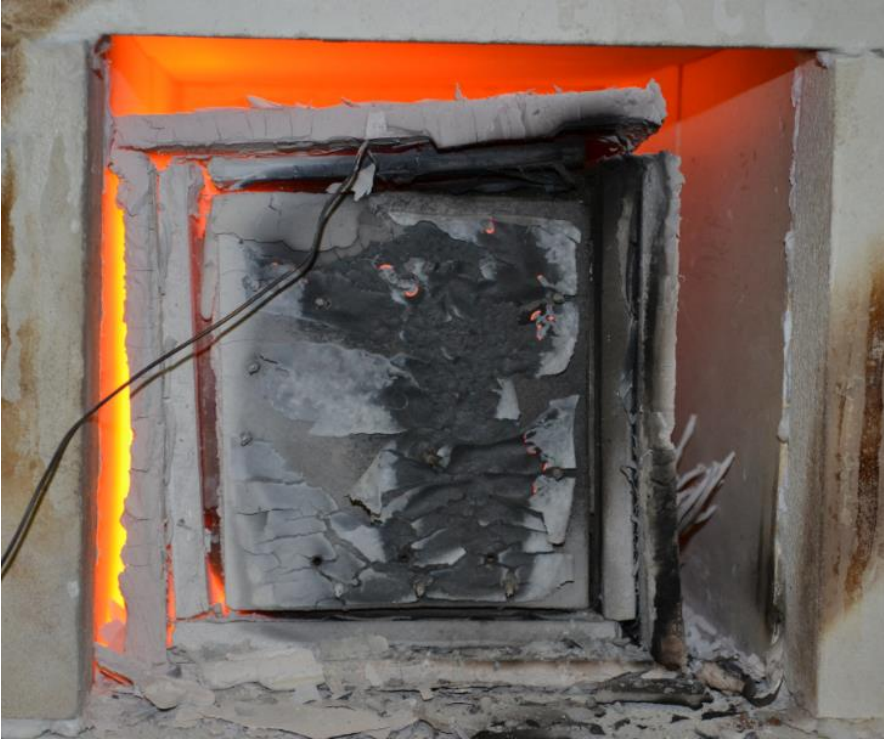


TDK dolgozat



KOMBINÁLT TŰZVÉDELMI BURKOLATOK

Pákozdi Csaba
2014

Konzulensek:

Dr. Majorosné Dr. Lublós Éva
adjunktus

Czoboly Olivér
doktorandusz

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	2
1.1 Kutatás jelentősége	2
1.2 Kutatás előzményei	2
1.3 Kutatás célkitűzése	3
2. Irodalmi áttekintés	4
2.1 Tűz jellemzői	4
2.2 Szerkezeti anyagok viselkedése tűz során	5
2.2.1 Acél	5
2.2.2 Beton	7
2.2.3 Fa	10
2.3 Tűzvédelmi anyagok	13
2.3.1.1 Gipsz	13
2.3.1.2 Tűzálló gipszkarton	14
2.3.1.3 Gipszrost lap	15
2.4 Cement kötésű lapok	16
2.5 Kőzetgyapot	16
3. Kísérleti terv	18
3.1 Próbatetek	18
3.2 Burkolatok	19
3.3 Kemence	20
3.4 Kísérletek elrendezése	21
4. Kísérletek eredménye, értékelésük	23
4.1 Tűzálló gipszkarton burkolatok	23
4.1.1 A burkolat leromlásáról általában	23
4.1.2 Fa próbatet	25
4.1.3 Beton próbatet	27
4.1.4 Acél próbatet	28
4.1.5 Polimer beton próbatet	29
4.1.5 Összefoglalás	31
4.2 Gipszrost lap burkolatok	33
4.2.1 A burkolat leromlásáról általában	33
4.2.2 Beton próbatet	35
4.2.3 Acél próbatet	36
4.2.4 Összefoglalás	37
4.3 Cementkötésű lap burkolat	39
4.3.1 A burkolat leromlásáról általában	39
4.3.2 Beton próbatet	40
4.3.3 Acél próbatet	41
4.3.4 Összefoglalás	42
5. Mérési eredmények összehasonlítása	44
6. Összefoglalás	47
Köszönetnyilvánítás	49
Irodalomjegyzék	50

1. Bevezetés

1.1 Kutatás jelentősége

Az emberiség történetét végig kíséri a tűz, a lángok szeretete és gyűlölete. Onnantól kezdve, hogy az ember megtanulta használni, volt egyszerre a fejlődésünk motorja és elpusztítója. Számos alkalommal rombolta le épített környezetünket (64 Róma, 1066 London, 1871 Chicago).

Ezért nagyon fontos épületeink védelme, az épített környezet illetve az emberi életek megóvása. Napjainkban ez egyre nagyobb szerepet kap, egyre „felkapottabb” téma lesz a tűzvédelem, ezt jól mutatják az egyre szigorodó szabványok is. Ez nem véletlen, hiszen a megfelelő technológiák, méretezési eljárások emberéleteket menthetnek.

Magyarországon a különböző Eurocode-ok szabályozzák a tűzvédelmi méretezést.

1.2 Kutatás előzményei

Dolgozatom előzménye a 2012-ben Czető Istvánnal együtt készített TDK dolgozat melynek címe „Teherhordó szerkezetek gipszkartonos szigetelésének tűzállósági vizsgálata.” Abban a dolgozatban különböző típusú gipszkarton szigeteléseket hasonlítottunk össze.

A kísérleteket normál és tűzálló gipszkartonból készült próbatestek, illetve a gipszkartonok és különböző hőszigetelő anyagokból alkotott tűzvédelmi burkolatokat. Vizsgálataink során acél, fa próbatesteket láttunk el a különböző tűz elleni szigetelésekkel, ugyanis legtöbb esetben ezen anyagok tűzvédelménél használják leggyakrabban a tűzvédelmi burkolatokat. A vizsgálatokat beton próbatesteken is elvégeztük, ezek direkt védelmét ugyan nem követelik meg a szabványok, csak megfelelő keresztmetszeti kialakításuk szükséges, de mint az épületeinknél leggyakrabban használt anyagot, fontosnak tartottuk a beton vizsgálatát is.

Az akkor elvégzett kísérleteket az alábbi táblázat foglalja össze (1.1 táblázat).

1.1 táblázat: A 2012-es TDK dolgozatban elvégzett vizsgálatok

Gipszkarton típusa	Hőszigetelés típusa				
	Kőzetgyapot		EPS	XPS	
	Vizsgált szerkezeti anyag				
Normál	Fa	Beton	Acél		
Tűzálló	Fa	Beton	Acél	Beton	Beton

Méréseink során megállapítottuk, hogy a 10. percig, azaz 100 °C-ig az összes vizsgált burkolat viselkedése megegyezik. Magasabb hőmérséklet tartományokban azonban már jelentősek a különbségek. Végeredményként azt kaptuk, hogy a leghatékonyabb burkolat kőzetgyapot és tűzálló gipszkarton kombinációjaként állt elő.

1.3 Kutatás célkitűzése

Az előző dolgozatban nem vizsgáltunk meg más tűzvédelemre egyre gyakrabban használt anyagokat, mint a *gipszrost lemez*, illetve a *cementkötésű lapokat*.

Azonban fontosnak tartom, hogy ezeket az anyagokat is vizsgálat alá vonjam, annak céljából, hogy kiderüljön melyik anyag miként, és milyen hatékonysággal látja el a szerkezetek védelmét. Hiszen hasonló anyagokból, hasonló elven működő szigetelésekről van szó.

Ezek az anyagok nem mutatnak drasztikus tönkremenetelt tűzterhelés során, a gyakorlatban mégis kicserélik őket a tartószerkezeteken, még ha a szerkezet károsodása ezt nem is indokolja. Így lényegesnek tartom annak tisztázását, hogy valóban nem használhatóak ezek az anyagok újból egy tűzeset után?

Emellett napjainkban egyre nagyobb szerepet kap a gazdaságosság kérdése is, így dolgozatomban érintőlegesen kitérek ezeknek a burkolatoknak a költségvonzatára is.

Tehát dolgozatom során az alábbi kérdéseket szeretném megválaszolni.

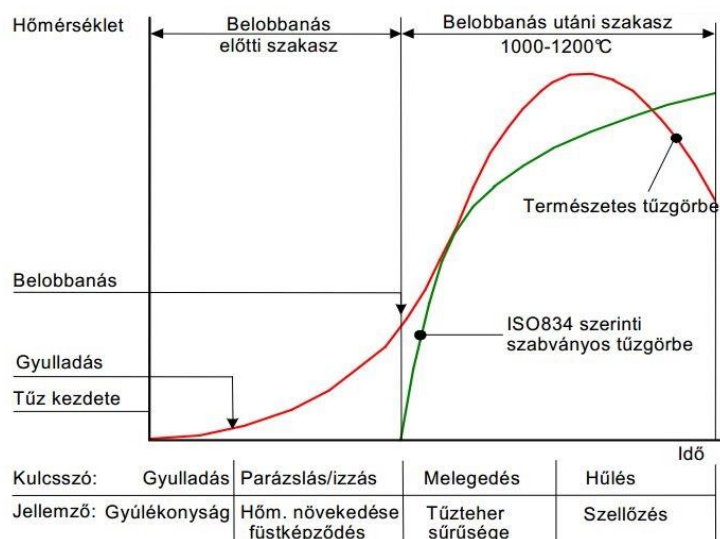
- I. A gipszkarton, gipszrost és cementkötésű lap védelmek közötti különbségek feltárása, előnyök, hátrányok, hatékonyságuk meghatározása.
- II. Újra felhasználhatóságuk mérlegelése.
- III. Gazdaságosságuk összehasonlítása.

2. Irodalmi áttekintés

2.1 Tűz jellemzői

A tűz kontrollálatlan égési folyamat, melynek létrejöttéhez három tényező együttes megléte szükséges. Ezek a tényezők: éghető anyag, oxigén és gyújtóhatás. A tűzvédelem célja az éghető anyagok védelme, a gyújtóhatás elkerülése, illetve a megfelelően méretezett szerkezet biztosítása. Ehhez szükségünk van a tűz folyamatának ismeretére.

A természetes tűz három fázisra bontható, ezek a szakaszok a növekvés, a kifejlődés és a hanyatlás szakaszai. A tűz kezdeti szakaszában lokális tűz alakul ki. Az égés során éghető gázok keletkeznek, ezek koncentrációja egyre nő a tűztérben (pl.: szobában). Egy bizonyos koncentráció felett pedig bekövetkezik a teljes lángba borulás, azaz az éghető gázok belobbanása. Ezt követően intenzíven növekszik a hőmérséklet, majd az éghető anyag elfogyásával következik a hanyatlás szakasza (2.1 ábra).



2.1 ábra: A természetes tűz fázisai. A természetes tűz és a szabványos tűz összehasonlítása [1]

A természetes tűz pontos leírása azonban nem használható hatékonyan a tűzvédelem során. Ezért annak leírására szolgáló tűzmodellre van szükség. A tűzmodell a tűztér minden pontjában egyenlő hőmérsékletet feltételez. Olyan hőmérséklet-idő görbével modellezi a tüzet, ami a valóságban nem létezik, de remekül lehet vele közelíteni a valós folyamatokat. A különböző típusú tüzekre más-más görbét ad meg a szabvány. Mindegyikben közös az, hogy rövid idő alatt nagy hőmérséklet növekedést feltételez, és nincs hanyatló szakaszuk.

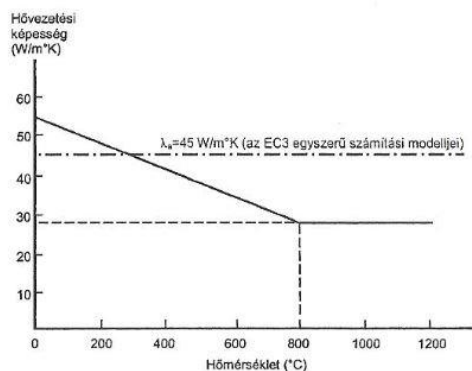
A tűz modellezésével az EC1-1-2 fejezete foglalkozik. Itt adják meg a szabványos tüzet leíró, méretezésre leggyakrabban használt ISO834-es görbét.

2.2 Szerkezeti anyagok viselkedése tűz során

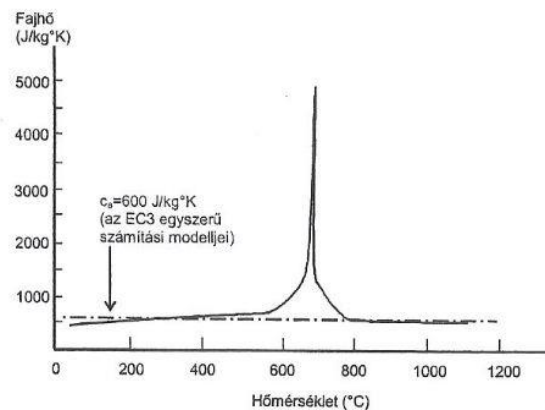
2.2.1 Acél

Tűzteher esetén a hőmérséklet emelkedésének hatására megváltoznak az acél fizikai majd kémiai tulajdonságai. A változás gyorsasága eltérő melegen hajlított illetve hidegen hengerelt acélok között, de mindenképp bekövetkezik.

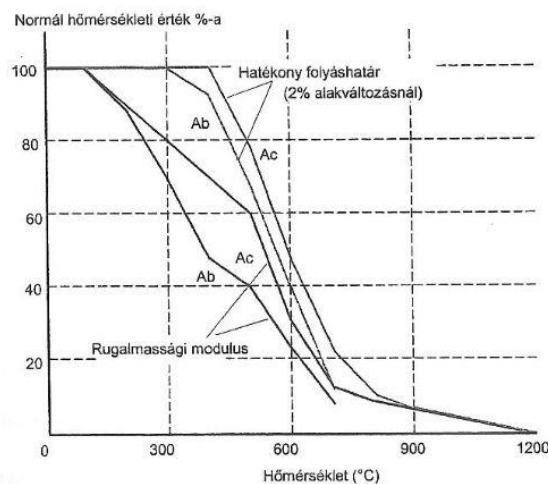
Az acél hővezetési tényezője, fajhője illetve szilárdsági és merevségi jellemzői is folyamatosan változnak a hőmérséklet hatására (2.2, 2.3, 2.4 ábra).



2.2 ábra: Acél hővezetési tényezőjének változása a hőmérséklet függvényében [1]



2.3 ábra: Acél fajhőjének változása a hőmérséklet függvényében [1]



2.4 ábra: Acél folyáshatárának és rugalmassági modulusának változása a hőmérséklet függvényében [1]

A változó fizikai tényezők közül építőmérnöki szempontból az acél szilárdsága, merevsége és rugalmassági modulusa a legfontosabb. Azonban a hővezetési képesség és a fajhő változása sem elhanyagolható. Tűzvédelmi szempontból e két jellemző változása a legfontosabb. Hiszen ezek befolyásolják az acél melegezésének sebességét, és a melegezéshez szükséges energia mennyiségét. Végző soron azt, hogy a szilárdsági és merevségi jellemzők milyen

mértékben változnak. A 2.2 ábrán is jól látszik, a hővezetési tényező a hőmérséklet növekedésével egyre inkább csökken, egyre kisebb hőmennyiség halad át az egységnyi keresztmetszeti területen, egységnyi idő alatt. Ez a jelenség természetesen kedvezően befolyásolja az acél tulajdonságait.

Azonban meg kell vizsgálnunk a folyamat másik oldalát is. A 2.3 ábra a fajhő változását írja le, azaz hogy mekkora energiamennyiség szükséges egységnyi mennyiségű anyag 1 K -nel való felmelegítéséhez. Ez alig változik egészen 735 °C -ig ott viszont szinte végtelenül sok energia szükséges a hőmérséklet növeléséhez. Ennek oka, hogy 723°C -on (PSK vonal) elindul a ferritből és cementitből álló eutektoid átalakulása, s az ötvözetben auszternit jelenik meg [3]. Az energia a kémiai átalakulásra és nem a hőmérséklet emelésére fordítódik, majd az átalakulási folyamat lezárultjával 800 °C körül a fajhő újból lecsökken.

Ez jól egybevág a 2.2 ábrával tehát azon a hőmérsékleten ahol már a hővezetési tényező tűzvédelmi szempontból előnyösen változott lezajlott az acél kémiai átalakulása. Ekkora viszont az acél szilárdsága normálhőmérsékleten mért érték 20 % -át sem éri el [1]. Tehát a hővezetési tényező változását nem tudjuk kihasználni.

Az acélok folyás határa szerkezeti acélok esetén (Ac) 400 °C, míg hidegen alakított acéloknál (Ab) 300 °C-on elkezdi leépülni s a változás 700-800 °C-ig lineáris (2.4 ábra). A rugalmassági modulus csökkenése azonban már 100 °C-on elindul, az acél már ekkor elkezdi ellágyulni.

A fent leírt változásokat az EC3-1-2 kötete alapján lehet figyelembe venni, ami a folyáshatár és a rugalmassági modulus korrekciós tényezőkkel való csökkentését jelenti [1]. Az eljárás során először megállapítjuk, hogy t idő elteltével mekkora a Θ °C hőmérséklet, majd ez alapján táblázatból megállapítható a $k_{y,e}$ csökkentő tényező. Ezek segítségével a két paramétert az alábbiak szerint számoljuk:

$$f_{y,\theta} = k_{y,\theta} \cdot f_y$$

$$E_{a,\theta} = k_{y,\theta} \cdot E_a$$

Ahol:

$f_{y,\theta}$, $E_{a,\theta}$ – módosított folyáshatár és rugalmassági modulus,

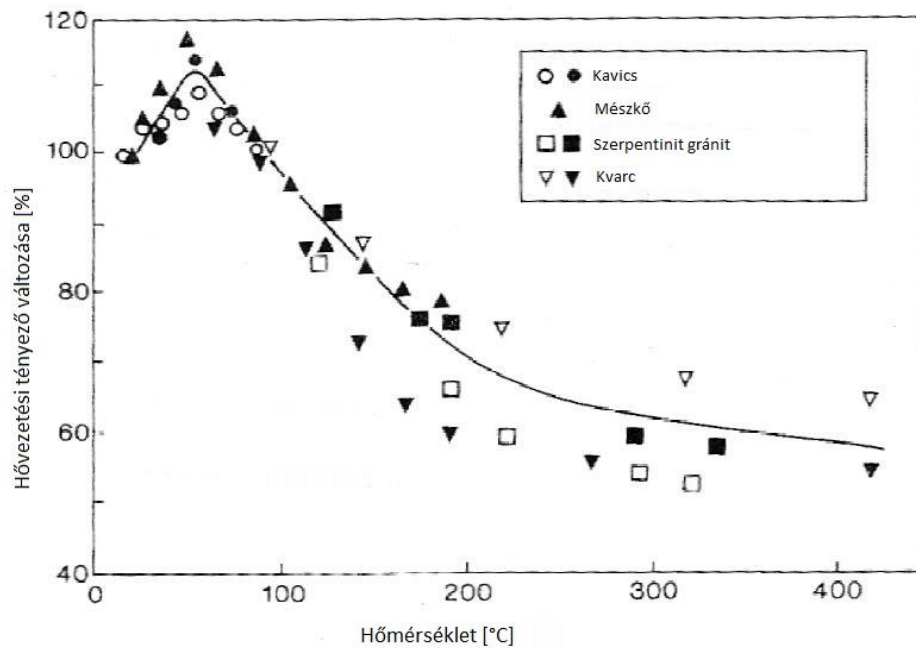
$k_{y,\theta}$ – csökkentő tényező a hőmérséklet függvényében,

f_y , E_a – eredeti folyáshatár és rugalmassági modulus.

2.2.2 Beton

A beton és vasbeton szerkezetek tulajdonságait is nagyban befolyásolja a tűzterhelés jellege. Viszont az anyag viselkedése, változása könnyen befolyásolható a betonösszetétellel. Például a mészkő adalékanyagos beton lassabban melegszik át, mint a kvarckavics adalékanyagos, illetve a porózusabb beton jobban viseli a hőterhet, a műanyag szálerősítésű beton is tovább ellenáll a tűznek, mint az azonos összetételű szál nélküli beton, stb.

Először is tekintsük át a beton hővezetési tényezőjének változását, a 2.5 ábra alapján.



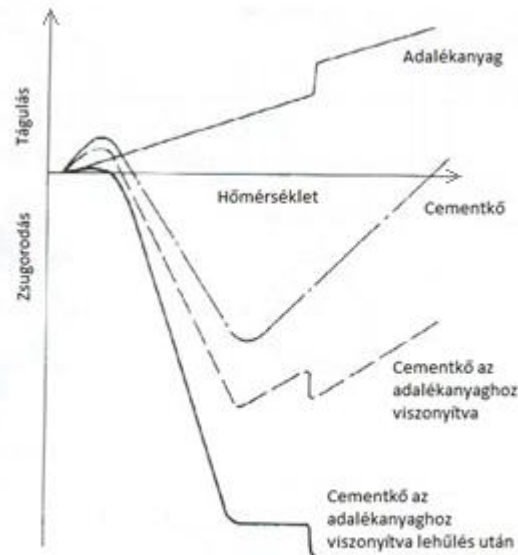
2.5 ábra: Hővezetési tényező változása 20°C –os referencia állapothoz képest a hőmérséklet függvényében [1]

A kezdeti szakaszban (60-80 °C-ig) nő a hővezetési tényező, majd utána drasztikusan csökken. Ez természetesen előnyös is lehetne számunkra, de ahogy azt már az acélnál is láttuk ezt a változást nem tudjuk kihasználni. A hővezetési tényező csökkenése olyan hőmérsékleti tartományokban következik be ahol kémiai és fizikai változások indulnak el, amelyek a szerkezetek tönkremenetelét okozzák. Ez két fő okra vezethető vissza [1]:

- I. a beton kémiai és fizikai átalakulása,
- II. a beton felületének réteges leválása.

I. A beton kémiai és fizikai átalakulása

A beton cementkőből, adalékanyagból, pórusokból és az azokat kitöltő pórosvízből álló rendszer. Ennek a rendszernek az összes tagja megváltozik a hőmérséklet emelkedésével. Exoterm, endoterm, zsugorodással és tágulással járó folyamatok (2.6 ábra) játszódnak le.



2.6 ábra: Az adalékanyag és cementkő térfogat változása a hőmérséklet függvényében [3]

Ezeket a folyamatokat a beton tulajdonságai befolyásolják [1], amelyek a következők: a cement típusa, víz-cement tényező, adalékanyag típusa, adalékanyag-cement tényező, hőterhelés módja, beton kezdeti nedvesség tartalma.

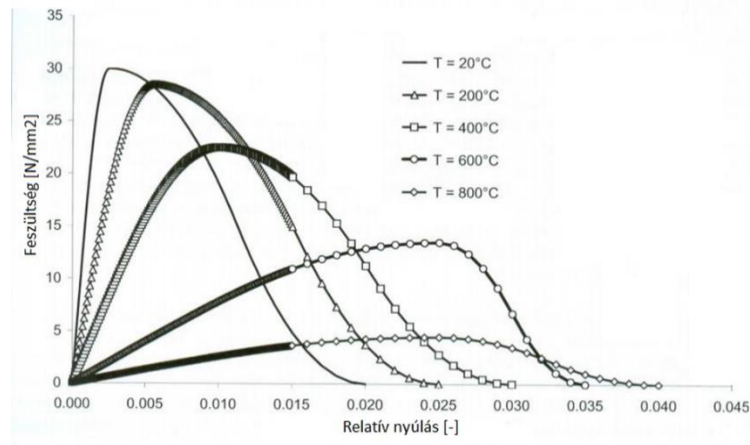
A hőmérséklet emelkedésével a beton tulajdonságai az alábbiak alapján változnak [1]:

- 100 °C a makropórusokban lévő víz elpárolog, ez tömegvesztést okoz,
- 50-100 °C ettringit bomlása,
- 100-300 °C gipsz kétlépcsős bomlása, illetve kvarckavics adalékanyagos betonoknál a porozitás növekedése az adalékanyag és a cementkő kontaktzónájában,
- 150 °C a kontaktzónában repedések keletkeznek,
- 200 °C további dehidratációs folyamatok, tömegvesztés,
- 300 °C a kiinduló nedvességtartalomtól függetlenül nem tapasztalható további tömegvesztés,
- 450-550 °C portlandit bomlása, ez endoterm folyamat mely további tömegvesztést illetve a porozitás növekedését okozza,
- 573 °C a kvarc adalékanyagos betonoknál az α kvarc módosulatok β kvarcá alakulnak, ami akár 5,7%-os térfogat növekedést is okozhat,

650 °C CSH (kalcium-szilikát-hidrát) bomlása megkezdődik, kapillárisok száma nő,

700 °C CSH további bomlása vízleadással, ami térfogat növekedést ezzel szilárdságcsökkenést okoz.

A 2.7 ábra jól mutatja, hogy a fenti folyamatok miként befolyásolják a beton nyomószilárdságát. Csökkentik a nyomószilárdságát, de ezzel párhuzamosan nő a törési összenyomódás.



2.7 ábra: Beton σ - ε diagramjának változása hőterhelés hatására [1]

Kísérleteim során vizsgáltam egy a hagyományostól eltérő betonféleséget is, a polimer betont. Ennek a betonnak az a sajátossága, hogy nem cement kötőanyagú, hanem polimer (műanyag) kötőanyaga van. Az adalékanyag szemcséket speciális polimerek kötik össze. Ennek köszönhetően a normál betonnál kisebb a fajsúlya 2260 kg/m^3 és emellett nagy szilárdsága van (mind nyomó mind húzó szilárdsága) így ideális szerkezeti anyag, de tűzvédelmi szempontból sokkal előnytelenebb. Hőteher hatására a műanyagok már kis hőmérsékleten 150°C -on kiégnek az anyagból, a folyamat közben pedig veszélyes gázok keletkeznek.

A beton tűzterhekre való méretezésével az EC2-1-2 kötete foglalkozik. Itt is csökkentő tényezőket alkalmazását írja elő melyek a gázhőmérséklet megállapítása után vehetőek fel. Ezek alapján a nyomószilárdság és a hajlító-húzószilárdság az alábbiak alapján számítható:

$$f_{c,k} = k_c \cdot f_{ck}$$

$$f_{ck,t} = k_{c,t} \cdot f_{ck,t}$$

Ahol:

$f_{c,k}, f_{ck,t}$ – módosított nyomó és hajlító-húzószilárdság,

$k_c, k_{c,t}$ – nyomó és hajlító-húzószilárdság csökkentő tényező a hőmérséklet függvényében,

$f_{ck}, f_{ck,t}$ – eredeti nyomó és hajlító-húzószilárdság.

2.2.3 Fa

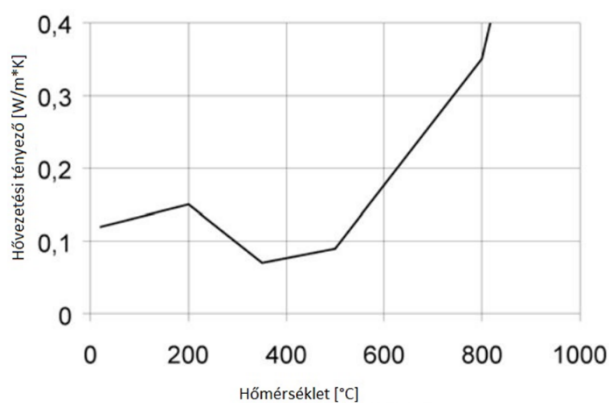
A fa a kortárs építészetben divatos anyagnak számít, egyre gyakrabban alkalmazzák nem csak esztétikai, hanem látszó tartószerkezeti célokra is. Azonban éghető anyag és maga is táplálja a tüzet.

A hőmérséklet emelkedésének hatására a faanyagban fizikai és exoterm kémiai folyamatok indulnak el. Először tekintsük a fizikai tulajdonságok változását, a hővezetési tényezőt, a fajhőt és a testsűrűséget. A hővezetési tényező és a fajhő esetére idealizált adatokat használunk, nem kísérleti eredményeket, de ezek így is jó közelítést adnak.

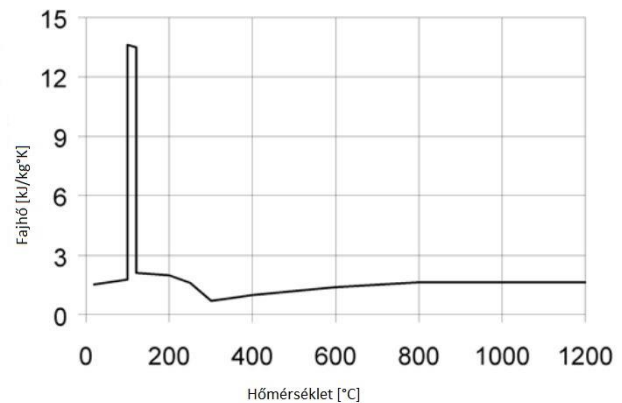
A 2.8 ábrából jól látható, hogy a 300 °C feletti zónában a hővezetési képesség megnő. Ennek oka a fából távozó éghető gázok belobbanása, ami hozzájárul a hőcseréhez, így a relatív hővezetési tényező növekedését okozza.

A fajhő esetén pedig lassú növekedést tapasztalhatunk, amiben 100 °C-nál van egy jelentős ugrás (2.9 ábra), ami a fa víztartalmának távozásával indokolható. A távozó víz hűti a faanyag felületét, ennek köszönhetően kell nagyobb hőmennyiség az anyag hőmérsékletének emeléséhez.

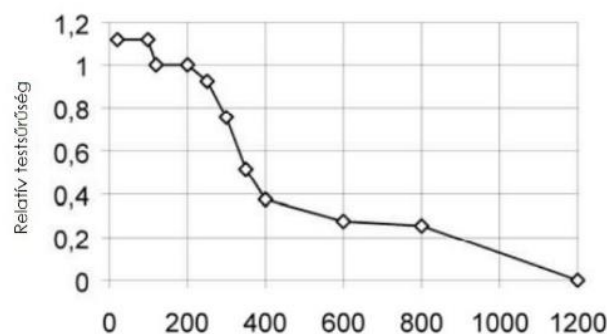
A fa testsűrűsége a hőmérséklet emelkedésével csökken (2.10 ábra). Ez azzal indokolható, hogy a fa égésekor keletkező elszénedett réteg sűrűsége 60-70 % az eredeti faanyagénak.



2.8 ábra: Fa hővezetési tényezője a hőmérséklet függvényében [12]



2.9 ábra: Fa fajhője a hőmérséklet függvényében [12]



2.10 ábra: Fa relatív testsűrűsége a hőmérséklet függvényében [1]

Most pedig tekintsük a tűzterhel hatására bekövetkező kémiai átalakulásokat. Ezeknek két fajtája van. A hőbomlás során a faanyagból távozó gázok égnek, míg a parázslás során a felülete izzik, szenesedik el. A hőmérséklet emelkedésével a folyamatok az alábbiak szerint történnek [1]:

100 °C a fa nedvességtartalma eltávozik,

100-200 °C lassú felületi elszenesedés, ezen elszenesedett kéreg alatt elindul a termikus bomlás, pirolízis és gyúlékony gázok távoznak a fából,

200-250 °C lobbanáspont a távozó gázok begyulladnak,

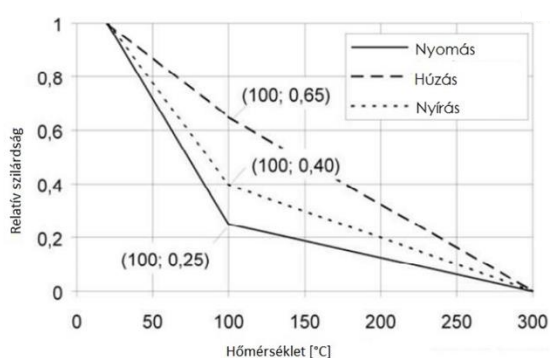
250-300 °C a gáz folytonos égése, már nem alszanak el időszakosan sem a lángok, de az égéshez gyújtóhatás kell,

330 °C a fa öngyulladás ekkor már gyújtóhatás nélkül is saját hőmérsékleténél fogva belobbannak a távozó gázok,

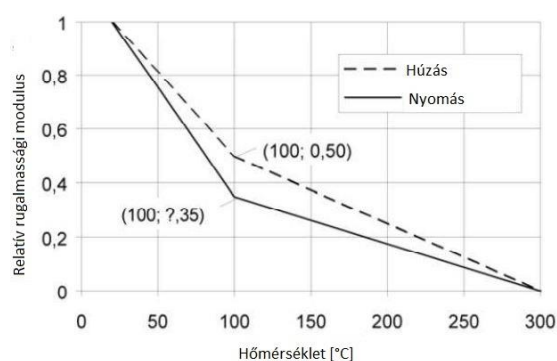
600-700 °C körül a faanyag már csak izzással ég, gázok nem távoznak belőle.

Az égés alatt elszenesedett külső kéreg jelenik meg a fán, ennek azonban csekély a hőszigetelő képessége. Hiszen ez a réteg berepedezik, a gázok is ezeken a repedéseken távoznak, és így már nem alkalmas az alatta lévő faanyag védelmére. A repedéseken át egyre beljebb ég a keresztmetszet, majd a „védő” faszén réteg le is válik.

A faanyag égésének hatására anyagjellemzői is változnak. A 2.11 ábra a szilárdság csökkenését szemlélteti, a 20 °C-on mért szilárdsághoz képest. A 2.12 ábra pedig a rugalmassági modulus változását. Mind a két diagramon látható, hogy 300 °C felett már nincs szilárdsága a fának és nagyon merev lesz, ez gyakorlatilag a faszént jelenti. Természetesen ez nem jelenti, hogy 300°C felett a teljes keresztmetszetre ez az állapot igaz, csak az aktuálisan égő felületekre. Valójában 60-80 °C –ot meghaladó hőmérséklet csak hő bomlási zóna alatt 4-8 mm –es átmeneti zónában tapasztalható.



2.11 ábra: Fa Relatív szilárdsága a hőmérséklet függvényében [1]



2.12 ábra: Fa Relatív rugalmassági modulusa a hőmérséklet függvényében [1]

A faszerkezetek tűzterherre való méretezését az EC5-1-2 fejezete ismerteti. Kettő módszert különböztethetünk meg a csökkentett keresztmetszet, illetve a redukált anyagjellemzők módszerét.

Az első módszernél a keresztmetszetet csökkentjük az elszenesedett réteg vastagságával illetve az átmeneti zóna vastagságával és az így keletkezett keresztmetszetet 20 °C-on mért anyagjellemzőkkel vesszük figyelembe.

A második módszernél a keresztmetszetet csak az elszenesedett zónával csökkentjük az átmeneti zónát pedig az anyagjellemzők redukálásával vesszük figyelembe.

A mindkét módszernél szükség van az elszenesedett vastagság megállapítására. Az elszenesedett vastagságot három oldali tűzhatás esetén a sarkok lekerekítésével együtt vesszük figyelembe.

A szabványok az elburkolt faszerkezetek számítására is tartalmazzak előírást. Ezek a módszerek azon alapulnak, hogy a védelem tönkremenetelének idejét t_f azonosnak veszi a fa gyulladásának elérésével t_{ch} és definiál egy képletet ennek az időpontra a számítására:

$$t_{ch}=2,8 h_p-14$$

Ahol h_p a védőburkolat helyettesítő vastagsága. Ennek a meghatározása eltérő normál és tűzálló gipszkartonok esetére. Kétrétegű általános gipszkartonnál a szabvány a belső réteg vastagságának 50% -át engedti figyelembe venni, tűzálló gipszkartonnál pedig 80% -ot:

$$h_p=1,0 \cdot h_{p,out}+0,5 \cdot h_{p,in}$$

$$h_p=1,0 \cdot h_{p,out}+0,8 \cdot h_{p,in}$$

Más típusú burkolatokra, tűzálló építési lemez és valamilyen hőszigetelés kombinációja révén előállított védelmek számítására azonban nem tartalmaz módszert a szabvány. Ezeket csak kísérletek alapján lehet figyelembe venni.

Ezeknek a burkolatoknak azonban megvan a hátránya is. „Előmelegítik” a faanyagot és az átmeneti zóna vastagsága akár 200-250 mm is lehet így az elszenesedés esélye sokkal magasabb. Ezt a szabvány nagyobb kvantilissal veszi figyelembe ($k_3=2$).

A védelem megszűnte és a 25 mm -es sáv beégése után pedig ezek a szerkezetek is ugyan úgy számolhatók, mint a burkolatlanok.

2.3 Tűzvédelmi anyagok

Ebben a fejezetben a különböző tűzvédelmi építési lemezek illetve a kőzetgyapot hőszigetelés tulajdonságait kívánom bemutatni. Azonban mindenek előtt a legfontosabb a gipsz tulajdonságainak ismertetése. Hiszen ezek az építőlemezek mindegyike gipszből készül vagy nagymennyiségben tartalmaz gipszet, védelmük alapja az ásványok hőteherre való reagálása.

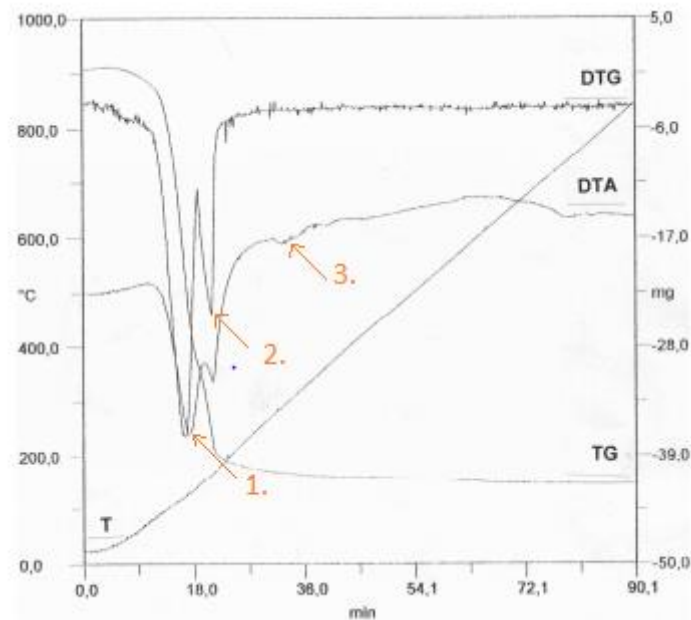
2.3.1. Gipsz anyagú tűzvédelmi anyagok

2.3.1.1 Gipsz

A gipsz a tűzvédelmük legfontosabb meghatározója, mind annak ellenére, hogy részleteikben eltérnek ezek az anyagok.

A gipsz a szulfáttartalmú ásványok közé tartozik. Kevés szimmetriájú kristályos szerkezetű anyag, kristályrácsában **kalcium-szulfát** (CaSO_4) molekulák találhatóak, melyek kristályvízzel alkotnak kötést. Ennek a gipszféleségnek a neve gipszkő, **kalcium-szulfát dihidrát** ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ez az a kötött gipsz, amely épületeinkben stukkók, felületkiegyenlítés, építési lemezek formájában megtalálható.

Ezen kívül a gipsznek még két módosulatát ismerjük, ezek a módosulatok a hőmérséklet emelkedésével a kristályvíz távozásával illetve a kalcium-szulfát átkristályosodásával keletkeznek. Az átalakuláshoz tekintsük a gipsz derivatogram vizsgálatát (2.13 ábra). (A derivatogramos vizsgálat az anyagok



2.13 ábra: A gipszkő derivatogram vizsgálata [4]

mennyiségi és minőségi vizsgálatára alkalmas, azon elv alapján, hogy a különböző anyagok más-más hőmérsékleten bomlanak el. Így a hőfokból és a tömegváltozásából következtethetünk az összetételre [5].)

A 2.13 ábrán látható, hogy a tömegváltozás sebességét mutató DTG vonalnak két csúcsa van. Illetve az anyag hőreakciójának jellegét mutató DTA vonalnak két a DTG vonallal egybeeső illetve egy harmadik, kisebb ugrása van. Ennek a három külön ugrásnak az oka, hogy a gipsz átalakulása három lépcsőben megy végbe.

Az első lépcsőben (1. pont) 110-180 °C -on a gipsz kristályvizéből 3/2 mol távozik és **hemihidrát gipsz** keletkezik ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O} + 3/2 \text{H}_2\text{O}$). A hemihidrát gipsz kötőképes, ez az építési gipsz.

A hőmérséklet további növekedésével a második lépcsőben (2. pont) 180-300°C -on távozik a maradék 1/2 mol kristályvíz is. Vízmentes kalcium-szulfát, **anhidrit** keletkezik ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 + 1/2 \text{H}_2\text{O}$). Az anhidrit továbbra is kötőképes, de a kristályvíz hiányában nem képes megőrizni szilárdságát. A kristályrács, és vele együtt maga az anyag is szétesik, szétporlad már kis mechanikai hatásra is [16]. Az első és a második lépcső esetében láthatjuk, hogy a kristályvíz leadása egybeesik két endoterm csúccsal a DTA vonalon.

A harmadik lépcsőbe (3. pont) 300-600 °C -on a gipsz kalcium-szulfát kristályszerkezete alakul át és **agyonégetett gipsz** keletkezik. Ez a gipszféleség már nem képes kötéskor, kristályvizét alig vagy egyáltalán nem tudja visszanyerni.

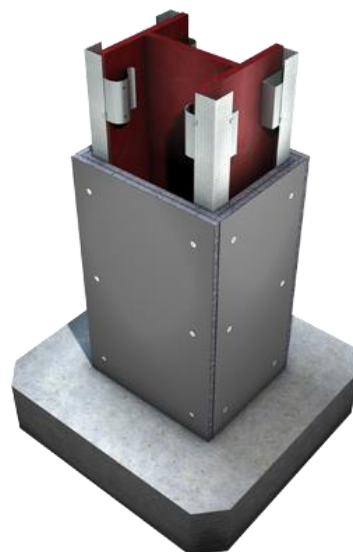
A továbbiakban a különböző gipszalapú építőlemez közötti különbségeket kívánom bemutatni.

2.3.1.2 Tűzálló gipszkarton

A tűzálló gipszkarton hasonlóan más gipszkarton termékekhez két réteg papír között lévő gipszet jelent. Ezek az építőlemezek könnyen alakíthatóak méretre vághatóak, kis önsúlyuk miatt ideálisak válaszfalak építésére éppúgy, mint tartószerkezetek védelmére, elrejtésére.



2.14 ábra: Tűzálló gipszkarton üvegszál erősítése [6]



2.15 ábra: Tűzálló gipszkarton védelem szerkezeti rendszere [7]

A tűzálló gipszkartonok védelmének alapja a gipsz. Tűzterhelés hatására elkezdik leadni a kristályvizüket a fent ismertetett folyamatok szerint 110 °C körül. A folyamat maga is endoterm, mint azt a 2.13 ábra mutatja, vagyis a 110-300 °C közötti tartományban az anyag „visszahűti” környezetét. Ezzel segítve a védelmet, de a tűzálló gipszkarton védelme 300 °C után sem merül ki, technológiailag ugyanis a tűzálló gipszkartont a normál gipszkartontól az különbözteti meg, hogy üvegszál erősítés található benne (2.14 ábra). Ennek az erősítésnek köszönhetően őrzi meg szilárdságát a hemihidrát gipszé majd anhidritté alakulása során. Az üvegszál összetartja az egyre morzsolódó anyagot.

Azonban ez a mechanikai erősítés sem tarthat örökké, 600 °C körül az üveg is elkezd lágyulni és a tűzvédelmi burkolat leesik a szerkezetről. Hátrányként említhető a tűzálló gipszkarton védelmek esetén, hogy ezeket a lapokat valamilyen fogadószerkezetre kell rögzíteni, közvetlenül egymáshoz nem rögzíthetők a lapok (2.15 ábra).

2.3.1.3 Gipszrostlap

A gipszrost lemez nagyon hasonlít a gipszkarton lemezekhez, fő különbségük, hogy nem található rajtuk papír bevonat, amely a gipszkartonoknál technológiailag szükségesek.

Ami a gipszrostlapok tűzvédelméről illeti, ugyan úgy működik, mint a többi gipszalapú építőlemezé. A gipsz átalakulása során végbemenő endoterm folyamatokat használja ki hőelvonásra, szerkezetvédelemre. A fő különbség egy „sima” tűzálló gipszkarton és egy gipszrost lap között a már említett papír bevonat hiánya, illetve a szálerősítés milyensége. A gipszrost lemezeknél általában újrahasznosított papírokból készült cellulózsálakkal van megoldva az erősítés [19]. 15-20 % cellulóz szál tartalmaznak erősítésként. illetve vastagságuk is eltérő, míg a tűzgátló gipszkarton termékek járatos vastagsága 12,5 mm a gipszrost lapoké 15 mm.



2.16 ábra: Acélpillér gipszrost védelme [8]

A cellulóz szál erősítésnek köszönhetően kevésbé ridegek a gipszrost lapok összehasonlítva a gipszkarton lapokkal. Ennek illetve nagyobb vastagságuknak köszönhetően pedig ezeket a lapokat fogadószerkezet nélkül is lehet szerelni, közvetlen egymáshoz csavarozhatóak (2.16 ábra). Ez tűzvédelmi szempontból előnyös, hiszen így a rögzítő csavarokból és a vékony acélprofilokból álló fogadószerkezetből nem tud hőhíd kialakulni, amely melegíti a védendő szerkezetet.

2.4 Cement kötésű lapok

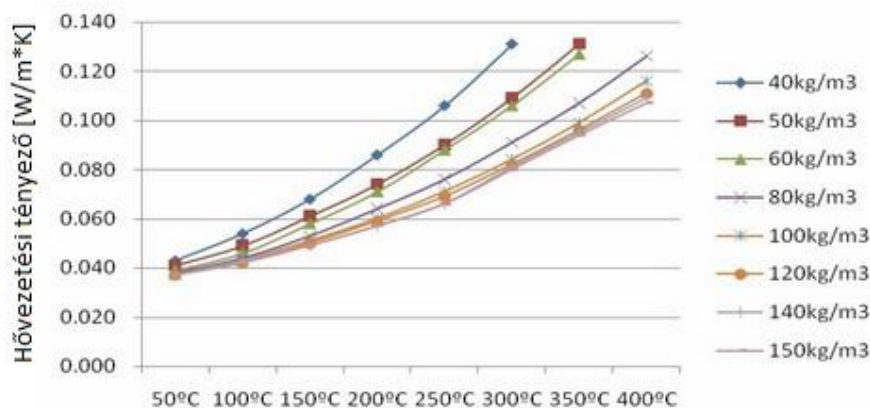
Ezek az építőlemezek eltérnek az eddig tárgyaltaktól nem gipsz, hanem cement kötésűek. Az építőiparban elterjedt nevük „promátlap”, ez azonban nem pontos megnevezés. A Promat tűzvédelemmel foglalkozó cég fő profilja az ilyen lapok gyártása és ennek alapján, mint márkanév terjedt el a „promátlap” megnevezés. A műszaki leírásuk alapján cement kötésű szilikát anyagú tűzvédelmi lapok. Különböző cement és szilikát ásványok keverékéből állítják elő [9].

Tűzvédelmének alapja hasonlóan a tűzálló gipszkarton illetve gipszrost lapokhoz az alkotóinak hőbomlása. A hőmérséklet emelkedésével a különböző szilikátásványok leadják a kötött kristályvizüket ezzel az endoterm folyamattal pedig energiát vonnak el a környezetükből, így hűtve a szerkezeteket. Cement kötésnek köszönhetően tűzterherre való viselkedése hasonló a betonéhoz 700 °C körül a kalcium-szilikát hidrátok bomlásával komolyabb szilárdságcsökkenés tapasztalható.

Hasonlóképpen a gipszrost lemezekhez ezeket a lapokat is egymáshoz lehet rögzíteni, így szerkezeti kialakításuk előnyös, azonban tömegük nagyobb, mint a gipszkarton tábláké.

2.5 Kőzetgyapot

A kőzetgyapot a hőszigetelésben gyakran használt anyag. Legelőnyösebb tulajdonsága, hogy más elterjedt hőszigetelésekkel (pl.:

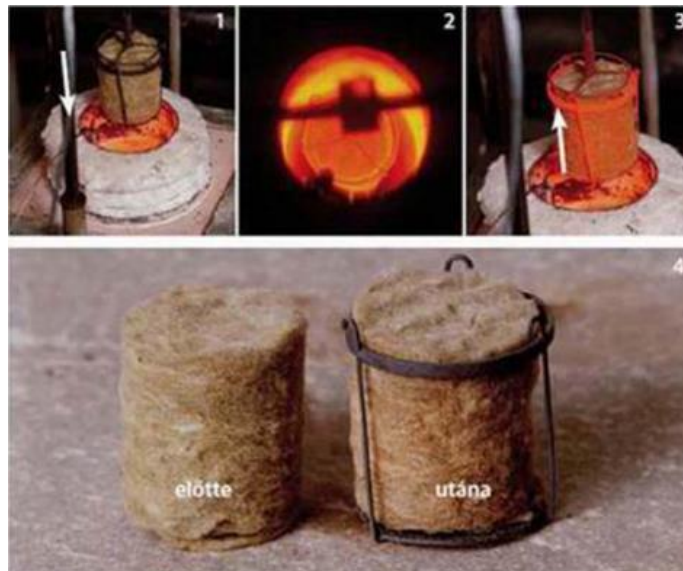


2. 17 ábra: Kőzetgyapot hővezetési tényezője a hőmérséklet függvényében [10]

polisztirol habok) ellentétben nem éghető anyag. Ezt az előnyös tulajdonságát használják ki akkor, amikor tűzvédelmi szakaszolásra használják homlokzatokon. De ez az előnyös tulajdonsága nem csak a tűz terjedésének megakadályozására, hanem szerkezetek védelmére is alkalmas.

Főként bazaltból és dolomitból állítják elő úgy, hogy a kőzeteket megolvasztják majd fúvós eljárás segítségével vékony szállakat állítanak elő az olvadékból. Az így kapott szállakból lemezt húznak és műgyanta ragasztóval egymáshoz ragasztják.

A 2.17 ábrán láthatjuk a kőzetgyapot hővezetési tényezőjének változását a hőmérséklet függvényében. A hőmérséklet emelkedésével ez egyre nő, vagyis egyre több hőenergia halad át egységnyi keresztmetszeti területen. Ennek oka, hogy hőterhelés hatására a szigetelést alkotó szállak egyre inkább összeesnek, összetömörödnek, ezzel elvesztik hőszigetelési képességüket (2.18 ábra). A hővezetési tényező változása természetesen függ a sűrűségétől is. Az EC5-1-2 fa szerkezetek esetében számol is ezzel és minimálisan 26 kg/m^3 sűrűséget ír elő.



2.18 ábra: Kőzetgyapot tűzpróbája [11]

Kedvező hőtechnikai tulajdonságai miatt a kőzetgyapotot széles körben használják szerkezetek tűzvédelmére (2.19 ábra), illetve gyakran kombinálják valamilyen építési lemezzel.



2.19 ábra: Kőzetgyapot tűzvédelemmel ellátott acél szerkezet [12]

Végezetül szeretném összefoglalni a különböző vizsgált hőszigetelő anyagok legfontosabb tulajdonságait (2.1 táblázat).

2.1 táblázat: A vizsgált anyagok tűzvédelmi tulajdonságainak összehasonlítása

	Sűrűség [kg/m ³]	Hővezetési tényező [W/mK]	Nedvességtartalom [%]
Tűzálló gipszkarton	870	0,25	16
Gipszrost lemez	1200	0,2	1
Cement kötésű lap	900	0,242	6
Kőzetgyapot	35	0,035	-

3. Kísérleti terv

3.1 Próbatestek

A tűzvédelmi burkolatok vizsgálatához különböző próbatesteket, (a leggyakoribb szerkezeti anyagokat: acélt, betont, fát illetve polimerbetont) használtam (3.1 ábra).

Betonból és polimer betonból szabványos 70x70x250 mm-es, fából ugyancsak 70x70x250 mm-es, acélból pedig 80x80x210 mm élhosszúságú próbatesteket vizsgáltam.

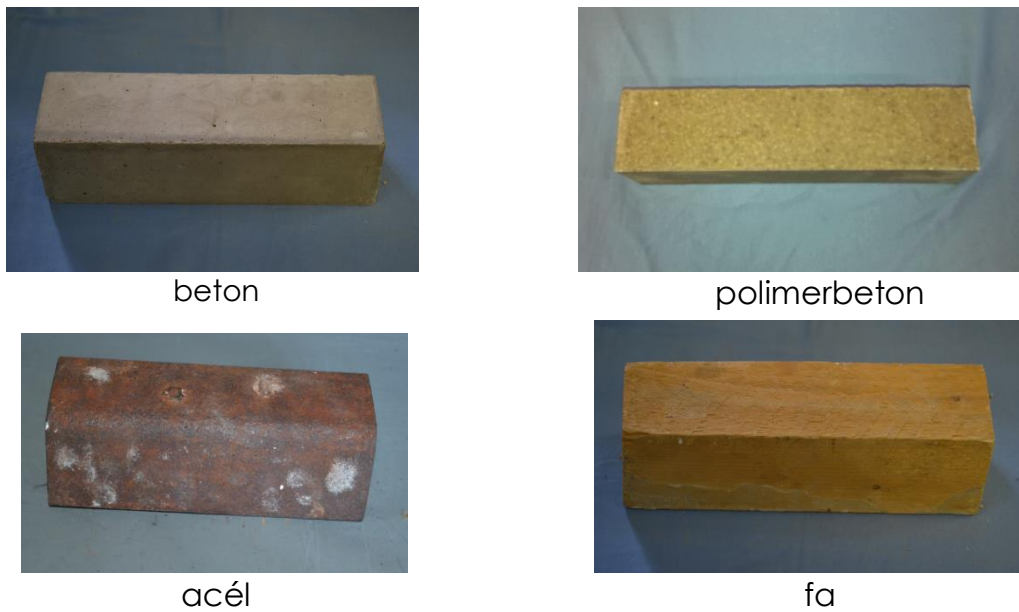
Az acél próbatest egy tömör négyszög szelvény volt mely a sarkainál kissé lekerekített. Ez a geometria nem egyezik meg a szerkezeti célokra általában használt acél szelvényekének, de hőtechnikai tulajdonságai hasonlóak azokéhoz. Nem melegszik át olyan gyorsan, mint egy melegen hengerelt vagy hegesztett szelvény, de a felszíne, ahol a hőmérséklet mérés történt hasonlóképp melegszik. (Nem lehetett ekkora méretben szabványos szerkezeti acélt beszerezni.)

A vizsgálatoknál használt beton próbatestek mindegyike ugyan abból a keverésből származó kvarckavics adalékanyagos beton volt és mindegyik próbatest elmúlt 28 napos.

A fa próbatest borovi fenyő gerendából került kialakításra. Száliránya a próbatest hosszabbik oldalával párhuzamos.

A különböző próbatestek a vizsgálatok előtt azonos körülmények között, voltak tárolva. Ez természetesen a beton és fa próbatesteknél fontos, melyek vízfelvétele befolyásolhatja a mérési eredményeket.

A vizsgálatok előtt nem történt meg fizikai tulajdonságaik: nyomószilárdságuk, víztartalmuk, porozitásuk, stb. meghatározása, hiszen a kísérletek szempontjából ezek nem is voltak relevánsak, azok fő célja a burkolatoknak és a szerkezeti anyagoknak a tűzterherre történő együttes viselkedésének a vizsgálata.

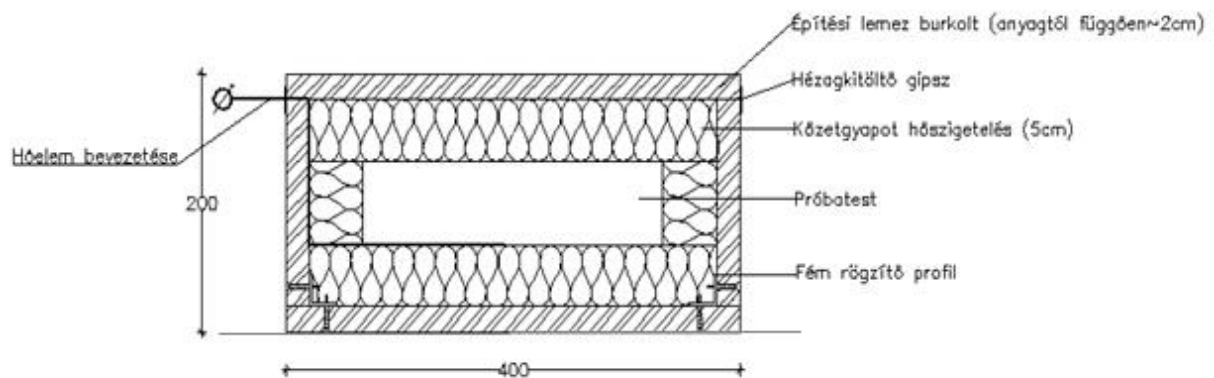


3.1 ábra: Vizsgált próbatetek

3.2 Burkolatok

A kombinált tűzvédelmi burkolatok vizsgálatához próbadobozokat készítettem. Ezen próbadobozok mérete egységesen 200x200x400 mm volt.

A tűzálló gipszkarton próbadobozokat két réteg gipszkartonból készítettem, mivel szerkezeti védelmek esetén ez a szokványos kialakítás. A lapokat fém profilok segítségével rögzítettem egymáshoz. A csavarokat belülről helyeztem el a dobozokba, hiszen ez a járatos szerkezeti kialakítás az ilyen burkolatoknál. Majd a rögzítési hézagokat építési gipsszel tömítettem, simítottam el. A két réteg burkolat után 50 mm kőzetgyapot hőszigetelést helyeztem a próbadobozokba. A kőzetgyapot hőszigetelés mellett azért döntöttem, mert az előző TDK dolgozatom tapasztalatai alapján, ezzel a hőszigeteléssel lehet, az általam vizsgált hőszigetelőanyagok közül, a leghatékonyabban kombinált szigeteléseket előállítani. A kőzetgyapot után elhelyeztem a dobozokban a próbatestet, illetve a próbatetek felszínével érintkező hőelemet (3.2 ábra).



3.2 ábra: A vizsgálati elem hosszmetsete a próbatesttel és a hőelemmel

A gipszrost illetve cement kötésű lapokból készült próbadobozokat nem magam készítettem, hanem az ilyen szárazépítési technológiákban járatos szakemberek. De ezek kialakítása is hasonló volt a gipszkarton dobozokéhoz. Azzal a különbséggel, hogy ezek a próbadobozok egy réteg burkolattal lettek kialakítva, valamint a rögzítésekhez használt csavarok kívülről lettek elhelyezve. Ennek oka, hogy ezeknek a burkolatoknak a lapvastagsága kisebb, mint a legkisebb gipszkarton rögzítéshez használt csavarok hossza, így a belülről történő csavarozás nem volt lehetséges. Fémprofilok használata pedig azért volt szükséges, mivel a dobozok kétszer lettek hőterhelve és félő volt, hogy a közvetlen lap-lap rögzítések esetén a csavarok kiszakadnak a helyükről a két hőterhelés közötti mozgások során. Hézagkitöltőként itt is építési gipsz lett használva, valamint itt a kívül lévő csavarfejekre is került gipsz simítás.

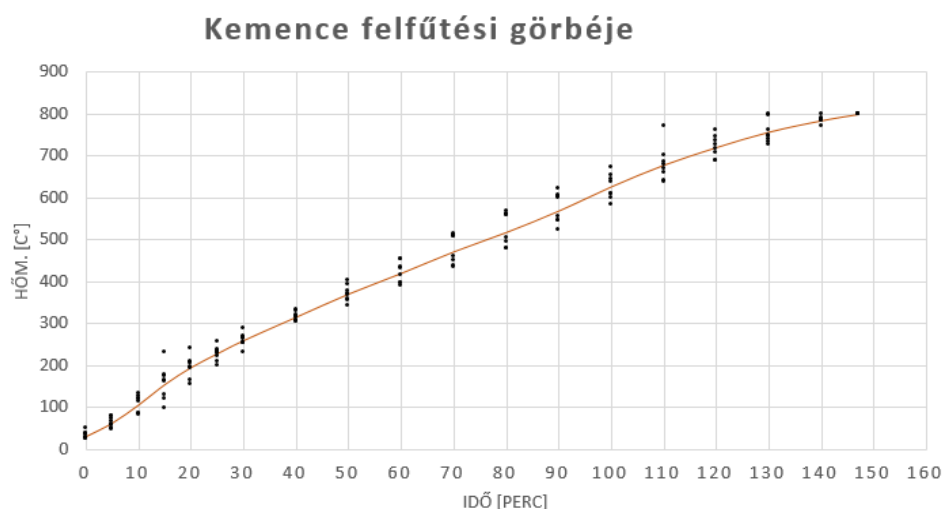
3.3 Kemence

A vizsgálatokhoz az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék kemencéjét használtam.

Az ilyen és hasonló vizsgálatokat a szabványokban lefektetett különböző tűzgörbék alapján szokták vizsgálni (2.1 fejezet), annak érdekében, hogy a más-más kutatóintézetekben végzett mérések összehasonlíthatóak legyenek. Azonban sajnos a rendelkezésemre álló berendezés nem volt alkalmas ilyen típusú vizsgálatokra, nem képes az ISO 834 -es görbének megfelelő gyors felfűtést biztosítani.

Ezért nagyon fontos volt, hogy információval rendelkezek a kemence saját felfűtési görbéjével kapcsolatban. Összehasonlíthatóak e ezek a különböző mérések, a kemence rendelkezik e egyáltalán saját görbével vagy minden egyes mérésnél eltérő ütemben történik a hő terhelés?

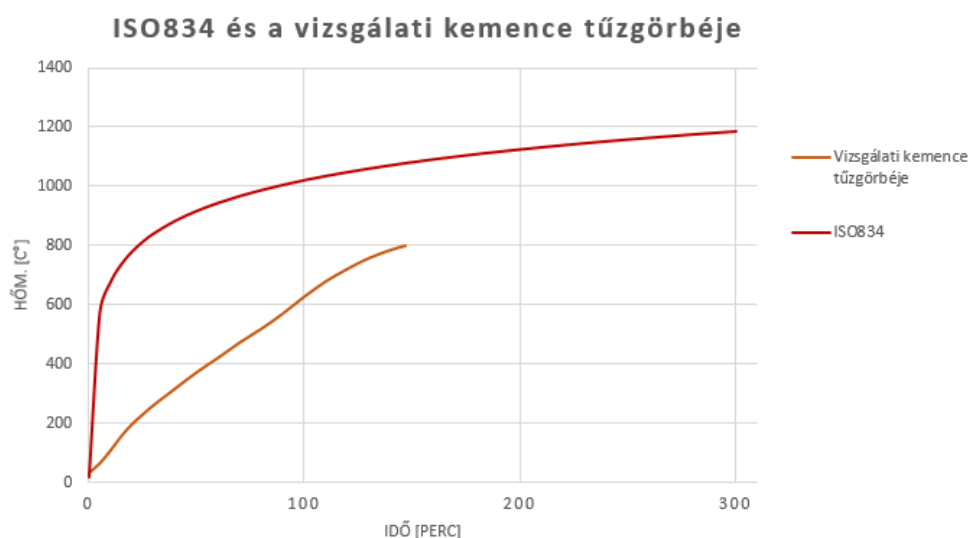
Ennek érdekében a kemencét három alkalommal próbatetek nélkül felmelegítettem, az így kapott hőmérséklet-idő adatokat ábrázoltam és azt kaptam, hogy a különböző mérési eredmények jól közelíthetők egy görbével.



3.3 ábra: Vizsgálati kemence felfűtési görbéje

Ezt követően a mérések végeztével pedig az akkor mért kemence hőmérséklet paramétereket is hozzáadtam az ábrához. Így kirajzolódott a kemence saját felfűtési görbéje, amely mint a 3.3 ábrán is látható jó közelítést ad az egyes mérések adataihoz.

Vagyis a mérések azonos körülmények között lettek elvégezve egymással történő összehasonlításuk lehetséges. De a kemence terhelése nem felel meg a szabványos tűzgörbének a 3.4 ábrán láthatjuk, hogy felfűtés sebessége nem azonos.



3.4 ábra: Az ISO 384 és a vizsgálati kemence felfűtési görbéjének összehasonlítása

3.4 Kísérletek elrendezése

Kísérleteim során a próbadobozokban elhelyeztem a próbatesteket majd hőterheltem azokat. A próbadobozban és a kemencében a hőterhelés alatt regisztráltam a kialakuló hőmérsékletet.

A kísérleteket különböző elrendezésekben végeztem el. Tűzálló gipszkartonnal készült szigeteléssel teszteltem acél, beton, fa és polimerbeton próbatesteket. Míg gipszrost illetve cement kötésű burkolólapokból készült próbadobozokkal acél és beton próbatesteket vizsgáltam. A másik két anyag

3.5 táblázat: Vizsgálatok kísérleti mátrixa

Tűzvédelmi burkolat típusa	Hőszigetelés típusa				
	Kőzetgyapot				
	Hőterhelések száma	Vizsgált szerkezeti anyag			
Tűzálló gipszkarton	1	Acél	Beton	Fa	Polimer beton
Gipszrost lap	2	Acél	Beton		
Cementkötésű lap	2	Acél	Beton		

vizsgálatára nem volt lehetőségem, mert nem állt rendelkezésemre megfelelő számú próbadoboz. A kísérleteket a 3.1. táblázat alapján végeztem el.

A kísérletek során vizsgált anyagok a leggyakoribb szerkezeti anyagok voltak.

Acélszerkezetek valamilyen típusú passzív védelmét előírja az Eurocode.

Beton szerkezeteink estén, mint már azt említettem nem tartalmaz erre, előírást. A keresztmetszet megfelelő felvételével kell biztosítanunk a betonszerkezetek tűzvédelmét. Azonban funkcióváltás esetén, épületfelújításnál szükséges lehet a szerkezetek tűzvédelmének fokozására, ezért vizsgáltam meg a betont is.

Második hőterhelésre pedig azért választottam az acél mellett a betont mivel a fa és polimer beton szerkezetek, habár a burkolatok miatt késleltetve, de mindenképp begyulladnak a védelem mögött. Ez füst, korom képződéssel jár, ami a burkolatot elszínezi, amint az látni fogjuk a polimer betonnál még különböző vegyületek is lerakódnak a burkolatra. Ilyen körülmények között ezeknek a szerkezeteknek a védelmére használt burkolatok újrahasznosításuk túlzottan nagy befektetést igényelne. A második hőterheléshez a burkolatokban kicseréltem a kőzetgyapotot illetve a próbatestet is, ezzel teremtve az első hőterheléshez hasonló körülményeket, hogy ki tudjam mutatni maguk a lapok mennyiben vesztek szigetelő képességükből.

Fa szerkezeteinket természetesen leginkább szépségük miatt építjük, nem takarjuk el őket, de a csomópontok védelmére itt is szükség lehet elburkolásra.

A polimer beton vizsgálatát, pedig mint tűzterherre érzékeny szerkezeti anyagot tartottam fontosnak. Habár használata még nem elterjedt az iparban többek között tűzvédelmi okokból sem, de a megfelelő védelem esetén lehetségessé válhat a nagytömegű alkalmazása.

A hőterhelések során a próbadobozokat egységesen 800°C -ig hőterheltem. A vizsgálatok során a gipszrost illetve cementkötésű lapokból készült dobozokat kétszer hőterheltem és így az ismételt hőterhelés hatását is megvizsgáltam.

4. Kísérletek eredménye, értékelésük

4.1 Tűzálló gipszkarton burkolatok

4.1.1 A burkolat leromlásáról általában

Ebben a fejezetben a gipszkarton és kőzetgyapot kombinációjával készített burkolatok vizsgálatait illetve mérési eredményeit kívánom ismertetni. Kezdvé azzal, hogy bemutatom, miként romlik le egy ilyen burkolat állapota. A példában a fa próbatestet tartalmazó tűzvédő doboz viselkedését ismertetem.

A vizsgálat közben szemrevételeztem a próbadobozt (4.1 ábra). A szemrevételezés során jól látszott, hogy az első 80 percben gyakorlatilag semmilyen változást nem mutatott a burkolat. 80 perc után (hozzávetőlegesen 480 °C volt a kemencetérben) elindult a gipszet borító papírréteg elszenesedése. Ez nem járt lánggal, a papír elfeketedett és levált a gipszről, de füst tapasztalható volt. A folyamat egyre intenzívebbé vált a burkolat felszínén a hőmérséklet emelkedésével, a keletkező gázok pedig elszínezték a burkolat felszínét és a hézagkitöltő gipszet.

A 90. percben (hozzávetőlegesen a kemencetér hőmérséklete 520 °C) készült fotón látható, hogy a doboz bal alsó sarka felnyílt, ennek két oka lehetett: egyrészt a hőmérséklet hatására eldeformálódott a lapok rögzítésére használt acél profil, másrészt miként azt a doboz fedőlapjánál a 120. perctől jól látható maga a gipszkarton lap is elhajlott. A profilok felmelegedéséből fakadó alakváltozás nagy volt, A csavarozás könnyítése érdekében előre furatolt volt a profil, nem pedig teljesen tömör, fetehetően ez közrejátszott a tömör profillal készült dobozokhoz képest tapasztalt nagyobb alakváltozás kialakulásában. A burkolat rögzítések mentén történő felhasadása a hőmérséklet emelkedésének hatására egyre nagyobb volt. Ezeken a réseken keresztül történő hőáramlást pedig már nem gátolja a gipszkarton lap. A 144. percben (a kemencetér hőmérséklete 800 °C) készült fotón látható, hogy az illesztési hézagok szinte mindenhol felnyíltak, illetve, hogy egy réteg gipszkarton leesett a doboz kemence ajtó felőli oldalán.

A szemrevételezés alapján kijelenthető, hogy a tűzálló gipszkarton burkolatok legkritikusabb részei az illesztések, illetve az illesztések felnyílást követően beáramló hő. Természetesen az egyes vizsgálatoknál voltak eltérések az itt bemutatott fa próbatesttel ellátott dobozhoz képest, de a tönkremenetel jellegzetes részei hasonló időben, hasonló módon következtek be.



10 perc



20 perc



30 perc



80 perc



90 perc



100 perc



110 perc



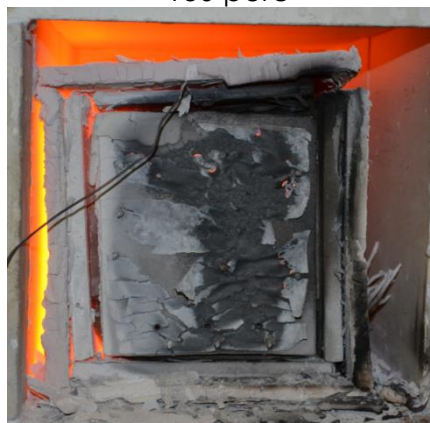
120 perc



130 perc



140 perc

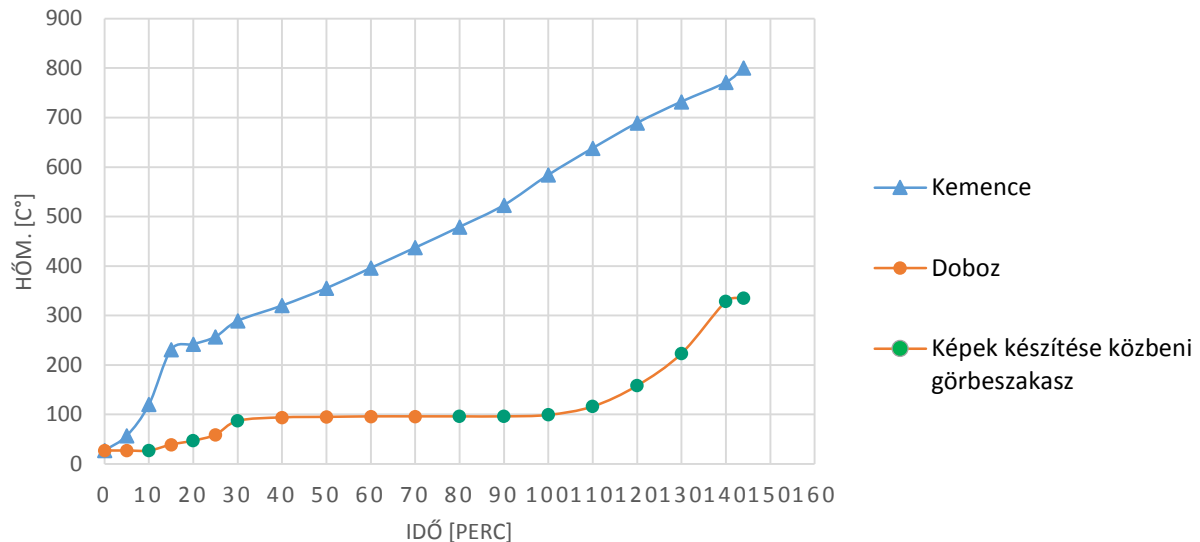


144 perc

4.1 ábra: A tűzálló gipszkarton és kőzetgyapot burkolat leromlása

4.1.2 Fa próbatest

Tekintsük a kemence, illetve a próbadoboz belső hőmérsékletének alakulását az idő függvényében (4.2 ábra). Az első fél órában csekély a hőmérséklet növekedés a burkolaton belül, pontosan a kezdeti 27 °C-ról 87 °C-ra emelkedik a hőmérséklet. Azonban ezt a kezdeti 60 °C-os növekedést követően a 100. percig a burkolaton belül szinte konstans hőmérséklet



4.2 ábra: Hőmérséklet-idő görbe tűzálló gipszkarton próbadoboz és fa próbatest esetén tapasztalható.

Ez egy érdekes jelenség, hiszen a plató megjelenését korábban várhatnánk. A gipszről tudjuk, hogy kristályvíz tartalmának 3/2 részét 110-180 °C körül veszíti el. Így azt várhatnánk, hogy amikor a kemence hőmérséklete 100-200 °C között van, akkor jelenik meg a már említett konstans szakasz. Ez azonban nincs így, ez a szakasz jelen esetben a 30. percben 289 °C-os kemence hőmérsékletnél jelenik meg, azaz közel 100 °C-kal magasabb hőmérsékleten, 20 perccel később. Amint láthatjuk a 100-200 °C-os kemence hőmérséklet tartományban nem is tapasztalható a burkolaton belüli hőmérséklet növekedésben megtorpanás.

Ennek a jelenségnek két magyarázata lehet, melyek együttesen eredményezték a belső hőmérséklet ilyen jellegű alakulását:

I. A burkolat átmelegedése:

Az ok a burkolatban keresendő a burkolatnak át kell melegednie ahhoz, hogy elinduljon a kristályvíz leadása, ezzel magyarázható, hogy nem jelenik meg egyből 100-200 °C között a konstans szakasz, hiszen itt még csak a borítás felszíne melegedik át kellőképp ahhoz, hogy leadja nedvességtartalmát. Majd ahogy az egész burkolat átmelegszik újabb és újabb rétegek adják le kristályvizüket és vesznek részt a védelemben.

A konstans szakasz után, ahogy 90 perc körül megjelenik az első nyílás a burkolaton a hőmérséklet emelkedni kezd a dobozon belül, ez azonban nem olyan gyors, mint az várható volna, ez az a szakasz ahol igazán „kifizetődő” a plusz védelem, azaz a kőzetgyapot. A kőzetgyapot hatására, amikor már a hőáramlás intenzíven elindult a fa próbatest irányába további 40 percen keresztül sikerül késleltetnünk, hogy a fa hőmérséklete elérje a 200-250 °C –ot azaz a lobbanáspontot, annak ellenére, hogy ebben a 40. percben a kemencében 500°C -ról 730 °C –ra emelkedik a hőmérséklet.

II. Vizsgálati inperfekciók:

A 4.2 ábrán látható, hogy a 15. perc környékén a kemence felfűtési görbéjében van egy ugrás. Feltételezhetően ennek az ugrásnak köszönhetően jelenik meg hirtelen a 30. percben a plató. Valószínűleg ez az ugrás késeltette 15 perc után jelenik meg a belső hőmérséklet görbéjében, ennyi idő kell, hogy átmelegedjen a burkolat, és a vizsgálati hiba bent is megjelenjen.

A fa próbatest belobbanása után eltávolítottam a dobozt a kemencéből, a 4.3 ábrán látható narancsos izzás mutatja, a hő beáramlás mértéke olyan volt, hogy az elindította a fa pirolízisét. A burkolat eltávolítása és a próbatest eloltás után (4.4 ábra) pedig látható, hogy a keresztmetszett több mint 50 % -a elszenesedett (4.5 ábra).



4.3 ábra: A hőterhelés utáni próbadoboz



4.4 ábra: A hőterhelés utáni próbadoboz belseje

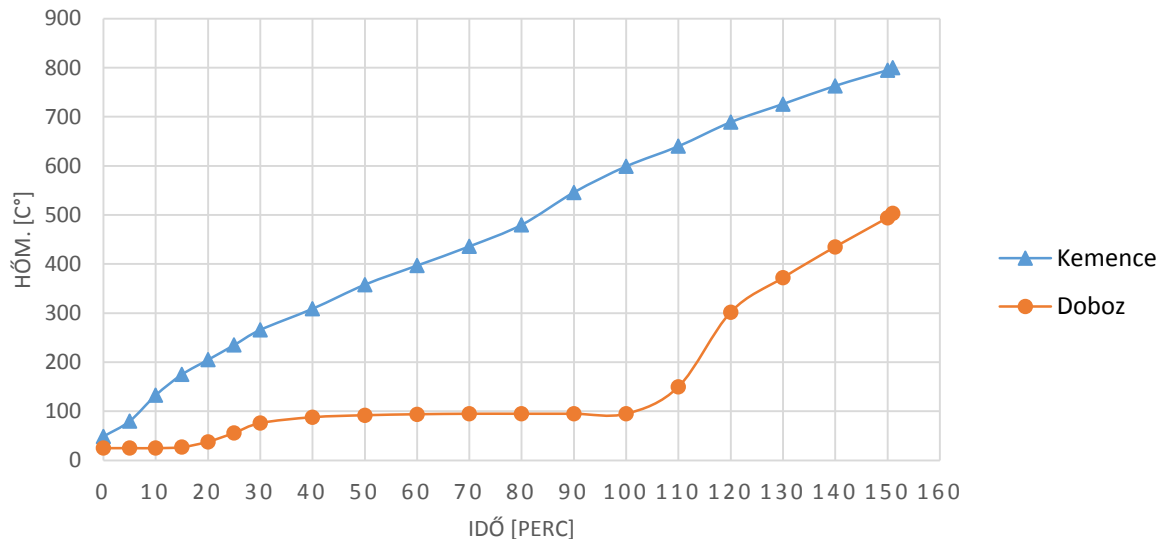


4.5 ábra: Elszenesedett fa keresztmetszet

4.1.3 Beton próbatest

A következőkben a tűzálló gipszkarton, kőzetgyapot kombinációját mutatom be beton próbatest esetén.

A 4.6 ábra a próbadoboz belső hőmérsékletének illetve a kemencetér hőmérsékletének alakulását mutatja az idő függvényében.



4.6 ábra: Tűzálló gipszkarton próbadoboz-beton próbatest hőmérséklet-idő görbéje

Itt is megjelenik az a konstans szakasz, amit már a fa esetében is láthattunk, és ez a szakasz itt is el van tolódva, nem jelenik meg egyből akkor, amikor a külső hőmérséklet eléri a kristályvíz leadásához szükséges hőmérsékletet. Az eltolódás okát az is jelentheti, hogy a kőzetgyapot védi a szerkezetet a burkolaton belül, és amíg a hőszigetelés nem melegszik át addig a szerkezet sem melegszik számottevően.

A beton próbatesttel ellátott burkolat esetében a konstans szakaszt követően a belső hőmérséklet hirtelen növekedését tapasztaljuk. Ez nem magyarázható a beton tulajdonságaival, ennek oka egyértelműen a burkolat felnyílása. Habár a felnyílás mértéke az intenzív hőmérséklet emelkedésből következően nagyobb, mint a fánál volt, de látható, hogy a kőzetgyapot ebben az esetben is fékezi az átmelegedést.

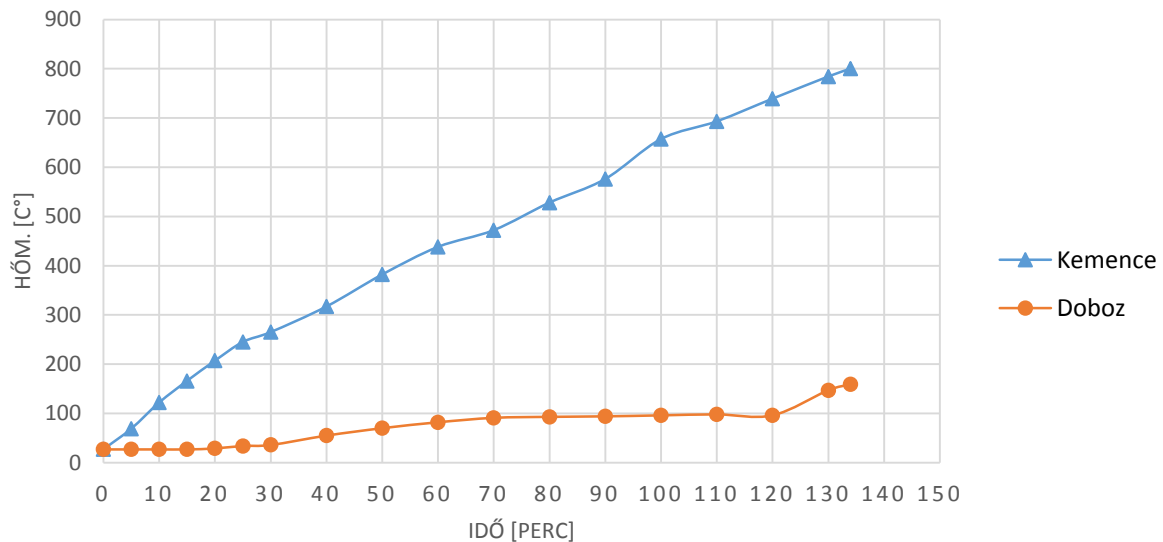


4.7 ábra: Leromlott kőzetgyapot hőszigetelés.

A kísérlet végeztével a szemrevételezés során jól látszik, hogy az intenzívebb hő beáramlás miatt a kőzetgyapot mennyire leromlott (4.7 ábra). Ez a leromlás természetesen mindig megjelenik. Ezen esetben fokozottabban, mint a többi kísérletnél.

4.1.4 Acél próbatest

A tűzálló gipszkarton és kőzetgyapot védelemmel ellátott acél próbatest hőmérséklet-idő görbéit a 4.8 ábra mutatja.



4.8 ábra: Hőmérséklet-idő görbe tűzálló gipszkarton próbadoz és acél próbatest esetén

A próbadoz belső hőmérsékletére vonatkozó görbe jellege eltérő az eddigiekétől.

A görbe kezdeti szakaszában jóval laposabb a hőmérséklet emelkedése a burkolaton belül. Mivel ahogy a 2.2 ábra is mutatja az acél hővezetési tényezője a hőmérséklet emelkedésével csökken, ezért indulhat el lassabban az anyag felmelegedése. Emellett elképzelhető, hogy a kísérlet elrendezése is szerepet játszott a görbe kezdeti szakaszának – többi méréshez képesti – kismértékű eltérésében.

A konstans szakasz vége később jelenik, meg mint az előző két esetben. Ennek oka részben a próbatest geometriájával, hőtechnikai tulajdonságaival magyarázható. A nagy tömegű testnek nagyobb a hőellenállása és feltételezhetően emiatt emelkedik lassabban a hőmérséklet a próbatest felszínén annak ellenére, hogy az acél hővezetési tényezője nagy. Véleményem szerint ezzel magyarázható, hogy amint azt majd később látni fogjuk (4.12 ábra) egyedül az acél próbatesttel végzet vizsgálat nem követi a többi vizsgálatnál megfigyelhető görbék trendjeit. A kísérlet végeztével látható, hogy 130 perc után 800 °C-os külső hőmérsékletnél a belső hőmérséklet nem éri el az acél 500-600 °C-os „kritikusnak tekintett” hőmérséklet, amikor az acél szilárdsága már csak 20%-a az eredetinek.

A szemrevételezés során ezt a próbadobozt nem sikerült egyben kivennem a kemencéből, a nehéz próbatest miatt a kiemelés közben összetört. Az így is jól látszik, hogy ebben az esetben is jelentősen (4.9 ábra) felnyíltak az illesztések, ez bizonyítja, hogy a burkolaton belüli hőmérséklet görbéje nem az átlagnál jobb kivitelű burkolat miatt tartalmaz hosszabb konstans szakaszt.



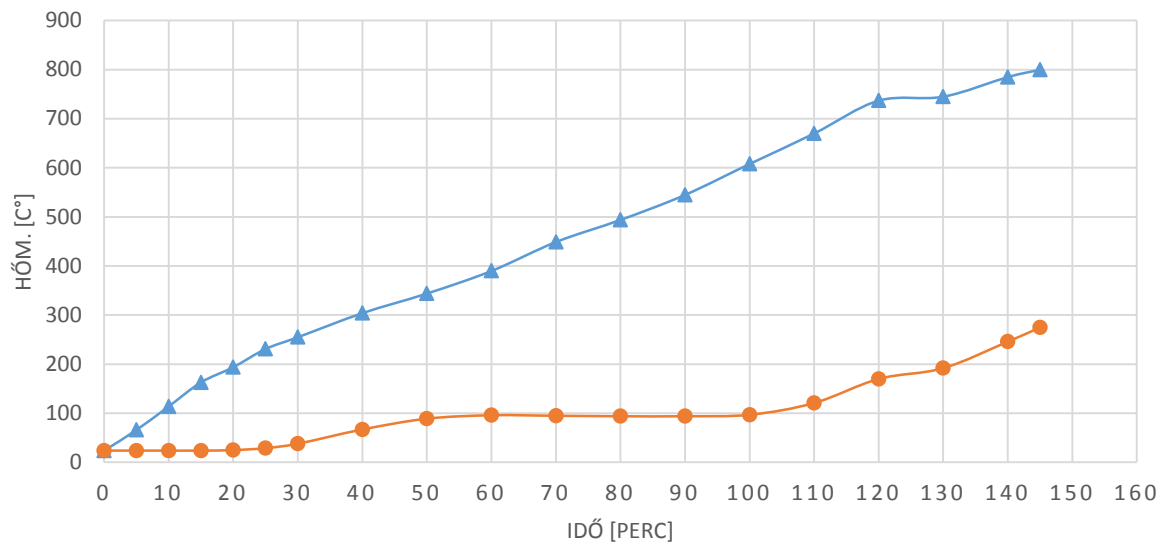
4.9 ábra: Hőterhelés utáni próbadoboz sérülései.

4.1.5 Polimer beton próbatest

A polimer beton viselkedése a mérések alapján közelebb áll az acéléhoz, mint a betonéhoz. Ez nem meglepő, hiszen vizet, és hidratált cementet nem tartalmaz.

A burkolaton belüli hőmérséklet függvénye kezdetben itt is lapos majd konstans szakasz következik (4.10 ábra). Láthatjuk, hogy ez a konstans szakasz nem hirtelen ugrással 30. perccel jelenik meg, hanem 20 perccel később. Erre valószínűleg az anyag hőtechnikai tulajdonságai adnak magyarázatot, de egy mérés birtokában ezt nem jelenthetjük ki, ki egyértelműen, mérési elrendezés kis mértékű eltérése is közrejátszhatott ennek kis mértékű eltolódásában. Ezek után a tűzálló gipszkarton itt is hosszantartó védelmet nyújt.

A görbe végső szakaszában a 100. perctől 608 °C-os külső hőmérséklet mellett leépül a plató, távozik a kristályvíz nagy része a burkolatból, illetve a burkolat leromlása is egyre intenzívebb. A belső hőmérséklet növekedése lassan elindul, azonban ez megtorpan a 110-130. perc között. Ennek oka a kemence görbéjével való összehasonlításból kiderül. Jól látható, hogy a kemence görbéjében kisebb törés van, feltehetően ez jelenik meg a belső hőmérsékletnél is. Azonban itt ez a felfűtési hiba egyből megjelenik, köszönhetően annak, hogy ekkora már a gipszkarton védelem leépült. A kőzetgyapot továbbra is útját állja a hőmérséklet gyors emelkedésének.



4.10 ábra: Hőmérséklet-idő görbe a tűzálló gipszkarton próbadozoz és polimerbeton próbatest esetén

A szemrevételezés során hamar világossá vált, hogy a polimerbeton a hőmérséklet hatására öngyulladásra hajlamos (4.11 ábra). A lángok eloltásával pedig megfigyelhető a burkolat degradálódása, jól látható hogy nem csak az



4.11 ábra: Lángoló polimerbeton próbatest a burkolatban

illesztések mentén történt felhasadás, hanem maga a gipszkarton lap is berepedt (4.12 ábra), ezeknek a repedéseknek a külső rétegen való megjelenése teszi lehetővé, hogy a második réteg burkolat gyorsabban átmelegedjen és leadja kristályvizét. Természetes a próbatestet is megvizsgáltam, ami keresztmetszete nagy részét elveszítette (4.13 ábra) ezen kívül érdemes még megemlíteni, hogy a gipszkartonon zöld elszíneződés volt

tapasztalható, ami feltételezhetően a polimerbeton égésekor felszabaduló gázoknak tudható be (4.14 ábra).



4.12 ábra: Tűzálló gipszkarton lap berepedése



4.13 ábra: Polimer beton próbatest a vizsgálat után



4.14 ábra: Zölden elszíneződött gipszkarton

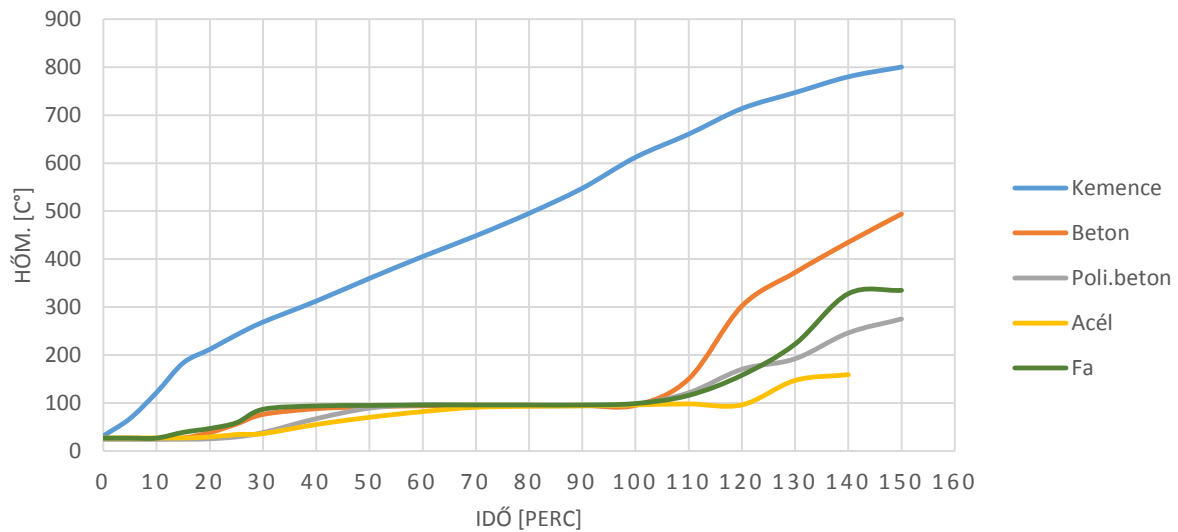
4.1.5 Összefoglalás

A következőkben a tűzálló gipszkarton lap és kőzetgyapot kombinációjaként készített szigetelések viselkedésével kapcsolatos tapasztalataimat kívánom összefoglalni. Három fontos tanúság szűrhető le a mérésekből:

- I. A felfűtés kezdeti szakaszánál a védett anyag tulajdonságai befolyásolják a felmelegedés mikéntjét.

A 4.15 ábrán is látható, hogy a felfűtés kezdeténél lényeges különbség van az acél, polimerbeton illetve a fa és beton viselkedése között. Ez az eltérés nem magyarázható a burkolat tulajdonságaival, hiszem mindegyik anyagnál azonos burkolati rendszert alkalmaztam. Megfigyelhető, hogy az acél lassabban melegszik fel, lassabban jelenik meg a plató, a beton pedig gyorsabban melegszik hirtelen jelenik meg a plató. Ez a viselkedés épp ellentétje annak, amit elvárhatnánk, a minta mennyiségéből következően erre vonatkozóan nem kívánok komoly következtetéseket levonni. De ez a jelenség valószínűleg nem magyarázható csak a mérési pontatlanságokkal, hiszen ahogy majd látni fogjuk az összes acéllal illetve betonnal végzett mérés

hasznos trendet követ. Későbbiekben fontosnak tartom további vizsgálatok elvégzését ezen jelenség megértéséhez.



4.15 ábra: A gipszkarton burkolattal végzett vizsgálatoknál tapasztalt hőmérsékleti görbék

II. A gipszkarton és kőzetgyapot burkolat 100 percig védi a szerkezetet

A gipsz átalakulásának első lépcsője, azaz a gipsz hemihidrát gipszé való alakulása 300-650 °C között játszódik le kb. 50 perc alatt. Ez az a szakasz, ahol a védelemben aktívan részt vesz a gipszkarton és hőt von el a rendszertől. Az átalakulásnak pedig ez a hosszú lefolyása azt is jelenti, hogy amikor a belső gipszkarton lapokban elindul a kristályvíz távozása a külső lapban már a második és harmadik lépcsős átalakulás is lezajlik.

III. A gipszkarton védelem kimerülésével a kőzetgyapot és a gipszkarton hőszigetelő hatása veszi át a védelmet, illetve a szerkezeti anyagok tulajdonságai újból dominálnak

Amikor a gipszkarton „kimerül” látható, hogy nem ugrik meg hirtelen a hőmérséklet a burkolaton belül. Ez a kőzetgyapotnak tudható be. Kőzetgyapot alkalmazásával tovább tudjuk késleltetni a szerkezet átmelegedését, degradálódását. Az is látható, hogy ebben a szakaszban már újból előtérbe kerülnek a szerkezeti anyagok, eltérő hőtechnikai tulajdonságaik. Ezt mutatják az egymástól jelentősen eltérő plató utáni felmelegedési szakaszok.

4.2 Gipszrost lap burkolatok

4.2.1 A burkolat leromlásáról általában

Elsőként szeretném ismertetni a gipszrost lap és kőzetgyapot kombinált burkolat degradálódását.

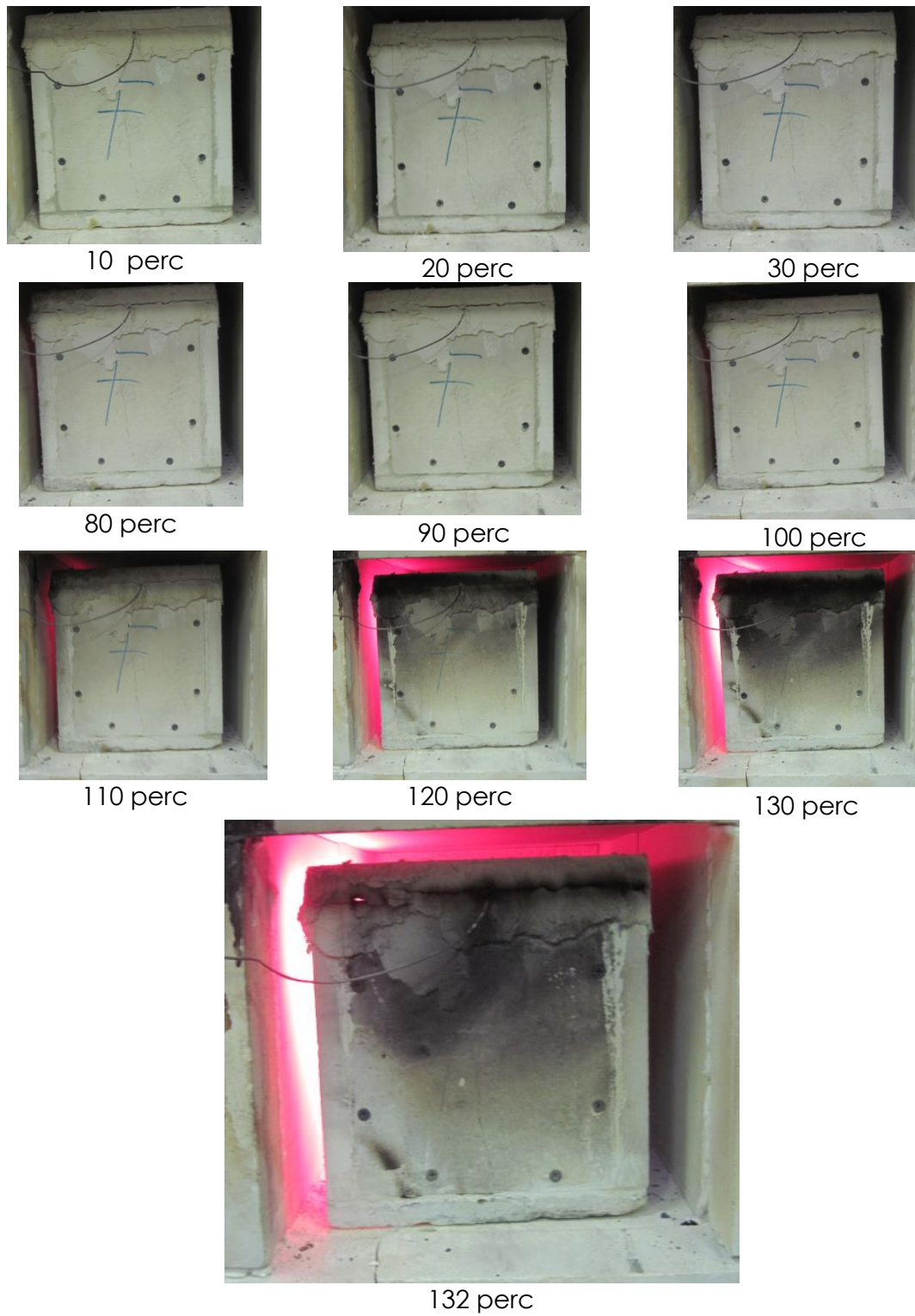
A szemrevételezések során készült fotókon látható, hogy a gipszrost lap nem mutat semmilyen feltűnő külső változást az első 100 percben. Egyedül a doboz tetejénél a hézagkitöltő gipsz illetve a gipszrost lap kormozódása figyelhető meg. Az itt ismertetett képsorozat a beton próbatesttel elvégzett méréshez tartozik. Így nem magyarázható ez a jelenség a vizsgált szerkezeti anyag hőterhelésre való átalakulásával. A gipszrost lap, mint azt a 2.3.1.3 fejezetben írtam, cellulóz szálerősítést tartalmaz. Így ez a füst, korom feltehetően ennek a szálerősítésnek a felszín közelben való kiégésére utal.

Ezen az elszíneződéssel járó változáson kívül azonban más elváltozás nem figyelhető meg a burkolaton. A hőterhelés végét elérve a 132. percben 800 °C –on sem tapasztalható a számottevő károsodás (a burkolat felnyílása az illesztések mentén vagy a doboz valamelyik oldalának a leszakadása). A burkolat felnyílásának elmaradása valószínűleg a profilokra vezethető vissza. Ezeknek a dobozoknak a rögzítésére tömör L profilt használtak. De a felnyílás kis mértéke csak ezzel nem magyarázható, természetesen a lapok merevsége is befolyásolja, ezt bizonyítja az is hogy a profilok a hőterhelés után vörösen izzottak, tehát nagymértékű alakváltozást szenvedtek.

A hőterhelés végeztével a próbadobozt egyben el lehetett távolítani a kemencéből, nem törtek le belőle darabok. A csavarok továbbra is biztonságosan rögzítették a lapokat, nem égtek ki. Nem csak saját, hanem a bennlévő próbatest súlyát is képes volt hordani a burkolat, tehát a lapok mechanikai értelemben alkalmasak voltak az újbóli felhasználásra.

A második hőterhelés során hasonló tapasztalataim voltak, mint az első vizsgálatnál. Ekkor sem volt számottevő mechanikai károsodás, felnyílás, törés. Az egyedüli különbség a kormozódás mérséklődése volt, ami arra utal, hogy a szállak csak a felszín közelében képesek kiégni a lapból, a burkolat belsejében a levegő hiányában nem lehetséges.

Második hőterhelés után is egyben eltávolítható, a mechanikai hatásokat jól tűrő maradt a doboz.



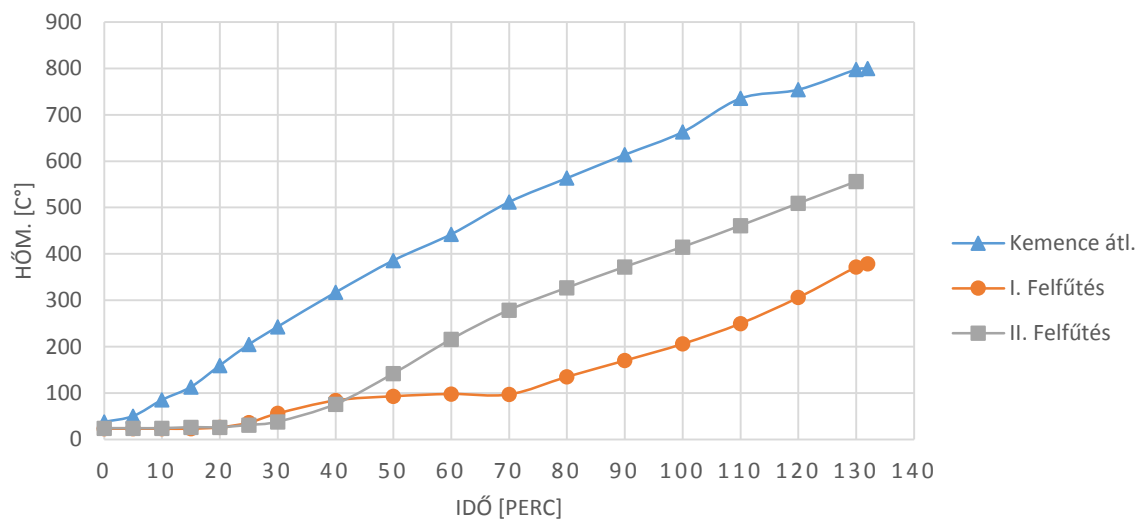
4.13 ábra: A gipszrost lap és kőzetgyapot burkolat leromlása

4.2.2 Beton próbatest

A 4.16 ábrán látható a gipszrost lap, kőzetgyapot kombinált szigetelés, beton próbatesttel történő vizsgálatának eredményei. Ebben a fejezetben ezeket ismertetem.

I. Első hőterhelés

A görbe kezdeti szakasza lapos egészen a 25. percig (204 °C külső hőmérsékletig). Ebben a kezdeti szakaszban gyakorlatilag nem tapasztalható hőmérséklet növekedés a burkolaton belül. Ez arra utal, hogy a gipszrost lap ebben a periódusban tökéletesen útját állja a hőnek, ennek köszönhető az is, hogy ebben a kezdeti szakaszban nem kezd el emelkedni a beton hővezetési tényezője.



4.16 ábra: Hőmérséklet-idő görbe gipszrost próbadoz és beton próbatest esetén

A gipszrost burkolat első terhelésénél, a kezdeti szakasz után fokozatosan felépülő plató következik, ami aztán hozzávátólegesen 30 percig 100 °C körül tartja a burkolaton belüli hőmérsékletet. Érdekes, hogy a plató hamar, a 70. percben 512 °C-os külső hőmérséklet mellett eltűnik, és a burkolaton belüli hőmérséklet emelkedni kezd. A rövid plató a gipszrost lapban lévő kötött víz mennyiségére utalhat.

A platót követően a görbe párhuzamosan fut a kémence felfűtési görbéjével, 400 °C-os külső és belső hőmérséklet különbség mellett. Ez a viselkedés arra utal, hogy habár a kristályvíz leadása már nagyrészt lejátszódott a burkolatban, de a kőzetgyapot illetve a továbbra is masszív, és sértetlen gipszrost lap még a kémiai védelem nélkül is jelentős hőszigetelő képességgel bír.

II. Második hőterhelés

A második felfűtés, hőterhelés görbéjének kezdeti szakasza megegyezik az első felfűtés görbéjével. Hiába égett már ki a gipszrost lap, a lap és a kőzetgyapot ugyan olyan teljesítményt nyújt, mint az első hőterheléskor.

A kezdeti szakasz után, a kristályvíz hiányában elmarad a rövid plató, egyből megjelenik a párhuzamos futású szakasz annyi különbséggel hogy nem 400 °C, hanem átlag 240 °C a különbség a külső és belső görbe között. A burkolat az eltávozott víz hiányában, kémiai védelem nélkül is részben védelmet nyújt a szerkezetnek.

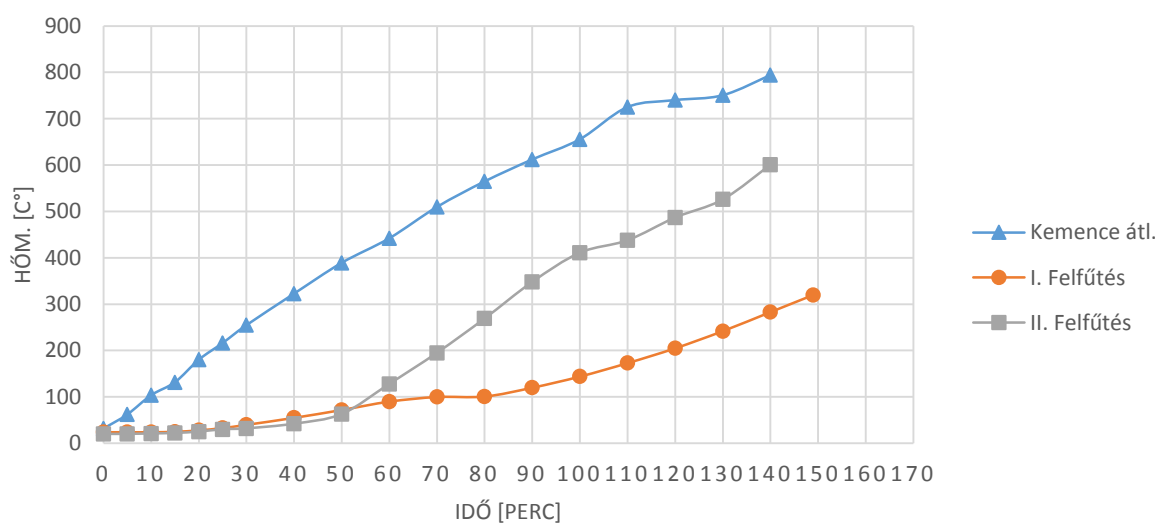


4.17 ábra: Második hőterhelés utáni szemrevételezés.

4.2.3 Acél próbatest

I. Első hőterhelés

Az első hőterhelés görbéje (4.18 ábra) jól mutatja a már fent is kifejtett tulajdonságait ennek a típusú védelemnek. Először is a kezdeti szakaszban, az első fél órában szinte konstans a burkolaton belüli hőmérséklet, megfelelő a védelem.



4.18 ábra: Hőmérséklet-idő görbe gipszrost próbadoboz és acél

Ezek után fokozatosan felépülő platót láthatunk. A gipszrost lemez kristályvíz tartalma viszonylag hamar távozik, de ez nem jelenti a védelem megszűntét.

A rövid plató után, ahogy már a betonnál is láttuk, egy a külső hőmérséklet növekedéssel párhuzamos szakasz kezdődik. Ennek a szakasznak a felépülése valamivel lassabb, mint a betonnál. A kémiai védelem megszűnt, csak a kőzetgyapot és a gipszrost együttes hőszigetelése, ami a védelmet biztosítja. Azt is észrevehetjük, hogy ez a szakasz nem emelkedik olyan meredeken, ez ahogy már fent tárgyaltam, valószínűleg a próbatest geometriájából fakadó hőellenállásával magyarázható. Ebben az esetben az átlagos hőmérséklet különbség a két görbe között 470 °C.

II. Második hőterhelés

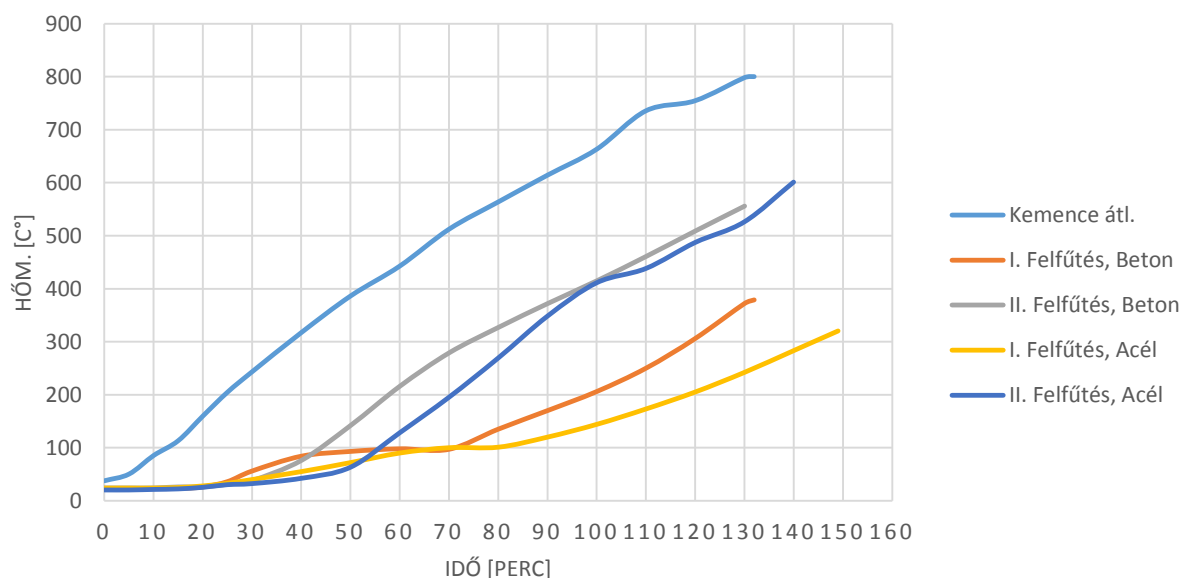
A második felfűtés függvényének két jellegzetes szakasza van (4.14. ábra). Az első a kezdeti állandó belső hőmérséklet szakasza. Majd ezt követően a felfűtési görbével párhuzamos szakasz. A plató megjelenése nem következik be, hiszen a kristályvíz már távozott az anyagból. A védelmet elsősorban a gipszrost illetve a kőzetgyapot hőszigetelő képessége biztosítja.

4.2.4 Összefoglalás

A gipszrost lap és a kőzetgyapot együtteseként kétszeri hőterheléssel vizsgált burkolat viselkedéséből az alábbi következtetések vonhatóak le:

- I. A hőterhelés kezdetén nagyjából fél órás konstans belső hőmérséklet mérhető

Ez a szakasz minden egyes hőterhelésnél megjelenik, legyen szó első vagy második felfűtéséről az adott doboznak (4.19 ábra). Közel 200 °C –os külső hőmérséklet emelkedés mellett a burkolaton belül hozzávetőlegesen marad a



4.19 ábra: A gipszrost burkolattal végzett vizsgálatoknál tapasztalt hőmérsékleti görbék

kezdeti hőmérséklet. Mivel ez a szakasz a második hőterhelésnél is jelen van, ez azt jelenti, hogy ezért nem a kristályvíz távozása, azaz a kémiai védelem gyors beindulása a felelős. Hanem a gipszrost nagyon hatékonyan áll ellen a hőnek.

II. A kristályvíz távozás rövid konstans szakaszt eredményez

A 4.15 ábrán láthatjuk, hogy sem a beton, sem az acél esetében nincs hosszan elnyúló plató. Mindkét esetben 500-550 °C külső hőmérséklet mellett a 70. perc környékén megszűnik ez a szakasz. Ez a gyors leépülés azzal indokolható, hogy a 25 mm vastag burkolólap hamar átmelegszik, hamar megtörténi a gipsz átalakulásának első és második lépcsője. Az átalakulás gyors lefutását minden bizonnyal a felszín közelében kiégő cellulóz szálak is erősítik. A 15-20 % cellulóz szál, a cellulóz fokozatosan kiégésével megnöveli a burkolat porozitását, így a kristályvíz könnyen tud távozni a lap mélyebb rétegeiből is. Valószínűleg ennek köszönhető, hogy, kialakult hemihidráttal gipsz és anhidrit rétegeket így nem löki le a távozni akaró víz nyomása. A második terhelés esetében pedig teljesen el is marad a konstans szakasz.

III. A kristályvíz távozásával lassú és egyenletes hőmérséklet növekedés indul.

Miután megszűnik a kémiai védelem a burkolat továbbra is képes a hő útját állni. Itt jelenik meg a gipszrost lap legelőnyösebb tulajdonsága, hosszú ideig állandó hőmérséklet különbséget képes tartani a külső és a belső levegő között.

A cellulóz szálak kiégésre következtethetünk 4.20 ábrából. Látható, hogy a gyártás során apró bemélyedések keletkeznek az anyagon ezek a bemélyedések pedig a hőterhelés hatására szélesebbé válnak. A szélesedés mértékéből következtethetünk arra, hogy mekkora mennyiségű anyag távozott a lap felszínéről, ez elenyésző. Vagyis a cellulóz kiégése még a felszíni rétegben is nagyon lassú.

Tehát a cellulózt a burkolat kétszer is hasznosítja, egyrészt a kiégése gátolja az átalakult gipsz leöklődését, másrészt a kiégés sebessége lehetővé teszi, hogy a kiégett anyag továbbra is a burkolaton maradjon.



4.20 ábra: A gipszrostlap felülete hőterhelés előtt (bal) és után (jobb)

4.3 Cementkötésű lap burkolat

4.3.1 A burkolat leromlásáról általában

A cementkötésű lap degradálódási folyamat nem jár semmilyen látványos változással. Ezért csak a lényeges részletekről ismertetek fényképet.

A felfűtés kezdetével nem tapasztalható semmilyen külső változás a vizsgálati dobozokon, sem kormozódás, sem a burkolat felületének sérülése. Az első komolyabb változás a burkolaton az az élek mentén történő felnyílása. Azonban ez, ahogy azt már a gipszrost lapoknál is láthattuk nem túl jelentős (4.21 ábra). Ez a felnyílás a 90. percben következik be, de jelentős hatással nincs a védelemre.



4.21 ábra: Felnyílt illesztés

Ebben a felnyílásban a burkoló lapok deformálódása játszik szerepet. A cementkötésű lapoknak jellemző tulajdonsága, hogy a hőterhelés hatására behajlanak. Ez leginkább a 4.22 ábrán figyelhető meg. A fotó a hőterhelés utáni mutatja a doboz fedelét, mivel a fedő nem volt mechanikailag rögzítve így abban gátolatlanul kialakulhatott a lap behajlása. A fém profilok átmelegedéséből származó alakváltozás mellett a cementkötésű lap behajlása, ami más vizsgált anyagoknál nem volt tapasztalható, is hozzájárul



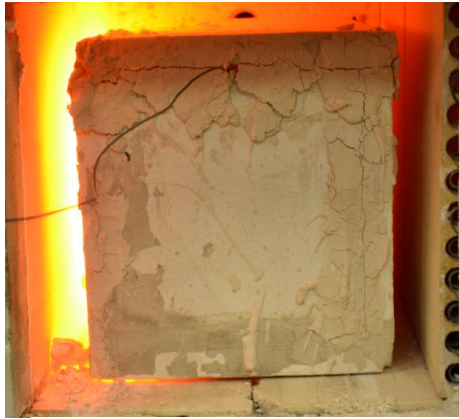
4.22 ábra: Eldeformálódott cementkötésű lap

az oldallapok felnyílásához. A cementlapok merevsége itt is újtját álja túlzott felrepedésnek.

A hőterhelés végeztével jól látható, hogy a dobozon nincs jelentős változás (4.23 ábra), mechanikai értelemben a doboz a repedések ellenére egyben van. Degradálódás egyedül a lapok felszínén tapasztalható (4.24 ábra), sűrű repedések formájában. Ezek a repedések a különböző hidraulikus cement ásványok átalakulásával jönnek létre.

A doboz kemencéből való eltávolításakor a saját és a próbatest súlyát is elbírta. Az egyetlen jelentős változás a már említett behajlás. Ami nehézkessé teszi, megkérdőjelezi az anyag újbóli felhasználhatóságát.

A második hőterhelés során sem tapasztalhatóak jelentős változások a burkolaton. Egyedül a repedések fokozódása, de a burkolat nem megy tönkre.



4.23 ábra: Cementkötésű burkolat közvetlen a vizsgálat befejezése után



4.24 ábra: Cementkötésű lap felszínének hőterhelés előtt (jobb) és után (bal)

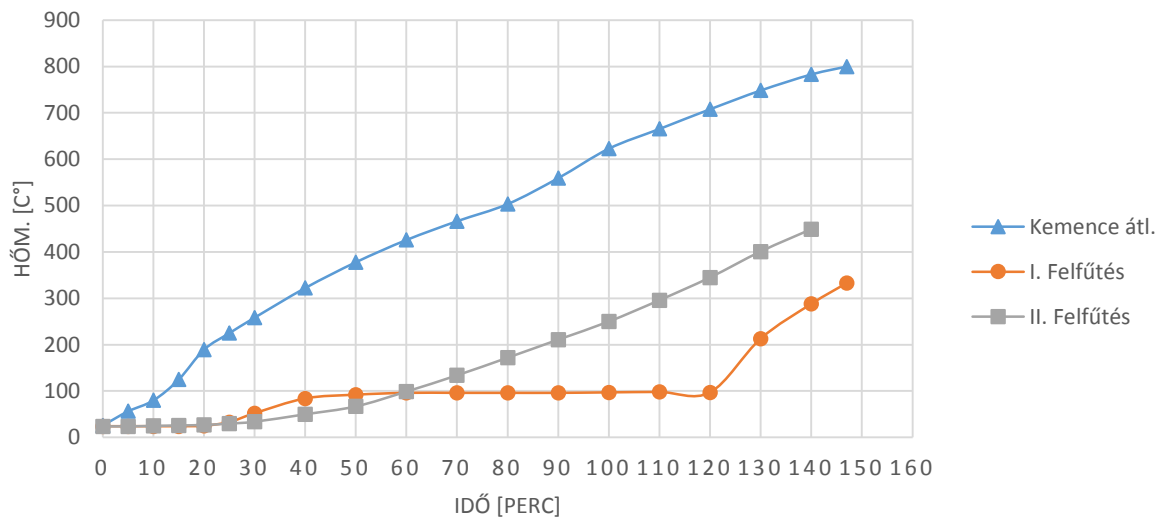
4.3.2 Beton próbatest

A következőkben a cementkötésű lappal végzett vizsgálat eredményeit ismertetem:

I. Első hőterhelés

Az első hőterhelés esetén a görbén (4.25 ábra) látható egy 20 perces konstans szakasz, amikor a külső hőmérséklet 200 °C-ra emelkedik, de a belső hőmérséklet nem változik. Ez a szakasz a cementkötésű lap viselkedésével magyarázható. Ebben a szakaszban melegszik át a lap, a teljes átmelegedésig úgy viselkedik, mint egy vékony beton burkolat.

Ezután a szakasz után konstans szakasz következik. A konstans szakasz 80 percen keresztül tart miközben a kinti hőmérséklet 322 °C-ról 708 °C-ra emelkedik. Ez a hosszan elnyúló plató egyrészt bizonyítja arra, hogy a lap ásványmixe jelentős mennyiségű kötött vizet tartalmaz. Valószínűsíthető, hogy ez az ásványmix gipszet is tartalmaz a sok kristályvíz, illetve a lap tiszta fehér színe miatt.



4.25 ábra: Hőmérséklet-idő görbe cementkötésű lap próbadoboz és beton próbatest esetén

A plató után a burkolaton belüli hőmérséklet emelkedni kezd. Az emelkedés közel egy ütemben halad a külső hőmérséklet növekedésével, párhuzamos azzal. A plató utáni végig tartja az 500 °C –os külső-belső hőmérséklet különbséget.

II. Második hőterhelés

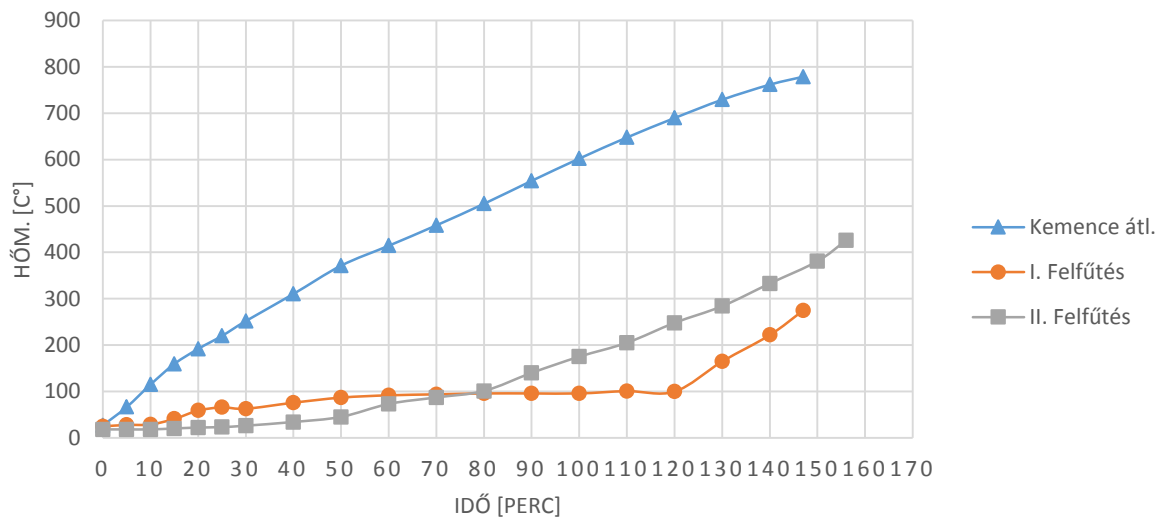
A második hőterhelés során is megjelenik a kezdeti konstans szakasz, ez is bizonyítja, hogy ez a konstans rész nem a kémiai, hanem a fizikai védelemnek tudható be. Ennyi idő kell mire a cementkötésű lap és a kőzetgyapot átmelegszik. Ezek után azonban elmarad a plató.

A kiégett lap egyből olyan viselkedést mutat, mint az első terhelés után a plató eltűntével. A külső hőmérséklet emelkedésével párhuzamos ez a szakasz 330 °C–os külső-belső hőmérséklet különbséggel. Ezen a szakaszon a betonból távozó víz sem képes változtatni.

4.3.3 Acél próbatest

I. Első hőterhelés

A görbe első szakasza (4.26 ábra) az eddigi tapasztalatoknak megfelelően közel konstans. Ezek után egy fokozatosan emelkedő szakasz következik, majd közel 70. percen keresztül tart. Ezt követően a burkolatban lévő gipsz, és cement ásványok dehidratációja után megindul a hőmérséklet növekedése a burkolaton belül. Ebben az esetben ez lassabb, mint a betonnál láthattuk a hőmérséklet különbség 600 °C körüli. Ez az acél próbatest geometriájának tudható be valószínűleg.



4.26 ábra: Hőmérséklet-idő görbe cementkötésű lap próbadohoz és acél próbatetest esetén

II. Második hőterhelés

A második hőterhelés eredményei is nagyon jól beleillenek a cementkötésű lapnál eddig tapasztalat trendekbe. Kezdetben közel konstans szakasz van, amikor a belső hőmérséklet gyakorlatilag változatlan. Majd ez a szakasz megtörik és a külső hőmérséklet emelkedésével egy ütemben elkezdi nőni a burkolaton belüli hőmérséklet is.

Ebben az esetben azonban ez a növekedés nem olyan gyors, mint a beton esetében ez itt is az acél próbatetest geometriájával magyarázható.

4.3.4 Összefoglalás

A cementkötésű lapokkal kapcsolatos tapasztalataim (4.27 ábra) a következőkben foglalhatók össze:

- I. A hőterhelés kezdetén 20 percig nem változik jelentősen a belső hőmérséklet.

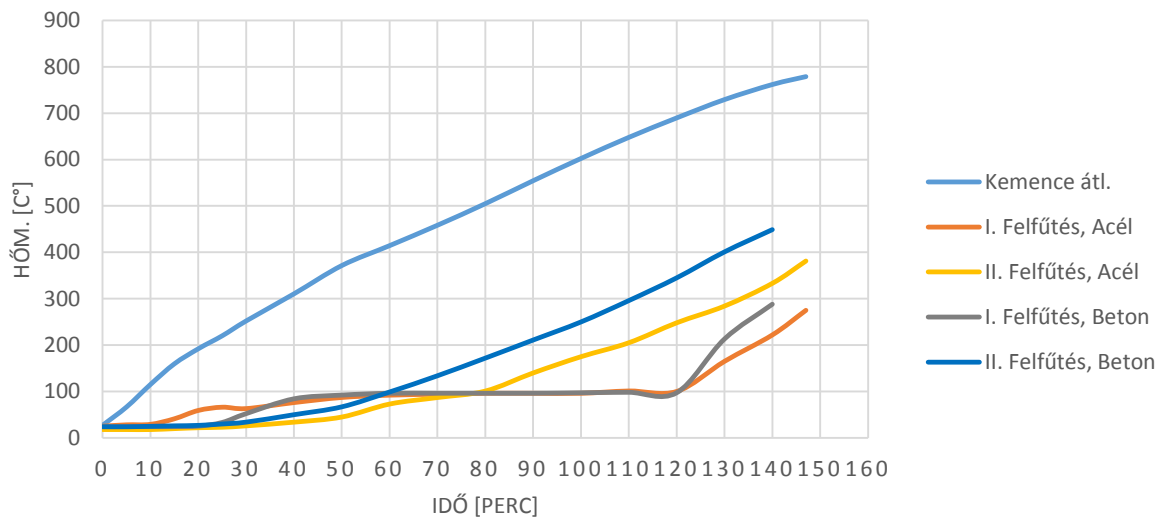
Ennek oka, hogy ennyi ideig tart a burkoló lap és a kőzetgyapot átmelegedése, ez az idő még akkor is szükséges, ha a burkolólap már kiégett (korábban hőterhelve volt).

- II. Elnyúló, közel 80 perces plató alakul ki a kémiai védelemnek köszönhetően

Az elnyúló plató azzal indokolható, hogy le kell játszódnia az anyagban lévő különböző szilikát ásványok vízleadásának. Ez a nagy kristályvíz tartalmú ásványi mix az, ami ezt a hosszú hűtési szakaszt eredményezheti.

III. A plató végeztével csak a kiégett anyag és a kőzetgyapot hőszigetelése érvényesül.

Ebben a szakaszban nem beszélhetünk további kémiai védelemről, de azt is látnunk kell, hogy ez nem jár együtt a védelem teljes leépülésével. A burkolat még több tíz percig képes közel átlagosan 400 °C -os hőmérséklet különbséget tartani. Ez a szakasz a második terhelésnél hamarabb megjelenik, a plató kihagyásával egyből a kezdeti konstans szakasz után.



4.27 ábra: A különböző vizsgálati eredmények görbéi cementkötésű burkolatok esetén

IV. A cementkötésű lapok felszíne berepedezik hőhatásra.

Tönkremenetelüknek ez a legfontosabb oka. Megjelenésük azt jelenti, hogy lebomlottak és ezzel duzzadtak a cement ásványok. Tehát a lap kohézióját biztosító komponens tönkrement. Ezt követően a lapok már csak kevés ideig képesek megőrizni mechanikai ellenálló képességüket. A második hőterhelés után a dobozok egy hónapig normál körülmények között, szobahőmérsékleten voltak tárolva. Ezek után azonban a cementkötésű lapok sérülékennyé váltak, könnyen törtek, morzsolódtak. Ennek oka, hogy a dehidratált cement ásványok visszaszívták a nedvességet a levegőből és ennek hatására megduzzadtak. Így már nem tudtak kelő összetartást biztosítani.

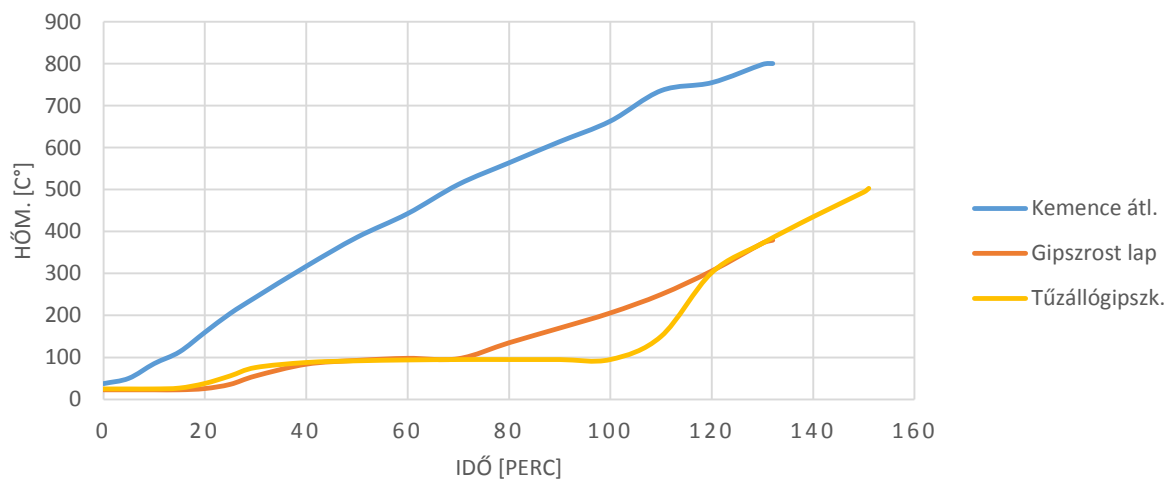
Tehát minden előnyös mérési eredmény dacára kijelenthető, hogy ezeknek a lapoknak az újbóli felhasználása nem lehetséges.

5. Mérési eredmények összehasonlítása

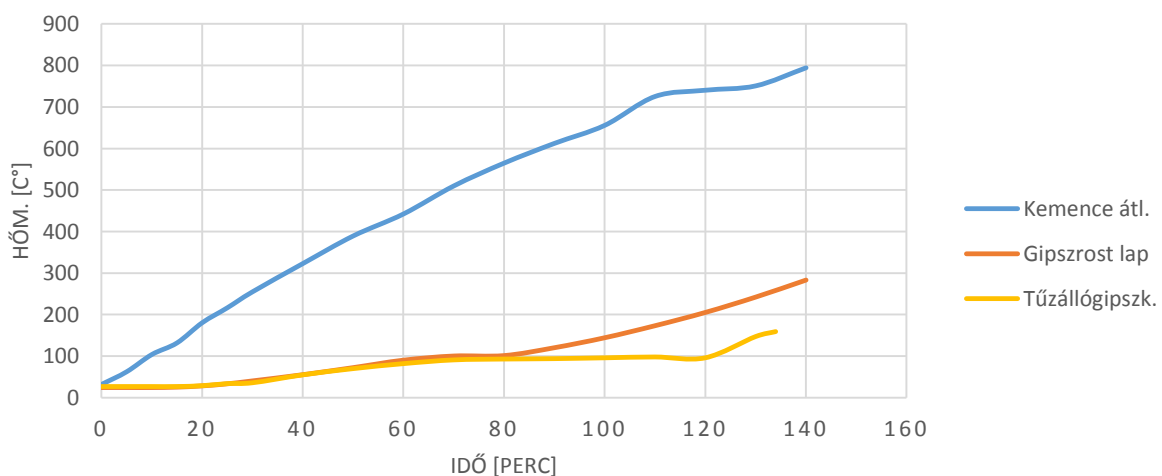
Ebben a fejezetben a különböző építési lemezekből készülő tűzvédelmi burkolatokat szeretném összehasonlítani. Kezdve a két szálerősítésű lap, a tűzálló gipszkarton és a gipszrost lapok összehasonlításával.

Az 5.1 ábrán látható görbék mutatják ezeknek a burkolatoknak a hőmérséklet idő görbéit. Innen látható, hogy a két réteg tűzgátló gipszkarton burkolat hatékonyabb védelmet biztosít. A beton számára 30 perccel tovább tartja 100°C körül a burkolaton belüli hőmérsékletet, a két görbe csak a 120. perctől fut újból közel azonosan.

Az 5.2 ábra is hasonló képet mutat habár itt az acél lassabb felmelegedése miatt nem figyelhető meg a plató utáni közös szakasz és maguk a görbék is laposabbak a felmelegedési periódusokban. De ebben az esetben is kijelenthető, hogy a gipszkarton hatékonyabb védelmet biztosított. 40 perccel tovább védte a szerkezeti anyagot, mint a gipszrost lap.



5.1 ábra: Tűzálló gipszkarton, gipszrost lap próbadozobban kialakuló hőmérséklet-idő görbéik (beton próbatesttel)

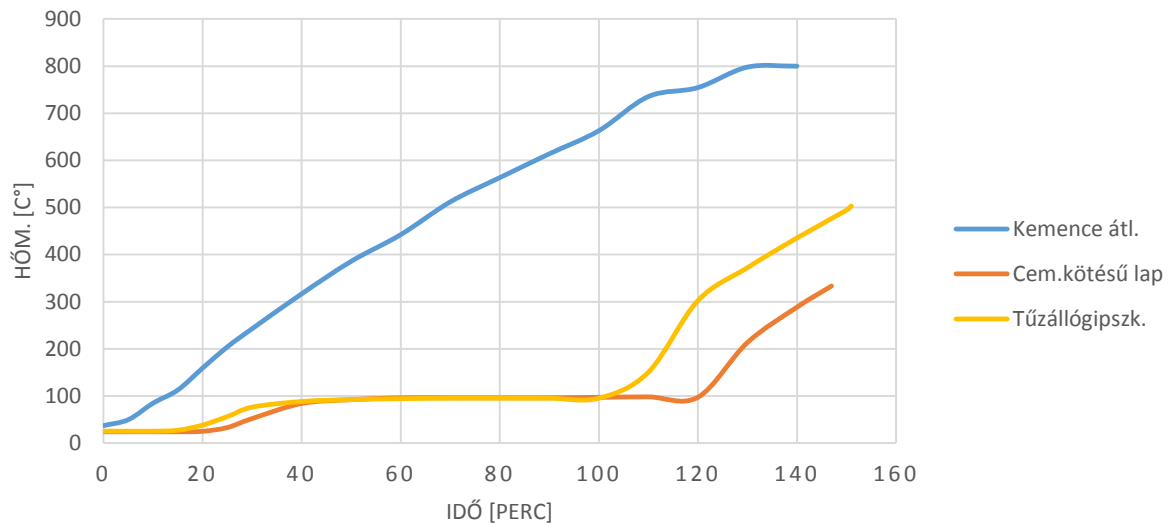


5.2 ábra: Tűzálló gipszkarton, gipszrost lap próbadozobban kialakuló hőmérséklet-idő görbéik (acél próbatesttel)

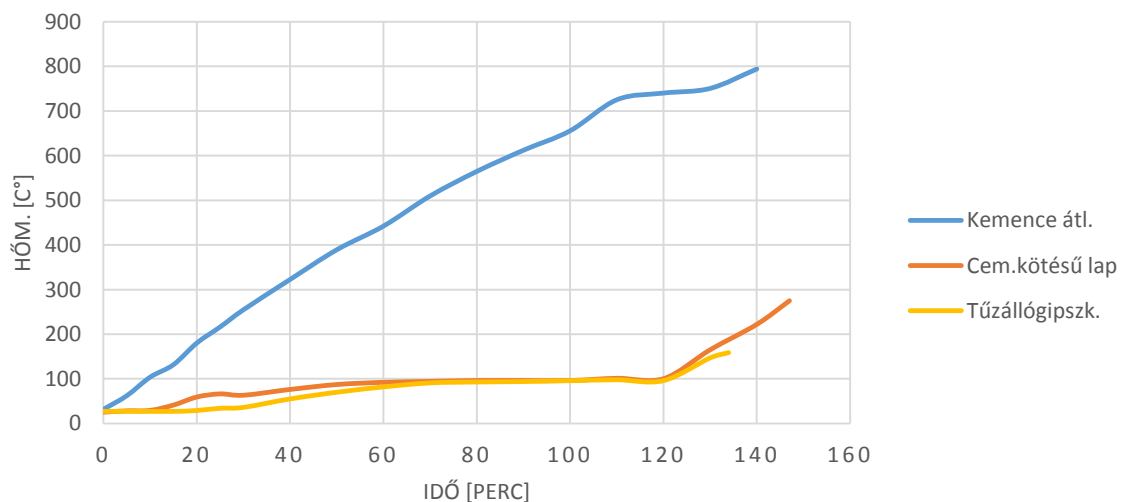
Az előző összehasonlítás tapasztalatai alapján a következőkben a tűzálló gipszkartont illetve a cementkötésű lapokat hasonlítom össze.

Az 5.4 ábra függvényei azt bizonyítják, hogy a cementkötésű lapban lévő ásvány keverék 20 perccel tovább képes 100 °C-on tartani a belső hőmérsékletet.

Az 5.5 ábra alapján az acél elem védelme is hasonlóképpen következett be, de ebben az esetben a két görbe egyszerre a 120. percben válik szét. Erre nem nyújtanak egyértelmű magyarázatot sem az acél hőtechnikai tulajdonságai, inkább a burkolat mérési pontatlanságára utalhat.

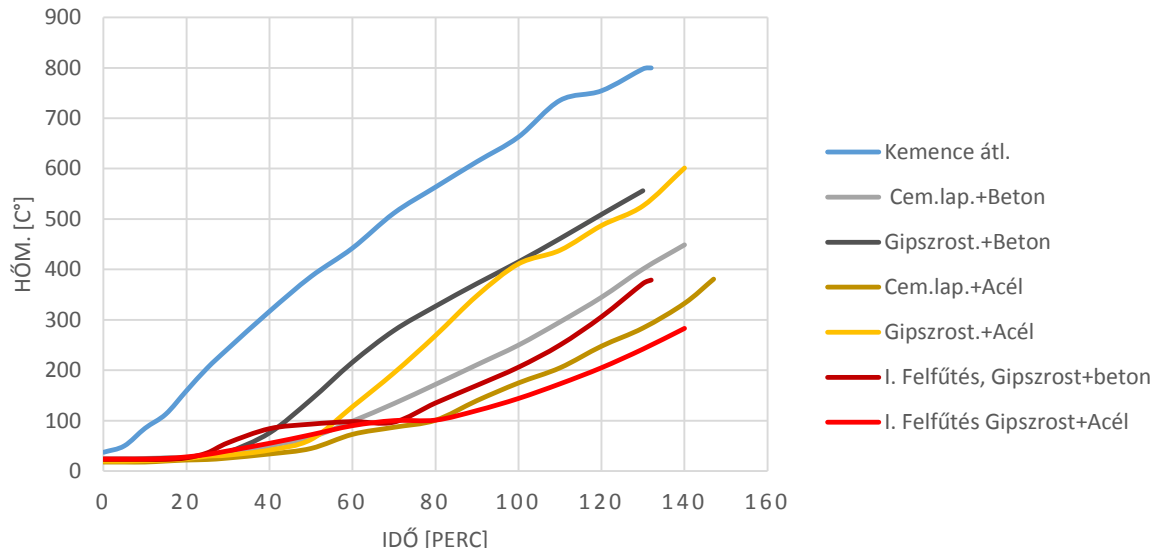


5.4 ábra: Tűzálló gipszkarton, cementkötésű lap próbadozobban kialakuló hőmérséklet-idő görbék (beton próbatesttel)



5.5 ábra: Tűzálló gipszkarton, cementkötésű lap próbadozobban kialakuló hőmérséklet-idő görbék (acél próbatesttel)

Most pedig tekintsük a második, ismételt hőterhelés összehasonlítását (5.6 ábra). A függvények megmutatják, hogy a gipszrost védelem a második hőterheléskor kevésbé hatékony. Sőt a cementkötésű lapok védelme a második terheléskor is hatékony. Az ábrán piros színnel jelzett gipszrost első felfűtés kori védelmével közel megegyező.



5.6 ábra: Különböző kétszer hőterhelt burkolatok összehasonlítása

6. Összefoglalás

Végezetül szeretném a kutatási eredményeimet összefoglalni és a dolgozatom elején felvetett kérdéseket megválaszolni:

I. A gipszkarton, gipszrost és cementkötésű lap védelmek közötti különbségek feltárása, előnyök, hátrányok, hatékonyságuk meghatározása.

Mérési eredményeim azt bizonyítják, hogy a különböző burkolatok védelmének hatékonysága leginkább a kristályvíz tartalmuktól függ. A leghatékonyabb a cementkötésű lap, hiszen abban a szilikát ásványok sok vizet biztosítanak.

A méréseim azt igazolták, hogy a gipszkarton lapok kémiai védelme hatékonyabb a gipszrost lapokénál. Azonban azt nem jelenthetjük ki, hogy ténylegesen hatékonyabbak is, hiszen a gipszkarton lap burkolatok a hőterhelés hatására jelentős károsodást szenvedtek. A gipszkarton leginkább arra alkalmas, hogy sokáig alacsonyban tartsa a hőmérsékletet a burkolaton belül, míg a gipszrost lap a külső és belső hőmérséklet különbség stabil tartásával biztosít védelmet és előnye, hogy nem szenved mechanikai károkat a hőterhelés hatására.

Ezért **a tűzvédelmi burkolatok választásakor mérlegelnünk kell, hogy az adott szerkezeti anyagnak milyen burkolati viselkedés kedvez. Éghető anyagok esetében jobb, ha hosszú ideig alacsony a hőmérséklet a védelmen belül**, hiszen amennyiben eléri a belső hőmérséklet a gyulladáspontot akkor, a védelem szerkezeten való fennmaradása ellenére a tartószerkezet tönkremegy. **Tehát éghető anyagok esetén a tűzgátló gipszkarton burkolat lehet kedvező. Míg acél és beton szerkezeteknél előnyösebb a hosszú ideig tartó védelem biztosítása, még ha ez a védelem nem is jelent akkora külső és belső hőmérséklet különbséget.**

Az építési lemezek kémiai védelmének kimerülésével fontos szerephez jut a kőzetgyapot. Meggátolja, hogy hirtelen megnövekedjen a hőmérséklet a burkolaton belül.

Természetesen maradtak kérdések, amit ekkora mintaszám vizsgálatával nem lehet tisztázni. További kutatások tárgyát képezheti annak megértése, hogy pontosan miként befolyásolják a szerkezeti anyagok a tűzvédelmi burkolatok viselkedését. Hiszen amint azt a beton és acél próbatestekkel végzett mérések megmutatták vannak érdekes, nem várt eredmények. Miért melegszik az acél lassabban, mint a beton? Miért jelentkezik a beton esetében hirtelen ugrással a kémiai védelmet jelentő plató?

II. Újra felhasználhatóságuk mérlegelése.

A második hőterhelés eredményei azt bizonyították, hogy a **leghatékonyabban a cementkötésű lapok biztosítanak védelmet újbóli tűzhatás esetén.**

Azonban a tapasztalatok azt mutatják, hogy **még ha meg is őrzik szilárdságukat a hőterhelés után a nedvesség felszívása miatt a cementkötésű burkolat megduzzad és nem képesek a szilárdságuk megtartására és néhány hét után már az önsúlyukat is nehezen viselik.**

Ezzel ellentétben a gipszrost lapok, szilárdak maradnak a hőterhelés után több héttel is. Azonban a mérések azt mutatják, hogy újra felhasználhatóságuk csak nagyon korlátozottan lehetséges. **Habár második hőterhelésnél is stabil hőmérséklet különbséget tartanak, ennek mértéke azonban nem elégséges szerkezeti védelemre.**

Ezen kísérlet sorozatom eredményei azt mutatják, hogy érdemes lenne a gipszrost lap szálerősítésének és a cementkötésű lap ásvány mixének az ötvözésével előállított lapok vizsgálatát.

III. Gazdaságosságuk összehasonlítása.

Végezetül szeretném összehasonlítani a különböző építési lapok árait. Ez ugyan nem tartozik szorosan az építőanyagok vizsgálatához, de amikor az építőiparba anyagválasztásra kerül a sor ez is döntő szempont, ami alapján mérlegelnek. Ezért fontosnak érzem, hogy a burkolatok viselkedésének bemutatása után a választás másik szempontját is bemutassam.

6.1 táblázat: A különböző építési lemezek árának összehasonlítása.

Burkolatok típusa	Márkanév/gyártó	Ár [Ft/m ²]
Tűzálló gipszkarton	Lafarge [13]	666
	Knauf [14]	655
	Rigips [15]	679
Gipszrost lap	KNAUF Fireboard [16]	5464
	Rigidur H15 [17]	3559
	Vidiwall [18]	3385
Cementkötésű lap	PROMATECT-H [19]	15000

A 6.1 táblázatban láthatjuk, hogy jelentős különbségek vannak a különböző anyagok árai között. A leghatékonyabb kémiai védelemmel rendelkező cementkötésű lapra közel 12 –szer annyiba kerülnek, mint a második leghatékonyabb kémiai védelemmel bíró kétrétegű gipszkarton lapokra. A 20 perc plusz védelem 13800 Ft többletköltséget jelent. Ez igen jelentős tekintve, hogy a mérések alapján újbóli felhasználásuk nem lehetséges.

A gipszrost lapok esetében már jóval kedvezőbb a helyzet, amennyiben a tartószerkezet védelme a fentebb már kifejtett okokból előnyösebb gipszrost lapokkal megoldani. Ebben az esetben átlagosan 2200 Ft –tal kell többet fizetnünk a két réteg tűzálló gipszkartonhoz képest a más jellegű védelemért. Cserébe ez a lap újra felhasználható, ezt mechanikai tulajdonságainak megváltozása nem gátolja.

Köszönetnyilvánítás

Dolgozatom végeztével köszönetet szeretnék mondani azoknak, akik segítettek a munkámat. Köszönöm konzulenseimnek Dr. Majorosné Dr. Lublós Évának és Czoboly Olivérnek valamint az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék laboratórium munkatársainak segítségét.

Irodalomjegyzék

- [1] Balázs L. Gy., Horváth L. et al. (2010) Szerkezetek tervezése tűzterherre az MSZ EN szerint (beton, vasbeton, acél, fa). Oktatási segédlet. MMK Tatószerkezeti Tagozat
- [2] Balázs Gy. (1983): Építőanyagok és kémia, Műegyetem Kiadó
- [3] **fib** bulletin 38 (2007): Fire design of concrete structures- materials, structures and modelling, ISBN: 978-2-88394-078-9
- [4] Kopecskó Katalin: Fázisanalitikai módszerek alkalmazása a mérnöki gyakorlatban
- [5] Csányi Erika, Dr. Józsa Zsuzsanna (2004): Épített Környezet védelme, HEFOP, http://www.epito.bme.hu/eat/oktatas/feltoltesek/BMEEOEM-SQ5/epített_környezev_vedelme_segédlet.pdf (letöltve: 2014.09.06)
- [6] http://www.finehomebuilding.com/CMS/uploadedimages/Images/Homebuilding/Departments/021193wd108-01_med.jpg (letöltve: 2014.09.06.)
- [7] http://yoshino-gypsum.com/en/kouhou/taika/img/taika03_cg01_01.gif (letöltve: 2014.09.06.)
- [8] http://img.archiexpo.com/images_ae/photo-g/fire-resistant-gypsum-plasterboard-69699-1729985.jpg (letöltve: 2012.09.03)
- [9] http://www.promat.hu/index.php?akt_menu=77 (letöltve: 2014.09.06.)
- [10] <http://www.rock-wool-insulation.com/sale-1524457-fireproof-rockwool-insulation-board-mineral-wool-insulation-board-ce-iso.html> (letöltve: 2014.09.06.)
- [11] Sulyok M. (2008): Tűzvédő szerkezetek anyagai, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 62. oldal
- [12] http://www.epitesimegoldasok.hu/index.php?id=20091021a_kozetgyapot_szerepe_a_tuzvedelemben (letöltve: 2014.10.12.)
- [13] <http://www.gipszkarton-ar.hu/tuzgatlo-gipszkarton-lap-125x1200x2000-mm> (letöltve: 2014.10.12.)
- [14] <http://www.farkasep.hu/index.php?inc=product&ref=135> (letöltve: 2014.10.12.)
- [15] <http://www.farkasep.hu/index.php?inc=product&ref=8> (letöltve: 2014.10.12.)
- [16] <http://www.gipszkarton-ar.hu/fireboard-tuzvedelmi-epitolemez-15x1250x2000-mm> (letöltve: 2014.10.12.)
- [17] <http://gipszkarton-shop.hu/gipszkarton/rigips-gipszkarton-lapok/rigidur-h-gipszrostlapok/rigidur-h-15-x1245x2750-mm-es-gipszrost-lapok/> (letöltve: 2014.10.12.)
- [18] <http://www.gipszkarton-ar.hu/vidiwall-gipszrost-epitolemez-15x1245x2500-mm> (letöltve: 2014.10.12.)
- [19] <http://www.pyrostop.hu/index.php?inc=product&ref=198> (ajánlat kérés alapján, 2014.10.12.)