

Borítólap módosítás

MISKOLCI EGYETEM

**Kerpely Antal Anyagtudományok és technológiák
Anyag-és Kohómérnöki Kar Doktori Iskola Tanácsa**

Ph.D. téziszfüzet

Hőkezelő harangkemencék falazatkorszerűsítése

Gárdus Zoltán

okl. automatizálási üzemmérnök, okl. kohómérnök

Anyagtudományok és technológiák tudományág

Programvezető: **Dr. Farkas Ottó** DSc, egyetemi tanár

Dr. Voith Márton DSc, egyetemi tanár

Dr. Károly Gyula DSc, egyetemi tanár

Tudományos vezető: **Dr. Farkas Ottóné** Ph.D., egyetemi docens

**Miskolc
2003. július**

HŐKEZELŐ HARANGKEMECÉK FALAZATKORSZERŰSÍTÉSE

témakörében készített kutatómunkám (Ph.D. értekezésem) tézisei (új tudományos eredményeim)

A kutatómunkám elvégzésével nyert új tudományos és műszakilag hasznosítható eredmények, tézisek összefoglalása

1. Szakaszos üzemmenetű harangkemence (ipari körülmények) és laborkemence egyrétegű szálkerámia falazatában kialakuló hőmérséklet/idő jelleggörbe, instacioner állapotban, hőkezelendő betéttel, az alábbiakban megadott exponenciális alakú egyenlettel modellezhető, kutatásom eredményeként:

$$T(t) = h(t) \Big|_{x_{be}(t) = 1(t)} = A_p \left[1 + \frac{\tau_1}{\tau_2 - \tau_1} e^{-[(t-\tau_h)/\tau_1]} + \frac{\tau_2}{\tau_1 - \tau_2} e^{-[(t-\tau_h)/\tau_2]} \right].$$

Az egyenletben alkalmazott jelölések:

$[A_p]$:a kemence arányos átviteli tényezője, °C/MJ, °C/GJ; $[\tau_h]$:a zárt rendszer holtideje, h; $[\tau_1]$:a szálkerámia falazat időállandója, h; $[\tau_2]$:a hőkezelendő betét időállandója, h.

Ipari körülmények között a méréseimet a „Hámor Rt.”-ben működő, 140 mm vastagságban felszórt szálkerámia alapanyagú, falazattal ellátott harangkemencére végeztem el. Végeredményként a következő adatokat kaptam:

- az átlagértékekkel számolva, a zárt rendszer holtideje $\tau_h \cong 2,5$ h;

- a kemence felfűtési sebessége ~ 200 °C/h-ra adódott.

Természetesen részletes méréseket, számításokat, vizsgálatokat végeztem laboratóriumi körülmények között is, 125 mm vastagságú, vákuumformázott kerámiaszál bélésű (RATH alapanyagú), villamos ellenállás-fűtésű, vákuum munkaterű, porcelán hőkezelő kemencén.

Számított, mért és ellenőrzött adatok:

- üzemi hőmérséklet $T_{üzemi} = 980\text{ °C}$;

- az átlagértékekkel számolva a zárt rendszer holtideje $\tau_h \cong 1\text{ min}$; a felfűtési sebesség $\sim 50\text{ °C/min}$; a lehűlési sebesség $\sim 60\text{ °C/min}$ (a kemence önmagára hagyva).

Az átviteli tényezők és az időállandók meghatározása (h: harang, l: laboratóriumi):

$$Q_{teljes} \cong 3,1\text{ GJ}, \Delta T = 851\text{ °C}, A_{ph} = \Delta T / Q_{teljes} = 851 / 3,1 = 274,5\text{ °C/GJ};$$

$$Q_{teljes} \cong 4,5\text{ MJ}, \Delta T = 960\text{ °C}, A_{pl} = \Delta T / Q_{teljes} = 960 / 4,5 = 212,5\text{ °C/MJ};$$

Az alábbiakban közölt időállandók, az egyrétegű szálkerámia alapanyagból készült kemencék köpenyszerkezeteinek, ill. a fűdészerkezetük, hőkezelési hőmérsékletéről - a számított külső köpenyhőmérsékletre, történő lehűlési idejük, számszerű adatait tartalmazzák, stacioner állapotra vonatkozó számításaim eredményeként.

$$\tau_{1h} = R \cdot C = Q_{fal}(\text{köpeny}) / \Phi_{fal}(\text{köpeny})_{ve} = 592,8 \cdot 584 \cdot 803 / 5881,8 \cong 13\text{ h};$$

$$\tau_{1h} = R \cdot C = Q_{fal}(\text{fűdém}) / \Phi_{fal}(\text{fűdém})_{ve} = 150,7 \cdot 584 \cdot 808 / 1939 \cong 10,2\text{ h};$$

$$\tau_{1l} = R \cdot C = Q_{fal}(\text{köpeny}) / \Phi_{fal}(\text{köpeny})_{ve} = 5,28 \cdot 584 \cdot 920 / 98 \cong 8,0\text{ h};$$

$$\tau_{1l} = R \cdot C = Q_{fal}(\text{fűdém}) / \Phi_{fal}(\text{fűdém})_{ve} = 2,4 \cdot 584 \cdot 896 / 61,4 \cong 5,7\text{ h}.$$

2. Síkfallal határolt kemencék optimális falvastagságának a meghatározására alkalmas eljárást dolgoztam ki, ami a $\tau_{fal} > t_{hőkezelés}$ reláció teljesülésekor, egyrétegű szálkerámia alapanyagból készült önhordó és egyben hőálló és hőszigetelő réteg alkalmazása esetében, szakaszos üzemmenetű kemencékre vonatkozik.

A T_b , T_k , $T_{köpeny}$, τ_{fal} , $w_{felfűtési}$, S , $t_{hőkezelés}$ kiinduló, illetve számított bemeneti adatok ismeretében, meghatároztam szakaszos üzemmenetű kemencékre vonatkozóan, az optimális falvastagságot az alábbiak szerint:

$$w_{köpeny\text{ melegedése}} = (T_{köpeny} - T_k) / \tau_{fal}, \text{ °C/h};$$

$$t_{hőkezelési\text{ hőmérséklet elérési idő}} = T_b / w_{felfűtési}, \text{ h};$$

$T_{\text{köpeny a } T_b \text{ elérésének időpillanatában}} = t_{\text{hőkezelési hőmérséklet elérési idő}} \cdot W_{\text{köpeny melegedése}}, ^\circ\text{C};$

$\text{tg } \alpha = [(T_b - T_{\text{köpeny}}) + T_{\text{köpeny a } T_b \text{ elérésének időpillanatában}}] / s, ^\circ\text{C/mm};$

$S_{\text{csökkenthető falvastagság}} = T_{\text{köpeny a } T_b \text{ elérésének időpillanatában}} / \text{tg } \alpha, \text{ mm};$

$S_{\text{optimális}} = S - S_{\text{csökkenthető falvastagság}}, \text{ mm}.$

Az értekezésem 4. és 5.4. fejezetében ismertetett kiinduló, illetve számított bemeneti adatok felhasználásával a fenti számítási algoritmussal, a harangkemence 140 mm vastagságú szórt szálkerámia alapanyagú födémfalazata ~ 3,1 mm-rel csökkenthető, tehát $S_{\text{optimális}} \sim 136,9 \text{ mm}$ -re adódik.

A fenti algoritmusra ***opt.exe*** névvel futtatható szoftvert készítettem ***Turbo Pascal 6.0*** nyelven.

3. Az általam kidolgozott matematikai algoritmusok és modellek működtetésére számítógépen futtatható programokat dolgoztam ki ***Turbo Pascal 6.0*** nyelven:

- a bélésanyag hővezetési tényezőjének nagypontosságú meghatározására: ***grafikon.exe***;
- a harangkemence falazatvastagságának és hőmérlegének számítására: ***sikfal.exe***;
- a falvastagság optimális meghatározásához: ***opt.exe***.

Miskolc, 2004. Június 23.

Gárdus Zoltán

I. Tudományos előzmények, célkitűzés

Célkitűzésem volt, a villamos ellenállás-fűtésű harangkemence hőárammérleg veszteségtételeinek csökkentése. Ez korszerű, energiatakarékos, kis tömegsűrűségű ($\sim 240 \text{ kg/m}^3$), kerámiaszál bázisú, felszört kivitelű, önálló és egyben önfordó köpeny és földémsfalazatként, mint komplett bélésrekonstrukcióval valósult meg.

Kiindulási alapként szolgált, a „Hámmor Rt.”-ben működő, hagyományos (samott-thermolit) falazatkonstrukcióval kialakított kerékabroncs hőkezelő harangkemence, valamint a hőárammérlegének számításával és méréssel is történő meghatározása. A berendezés függőleges irányban négy sorban elhelyezett, 6 mm átmérőjű KANTHAL A1-es ellenállás-huzallal fűthető, soronkénti teljesítményszabályozással. A hőkezelendő betét mennyisége 4500 kg/adag, hőkezelési ciklusonként. A hőkezelési hőmérséklet 850°C , a külső hőmérsékleti átlag a mérés idején (1990. 01. 10...12-ig) pedig, -1°C volt.

Ipari körülmények között a méréseimet, a „Hámmor Rt.”-ben lévő villamos ellenállás-fűtésű, szakaszos üzemmenetű, felszört és hagyományos falazattal ellátott harangkemencékre végeztem el. Vizsgálataimat természetesen kiterjesztettem a gáztüzelés esetére is, amit az értekezésem 3. fejezete tartalmaz.

Ezirányú ipari tapasztalataim ellenőrzése érdekében, laboratóriumi körülmények között szintén végeztem méréseket és számításokat, vákuumformázott falazatok, falazatidomok, hőárammérlegeinek, falazatveszteségeinek, az alkalmazott hőszigetelő anyagok T_a átlaghőmérsékleteken történő $\lambda_{\text{ismeretlen}}$ hővezetési tényezők meghatározásainak matematikai módszereivel és kérdéseivel. A matematikai módszerekkel kapott számítási eredményeket, minden esetben mérési adatokkal hasonlítottam össze.

A kísérleti, ill. a végleges megoldást ipari környezetben, az ún. felszórásos technológia jelentette. Az alkalmazott szórási vastagság 140 mm volt, amit meghatározott vékony rétegekben hordtunk fel. A kivitelezést a SZIKKTI dolgozói végezték, az egészségügyi és a biztonsági előírások szigorú betartásának folyamatos ellenőrzése mellett.

A korszerű szórt falazattal kialakított kemence külső köpenyhőmérséklete üzemközben 47 °C-ra adódott.

Ezzel szemben, a hagyományos béléssel ellátott harangkemence külső köpenyhőmérséklete üzemközben 120 °C volt, ami duplája a megengedett érintésvédelmi előírásban foglaltaknak.

A szórt falazattal ellátott harangkemence teljes villamos energiaigénye, 8 h-ás hőkezelési ciklusra vetítve:

$$P_{\text{vill (szórt)}} \cong 861 \text{ kWh.}$$

A hagyományos falazattal ellátott harangkemence teljes villamos energiaigénye, 12 h 55 perces hőkezelési ciklusra vetítve:

$$P_{\text{vill (hagyományos)}} \cong 2206 \text{ kWh.}$$

A két különböző bélés konstrukció közötti jelentős mértékű 4 h 55 perces időeltérést, a falazat felmelegítéséhez szükséges entalpiakülönbözet eredményezte.

Referenciaberendezésünk (szórt oldalfal, földém), igen figyelemreméltó ~ 60,7 % villamos energiabevitel-megtakarítást eredményezett.

A két konstrukció közötti hőkezelési időkülönbözet, ami 4 h 55 perc volt, hőkezelési ciklusokra vetítve ~ 61,3 % munka-időmegtakarítást eredményezett.

Levonható lényeges konklúzió az, hogy a korszerű és a hagyományos anyagok közötti entalpiabevitel-különbözet igen jelentős mértékű, ami természetesen nagyarányú energia-megtakarítással is jár.

A fenti számszerű adatok ismeretében, a „Hámor Rt.”-ben üzemelő harangkemencepark több kemencéjén is elvégeztük a bélésrekonstrukciót, ami mind számítási, mind pedig mérési oldalon, a referencia-berendezésünknek megfelelő hőtechnikai eredményt mutatott.

Levonható fontos tény az, hogy a komplett kemencefalazatok rekonstrukciójának ma járható útja a falazatok, falazatidomok, kialakításának és szigetelésének kivitelezését, kis tömegű és kis

fajlagos hőkapacitású kerámiaszál bázisú alapanyagok beépítésével kell megvalósítani.

Ezek az anyagok mechanikailag jóval sérülékenyebbek a hagyományos falazóanyagokkal szemben, de a korszerű vezérléstechnikai lehetőségek alkalmazása lehetővé teszi a betét pontos automatikus adagolását.

A kerámiaszál alapanyagok hőtűrőképessége, hőlökésállósága nagyságrendekkel nagyobb a hagyományos anyagokkal szemben, tehát sokkal alkalmasabbak a szakaszos üzemű kemencék béléseinek a kialakítására.

A korszerű anyagok beépítési költsége, az alkalmazott technológiáktól függetlenül is magasabb, a hagyományos anyagok kivitelezési áraival szemben.

A számításhoz szükséges programokat, *Turbo Pascal 6.0* nyelven készítettem el grafikus felület felhasználásával, a dokumentálás pedig a *Windows 98* alatt futó *Word 97* szövegszerkesztővel történt.

II. A vizsgálatok módszere, a kísérletek rövid leírása

Mérőműszerek:

- *a hőmérséklet érzékelése NiCr-Ni hőelemmel történt;*
- *GAMMA vonalíró, kétszíníró az alsó és a felső zónára;*
- *tapintó hőmérő (tip.: Technoterm 0453/912 digitális kijelzésű), a köpeny külső hőmérsékletének az ellenőrzésére.*

A mérés körülményeire és hitelességére vonatkozó legfontosabb megoldások ismertetése

Az üzemi méréseknél használt hőelemek száma és elhelyezése:

- *köpeny $3 \times 3 = 9$ db, egymástól 120° -ra elhelyezve, alul-középen-felül;*
 1. a kemence palást szórt külső falazatával színelve;
 2. a kemence palást szórt falazat vastagságának közepéig betolva;
 3. a kemence palást szórt belső (munkatér) felületével színelve;

- földém 3 db;

1. a kemence földém szórt külső falazatával színelve;
2. a kemence földém szórt falazat vastagságának közepéig betolva;
3. a kemence földém szórt belső (munkatér) felületével színelve.

Az oldalfalnál a hőelemeket sugárirányban, a földémen pedig tengelyirányban a mérések idején adta üzemi lehetőségek figyelembevételével építettük be. Természetesen pontosabb eredményt szolgáltatott volna, ha a paláston tengelyirányban, a földémen pedig sugárirányban kerültek volna elhelyezésre, de ez a beépítési lehetőség üzemi adottság volt.

A kivitelezés rövid leírása:

- a fémfelületek zsírtalanítása;***
- a felszórando felületek tüskézése hegesztéssel;***
- a kerámiaszál rétegekben történő felszórása;***
- a fűtőszáلتartó kerámia csövek felhelyezése, beragasztása;***
- a fűtőszálak felhelyezése;***
- a szórt falazat kiszárítása;***
- a szerves kötőanyag kiégetése;***
- felfűtés 900 °C-ra;***
- lehűtés önmagára hagyva;***
- beüzemelés, a tényleges üzemenet szerint.***

III. A kutatómunkám elvégzésével nyert új tudományos és műszakilag hasznosítható eredmények, tézisek összefoglalása

1. Kutatási tevékenységem eredményeként, villamos ellenállás-fűtésű és gáztüzelésű kemence-falazatok éves üzemköltségére vonatkozólag, 1 m² felületre vetítve, a következő empirikus egyenletet állítottam fel:

$$\text{Büm}k(v) = \text{Fal}v(g, v) + 0,05 \cdot \text{Tá}hv(g) + K_f \cdot \text{Kmb}k(g), \text{ Ft/m}^2\text{a}.$$

Az egyenlet a következő kiinduló paraméterek esetében alkalmazható:

- *maximális térhőmérséklet $T_{max} = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$;*
- *a munkabélés T4 minőségű samott, 1850 kg/m^3 , gáztüzelés esetén;*
- *a hőszigetelő réteg kerámiaszál paplan, 128 kg/m^3 tömegsűrűségű, gáztüzelésre vonatkoztatva;*
- *kerámiaszál bázisú, önálló, önhordó vákuumformázott falazatidom, 240 kg/m^3 tömegsűrűségű, villamos ellenállás-fűtésre vonatkoztatva;*
- *belső hőátadási tényező $\alpha_b = 40 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$;*
- *külső hőátadási tényező $\alpha_k = 10 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$;*
- *külső levegőhőmérséklet, ill. falhőmérséklet: $T_k = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{fal} = 61 \text{ }^\circ\text{C}$.*

Az empirikus egyenlet betűkombinációinak jelölése:

- [Büm $k(v)$]: a bélés éves üzemköltsége villamos fűtésre vetítve, $\text{Ft/m}^2\text{a}$;
 [Fal $v(g, v)$]: a falvesztesség fedezéséhez szükséges tüzelőanyag ill. villamos energia éves költsége, gáztüzelésre és villamos ellenállás-fűtésre vonatkoztatva, $\text{Ft/m}^2\text{a}$;
 [Tá $hv(g)$]: a tárolási hővesztesség fedezéséhez szükséges tüzelőanyag éves költsége gáztüzelésre vetítve, $\text{Ft/m}^2\text{a}$;
 [Kmb $k(g)$]: a kemencebélés éves költsége gáztüzelésre vetítve, $\text{Ft/m}^2\text{a}$;
 [K f]: költségfaktor = $\text{Kmb}k(v) / \text{Kmb}k(g)$.

2. Szakaszos üzemmenetű harangkemence (ipari körülmények) és laborkemence egyrétegű szálkerámia falazatában kialakuló hőmérséklet/idő jelleggörbe, instacioner állapotban, hőkezelendő betéttel, az alábbiakban megadott exponenciális alakú egyenlettel modellezhető, kutatásom eredményeként:

$$T(t) = h(t) \Big|_{x_{be}(t) = 1(t)} = A_p \left[1 + \frac{\tau_1}{\tau_2 - \tau_1} e^{-[(t-\tau_h)/\tau_1]} + \frac{\tau_2}{\tau_1 - \tau_2} e^{-[(t-\tau_h)/\tau_2]} \right].$$

Az egyenletben alkalmazott jelölések:

$[A_p]$: a kemence arányos átviteli tényezője, °C/MJ, °C/GJ; $[\tau_h]$: a zárt rendszer holtideje, h; $[\tau_1]$: a szálkerámia falazat időállandója, h; $[\tau_2]$: a hőkezelendő betét időállandója, h.

Ipari körülmények között a méréseimet a „Hámor Rt.”-ben működő, 140 mm vastagságban felszórt szálkerámia alapanyagú, falazattal ellátott harangkemencére végeztem el. Végeredményként a következő adatokat kaptam:

- az átlagértékekkel számolva, a zárt rendszer holtideje $\tau_h \cong 2,5$ h;

- a kemence felfűtési sebessége ~ 200 °C/h-ra adódott.

Természetesen részletes méréseket, számításokat, vizsgálatokat végeztem laboratóriumi körülmények között is, 125 mm vastagságú, vákuumformázott kerámiaszál bélésű (RATH alapanyagú), villamos ellenállás-fűtésű, vákuum munkaterű, porcelán hőkezelő kemencén.

Számított, mért és ellenőrzött adatok:

- üzemi hőmérséklet $T_{üzemi} = 980$ °C;

- az átlagértékekkel számolva a zárt rendszer holtideje $\tau_h \cong 1$ min; a felfűtési sebesség ~ 50 °C/min; a lehűlési sebesség ~ 60 °C/min (a kemence önmagára hagyva).

Az átviteli tényezők és az időállandók meghatározása (h: harang, l: laboratóriumi):

$$\begin{aligned} Q_{\text{teljes}} &\cong 3,1 \text{ GJ}, \Delta T = 851 \text{ °C}, A_{\text{ph}} = \Delta T / Q_{\text{teljes}} = 851 / 3,1 = 274,5 \text{ °C/GJ}; \\ Q_{\text{teljes}} &\cong 4,5 \text{ MJ}, \Delta T = 960 \text{ °C}, A_{\text{pl}} = \Delta T / Q_{\text{teljes}} = 960 / 4,5 = 212,5 \text{ °C/MJ}; \\ \tau_{1h} &= R \cdot C = Q_{\text{fal (köpeny)}} / \Phi_{\text{fal (köpeny) ve}} = 592,8 \cdot 584 \cdot 803 / 5881,8 \cong 13 \text{ h}; \\ \tau_{1h} &= R \cdot C = Q_{\text{fal (födém)}} / \Phi_{\text{fal (födém) ve}} = 150,7 \cdot 584 \cdot 808 / 1939 \cong 10,2 \text{ h}; \\ \tau_{1l} &= R \cdot C = Q_{\text{fal (köpeny)}} / \Phi_{\text{fal (köpeny) ve}} = 5,28 \cdot 584 \cdot 920 / 98 \cong 8,0 \text{ h}; \\ \tau_{1l} &= R \cdot C = Q_{\text{fal (födém)}} / \Phi_{\text{fal (födém) ve}} = 2,4 \cdot 584 \cdot 896 / 61,4 \cong 5,7 \text{ h}. \end{aligned}$$

3. A falazatveszteség többszöri iterációs számítási, nehézségi és pontossági meghatározási problémáinak a megoldása és meggyorsítása érdekében, kidolgoztam egy komplett hőtechnikai számítási módszert, stacioner esetre, síkmetszet, ill. síkfallal határolt kemencék esetére.

3/a. Az újszerű módszer lényege az, hogy adott kiindulási paraméterek pontos megadása után, meghatározza „n” rétegszámból álló falazatkonstrukció esetére stacioner állapotban, síkfallal határolt testekre alkalmazva, az alábbi kiszámítandó adatok:

- $[k]$: *hőátbocsátási tényező, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$;*

- $[\Phi_{fajl}]$: *hőáramsűrűség, W/m^2 ;*

- $[\Phi_{teljes}]$: *teljes hőáram, W ;*

- $[T_0 \dots T_{n+1}]$: *réteghőmérsékletek, $^\circ C$;*

- $[T_{a0} \dots T_{an}]$: *átlaghőmérsékletek, $^\circ C$;*

- $[\lambda_{a0} \dots \lambda_{an}]$: *hővezetési tényezők, $W/m^\circ C$*

számszerű értékeit.

3/b. A számítási módszerrel, meghatározhatók külön-külön az egyes rétegek $\lambda_{ismeretlen}$ hővezetési tényezői, számított T_a átlaghőmérsékleteken, a következő reláció teljesülése esetén: $T_{(i-1)} = < T_a < T_{(i)}$ az alábbi egyenlettel:

$$\lambda_{ismeretlen} = \lambda_{(i)} - \frac{(T_{(i)} - T_a) (\lambda_{(i)} - \lambda_{(i-1)})}{(T_{(i)} - T_{(i-1)})}, W/m^\circ C.$$

Laboratóriumi és ipari méréseket, vizsgálatokat végeztem RATH KV-12, valamint SIBRAL ömlesztett konzisztenciájú, kerámiaszál alapanyagokból készített vákuumformázott, ill. felszórt, $\sim 240 \text{ kg/m}^3$ látszólagos tömegsűrűséggel kivitelezett kemencefalazatok esetében, a fent ismertetett egyenlet alkalmazhatóságára.

Példaként egy RATH KV-12 alapanyagból készített vákuumformázott idom esetében, számított $T_a = 631\text{ °C}$ átlaghőmérsékleten, a fenti képlet alkalmazásával, a $\lambda_{\text{ismeretlen}} = 0,0962\text{ W/m}^\circ\text{C}$ értékűre adódott, a megfelelő bemeneti adatok ismeretében.

A módszer helyességét úgy vizsgáltam, hogy a hőmérsékletet 50 °C -os lépcsőkben növeltem, mértem a kemence belső térhőmérsékletét és a köpenyhőmérsékletet NiCr-Ni hőelemmel, az ellenőrzésre analóg mutatós, ill. a köpenyhőmérséklet mérésére, digitális kijelzésű $^\circ\text{C}$ mérő műszerek szolgálták. A mért adatokból 1 m^2 felületre és adott $s = 0,125\text{ m}$, ill. $s = 0,14\text{ m}$ falvastagság esetében meghatároztam a hőáramokat, majd ezt követően kiszámítottam a hővezetési tényező értékeit. Lényeges eltérést a számított és a mért adatok között nem találtam, ami a felállított modellem helyességét támasztotta alá.

3/c. A **3/a.** és a **3/b.** tézispontok számítási gyorsaságainak megkönnyítése érdekében, ***Turbo Pascal 6.0 programnyelven, grafikus felület felhasználásával, elkészítettem a sikfal.exe és a grafikon.exe szoftvereket.*** A szoftverek végeredményeit az 1. a)., b). és a 2. a)., b)., c). ábrák tartalmazzák.

4. Síkfallal határolt kemencék optimális falvastagságának a meghatározására alkalmas eljárást dolgoztam ki, ami a $\tau_{\text{fal}} > t_{\text{hőkezelés}}$ reláció teljesülésekor, egyrétegű szálkerámia alapanyagból készült önhordó és egyben hőálló és hőszigetelő réteg alkalmazása esetében, szakaszos üzemmenetű kemencékre vonatkozik.

A T_b , T_k , $T_{\text{köpeny}}$, τ_{fal} , $W_{\text{felfűtési}}$, S , $t_{\text{hőkezelés}}$ kiinduló, illetve számított bemeneti adatok ismeretében, meghatároztam szakaszos üzemmenetű kemencékre vonatkozóan, az optimális falvastagságot az alábbiak szerint:

$$W_{\text{köpeny melegedése}} = (T_{\text{köpeny}} - T_k) / \tau_{\text{fal}}, \text{ } ^\circ\text{C/h};$$

$$t_{\text{hőkezelési hőmérséklet elérési idő}} = T_b / W_{\text{felfűtési}}, \text{ h};$$

$$T_{\text{köpeny a } T_b \text{ elérésének időpillanatában}} = t_{\text{hőkezelési hőmérséklet elérési idő}} \cdot W_{\text{köpeny melegedése}}, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{tg } \alpha = [(T_b - T_{\text{köpeny}}) + T_{\text{köpeny a } T_b \text{ elérésének időpillanatában}}] / s, \text{ } ^\circ\text{C/mm};$$

$$S_{\text{csökkenthető falvastagság}} = T_{\text{köpeny a } T_b \text{ elérésének időpillanatában}} / \text{tg } \alpha, \text{ mm};$$

$$S_{\text{optimális}} = S - S_{\text{csökkenthető falvastagság}}, \text{ mm.}$$

Az értekezésem 4. és 5.4. fejezetében ismertetett kiinduló, illetve számított bemeneti adatok felhasználásával a fenti számítási algoritmussal, a harangkemence 140 mm vastagságú szórt szálkerámia alapanyagú földémfalazata ~ 3,1 mm-rel csökkenthető, tehát $S_{\text{optimális}} \sim 136,9$ mm-re adódik. A modellezést a 3. ábra tartalmazza.

A fenti algoritmusra *opt.exe* névvel futtatható szoftvert készítettem *Turbo Pascal 6.0* nyelven.

IV. A tudományos eredmények hasznosításának lehetőségei

A munkám első szakaszát, már 1987-ben a tudományos igényű számítási módszerek és ezek gyakorlati alkalmazásainak együttes igénye indukálta. A kombinált energiagazdálkodás helyzete, a rohamosan növekvő energiahordozók árának együttes kölcsönhatása követelte meg, hogy a Magyarországon lévő kemencepark, ezen belül a harangkemencék falazatkorszerűsítési alternatíváit fontolóra vegyem. Ma lehetséges járható út a falazatok rekonstrukcióiban, a kis tömegsűrűségű ($120...240 \text{ kg/m}^3$), kerámiaszál alapanyagú szigetelőpaplanok, vákuumformázott falazatidomok, valamint a felszórásos technológia alkalmazása.

A **III. 1.** tézis hasznos információt nyújt, a kemencebélés üzemköltségének a meghatározásáról éves szintre vetítve, empirikus formában, a gáztüzelés és a villamos ellenállás-fűtés alternatíváit szemelőtt tartva.

A **III. 2.** tézisben identifikált exponenciális egyenlet, a kiindulási feltételeket ismerve, matematikai úton, a felfűtési szakaszra jellemző instacioner kemence modelljét állítja fel, a hőkezelendő betétrel együtt vizsgálva a zárt rendszert. Jelentősége abban rejlik, hogy bonyolult és drága rendszerkonstrukciók modellezhetők, passzív áramköri elemekből (ellenállás, kondenzátor, induktivitás, termisztor) felépített áramkörökkel, ill. példaként említve olyan szoftverek alkalmazását, mint a **MATLAB**, amely rendelkezik konkrét átviteli tagokkal, melyek megfelelő összekapcsolásával és kombinálásával, komplett rendszerek vizsgálhatók.

A **III. 3.** tézis a hőtechnikai méretezés, tervezés, ellenőrzés fázisaira a legalkalmasabb, síkfalakkal határolt berendezések esetében, stacioner

állapotra vonatkozólag. A számítások végeredménye grafikus úton is megjeleníthető, ami szimulációs úton információt szolgáltat a tényleges kialakításról.

A **III. 4. tézis** a kivitelezési költséget csökkenti, valamint adott feladatra szakaszos kemenceüzemeltetés esetében, optimalizálja a falazat vastagságát.

Az új tudományos eredményeim együttes felhasználása, alkalmazása, elősegíti összességében a kemencepark, ezen belül a harangkemencék felújításának és korszerűsítésének alternatíváit, a tervezés, a kivitelezés és a beüzemelés fázisaiban. A nyert eredmények hasznosíthatók a Miskolci Egyetemen folyó graduális és post graduális oktatásban is, a kemencék és az energiagazdálkodás témájú tantárgyakban.

A számítógéppel történt mérés, adatgyűjtés és szabályozás megvalósítására vonatkozó legfontosabb információk laboratóriumi körülményekre

A NiCr-Ni hőelem analóg jelét, a mérőerősítőn keresztül fogadó analóg/digitális átalakító, az ANALOG DEVICES gyártmányú, ADC 1100-as típusú, 11 bites A/D konvertere volt. Az A/D konverter digitalizált jelét, a PC-be helyezett I/O kártya fogadta. A mintavételezési idő 1 s volt, mivel a hőmérséklet változásaiból következően nincs szükség rövidebb időintervallumokra. Az alábbiakban a **beo** nevezetű függvényeljárás assembler rutinját mutatom be, ami az A/D konverter szoftverműködtetéséhez szükséges.

```
function beo:integer;assembler;
```

```
label cim1,cim2,cim3,cim4;
```

```
asm
```

```
    MOV DX,0303h
```

```
    MOV AL,09h
```

```
    OUT DX,AL
```

```
    MOV AL,08h
```

```
    OUT DX,AL
```

```
    MOV BL,$FF
```

```
cim1: DEC BL
```

```
    JNZ cim1
```

```
    MOV AL,09h
```

```

        OUT DX,AL
        MOV DX,0302h
cim2: IN AL,DX
        AND AL,01h
        JZ cim3
        JMP cim2
cim3: IN AL,DX
        AND AL,01h
        JZ cim4
        JMP cim3
cim4: MOV DX,0301h
        IN AL,DX
        AND AL,07h
        MOV AH,AL
        MOV DX,0300h
        IN AL,DX
end;
```

A fentiekben bemutatott **beo** nevű függvényeljárást, a főprogramban hívjuk meg másodpercenként, a mintavételezési időnek megfelelően. A működtető szoftver **real-time** módon dolgozza fel az adatokat. A digitalizált jel átkonvertálása hőmérsékleti értékke, a következő aránypárral történik:

$$(\text{beo} / 2047) \cdot 1300 = T, \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Példaként, ha a beo = 945, akkor T = 600,14 °C-ra adódik.

Az A/D konverter illesztése, a PC-be helyezett I/O kártyához

A NiCr-Ni hőelemet, kompenzációs vezeték alkalmazásával a mérőerősítőn és a kiegyenlítő áramkörön keresztül kötöttem az A/D konverter analóg inputjához. A konverter outputját a PC-be helyezett I/O kártya megfelelő

bemeneti portjaira csatlakoztattam. A biztonságos stabilizált, megfelelően szűrt és védelemmel ellátott tápfeszültséget, egy külön PC tápegység szolgáltatja. Az A/D konverter digitális outputját, az I/O kártyán elhelyezett 1 db INTEL gyártmányú 8255 un. PIO áramkör fogadta, amely 3 db egyenként 8 bites portján keresztül, egyidejűleg 24 egymástól független I/O vonalat tud kezelni. Az I/O kártya 2 x 31 pontos I/O csatlakozóba

helyezendő, ami a PC alaplaján található. A külső csatlakozást egy 50 pólusú CANNON-G típusú csatlakozó biztosította, egy 50 eres szalagkábelén keresztül. A periféria IC három üzemmódja közül én a MODE 0-ást választottam, mivel ez alapvető INPUT/OUTPUT-ot jelent.

Az INTEL 8255 PIO címei:

- *parancsregiszter, 0303h;*
- *A port, 300h;*
- *B port 301h;*
- *C port, 302h.*

Az INTEL 8255 PIO programozása:

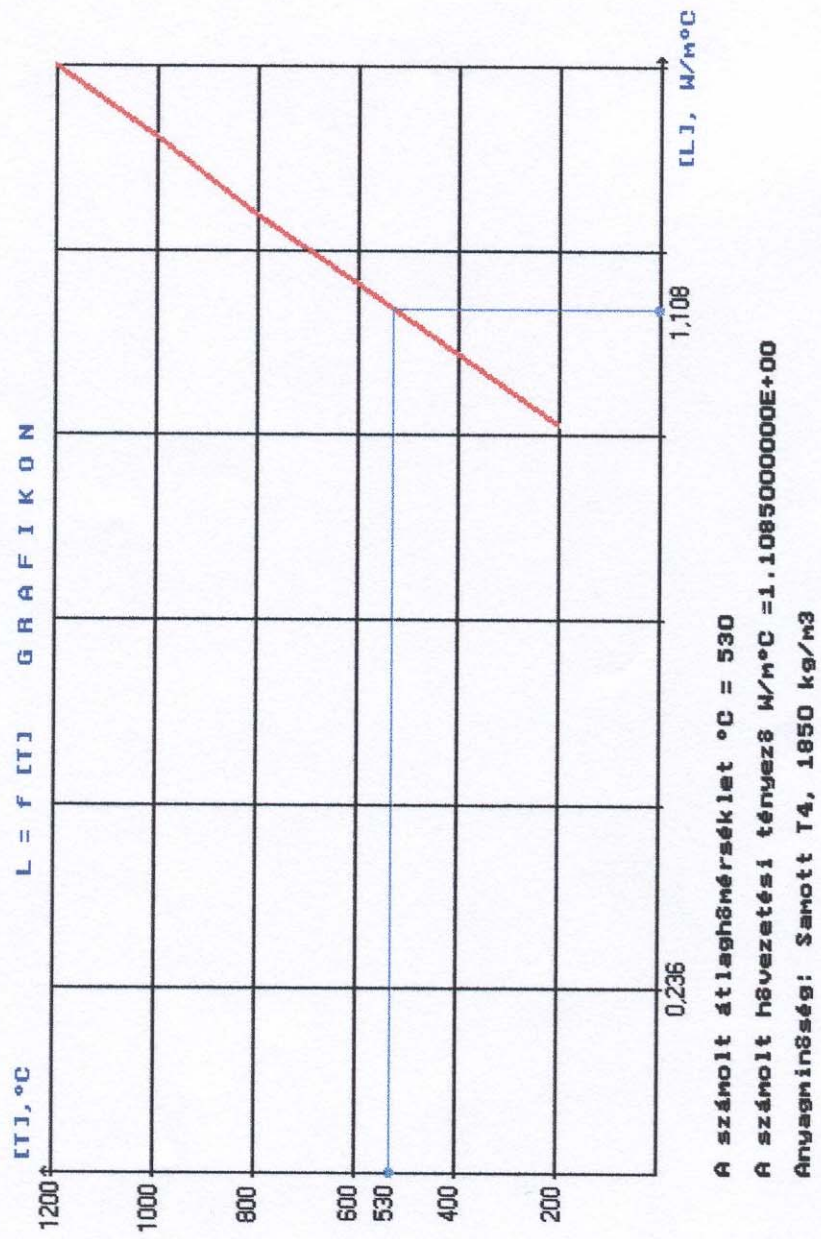
	A	C _f		B	C _a		
vezérlőbyte:	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁ D ₀
	1	0	0	0	1	0	0 1 = 89h
					O	I	O I

I jelentése input (1), O jelentése output (0).

A programozásból adódik, hogy az A, B portok output-ként, a C port pedig input-ként szerepel.

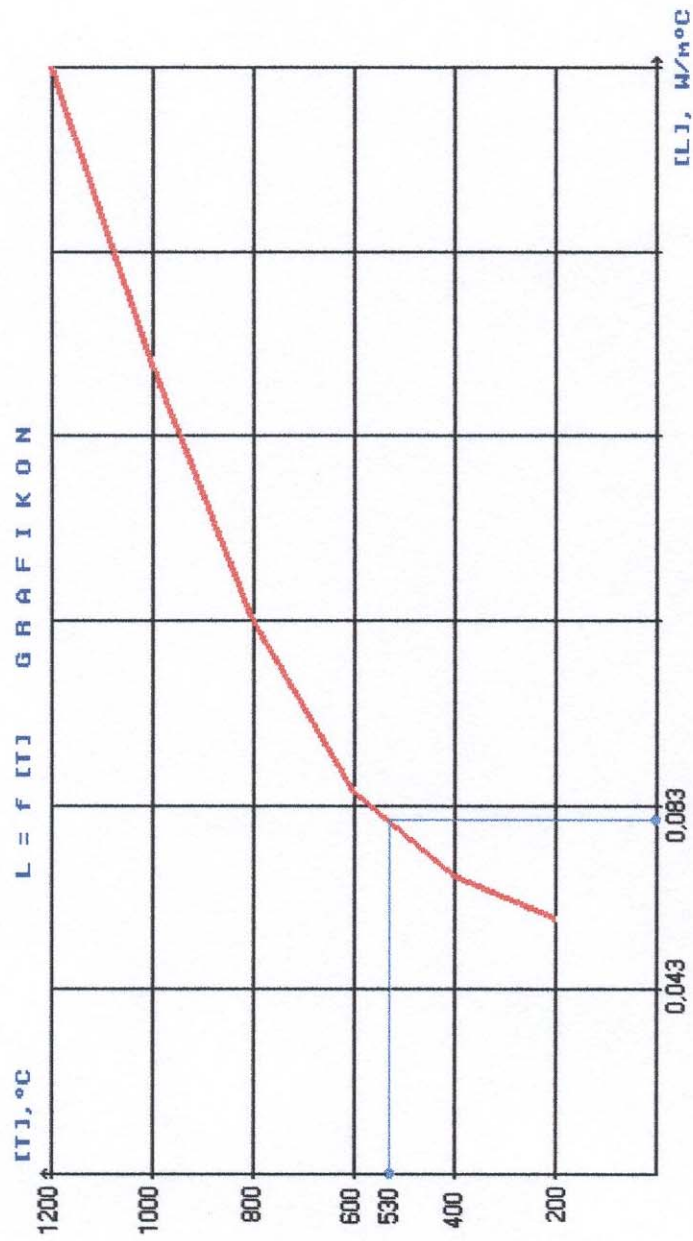
Az INTEL 8255 PIO MODE 0-ás üzemmód beállításának assembler rutinja az alábbi:

```
MOV DX,0303h
MOV AL,89h
OUT DX,AL.
```

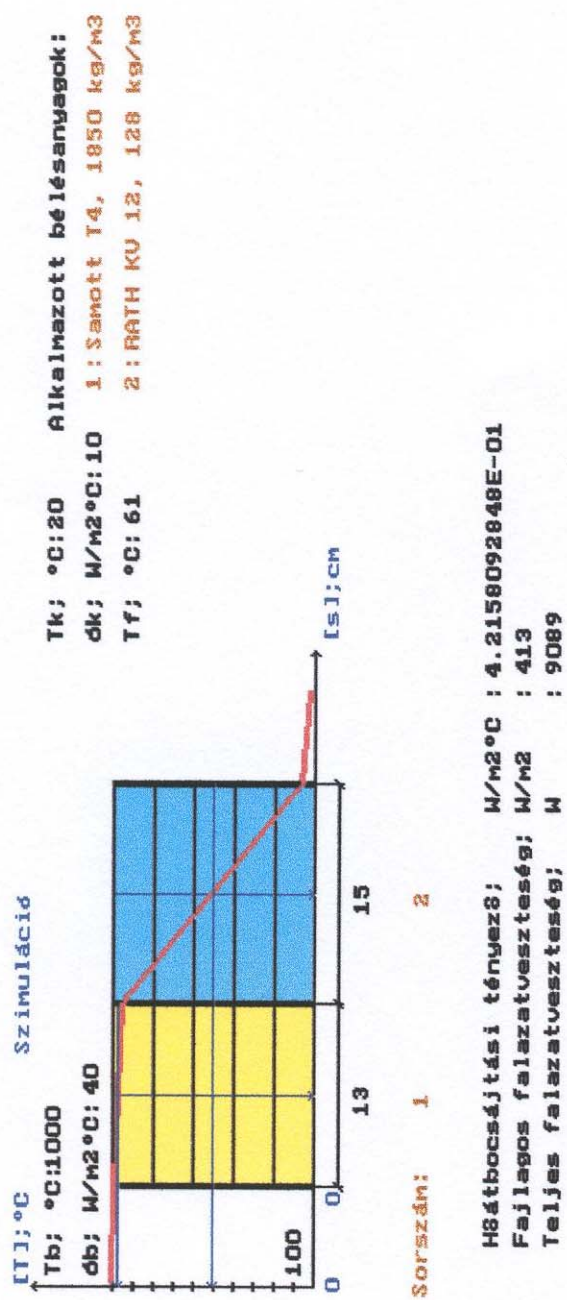
1. a). ábra A számított T_a átlaghőmérsékleten, $\lambda_{\text{ismeretlen}}$ meghatározása

16 a).



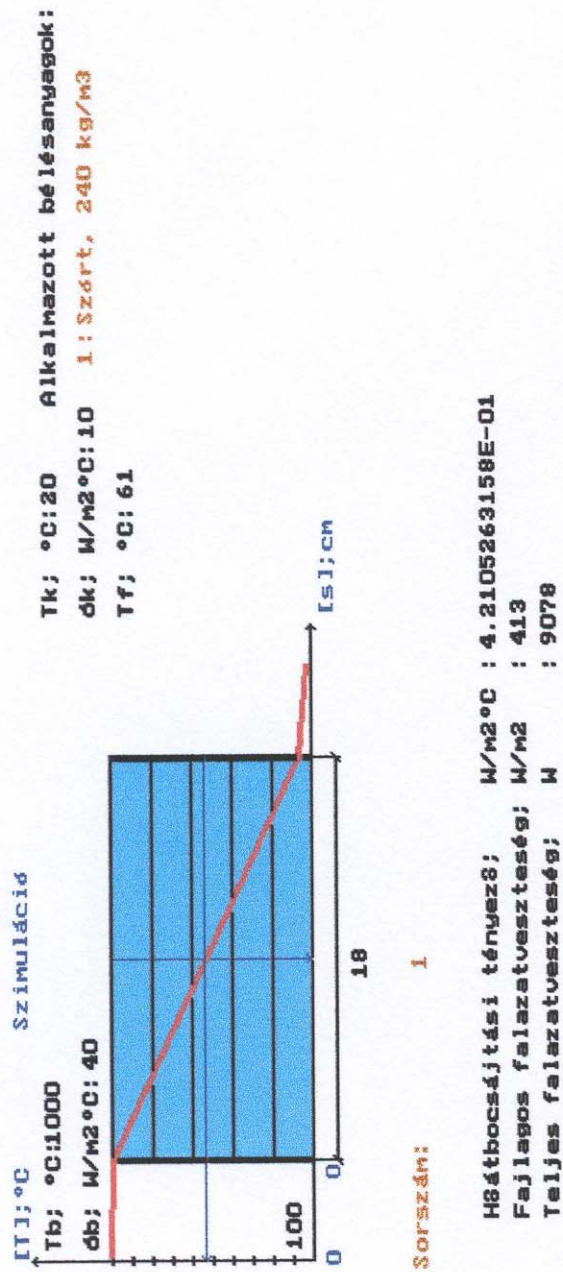
A számolt átlaghőmérséklet $^{\circ}\text{C} = 530$
A számolt hővezetési tényező $\text{W/m}^{\circ}\text{C} = 8.300000000000\text{E}-02$
Anyagminőség: RATH KU 12, 240 kg/m³

1. b). ábra A számított T_a átlaghőmérsékleten, $\lambda_{\text{ismeretlen}}$ meghatározása



Stationer állapot, többretegű síkfal réteghőmérsékleteinek szimulációja

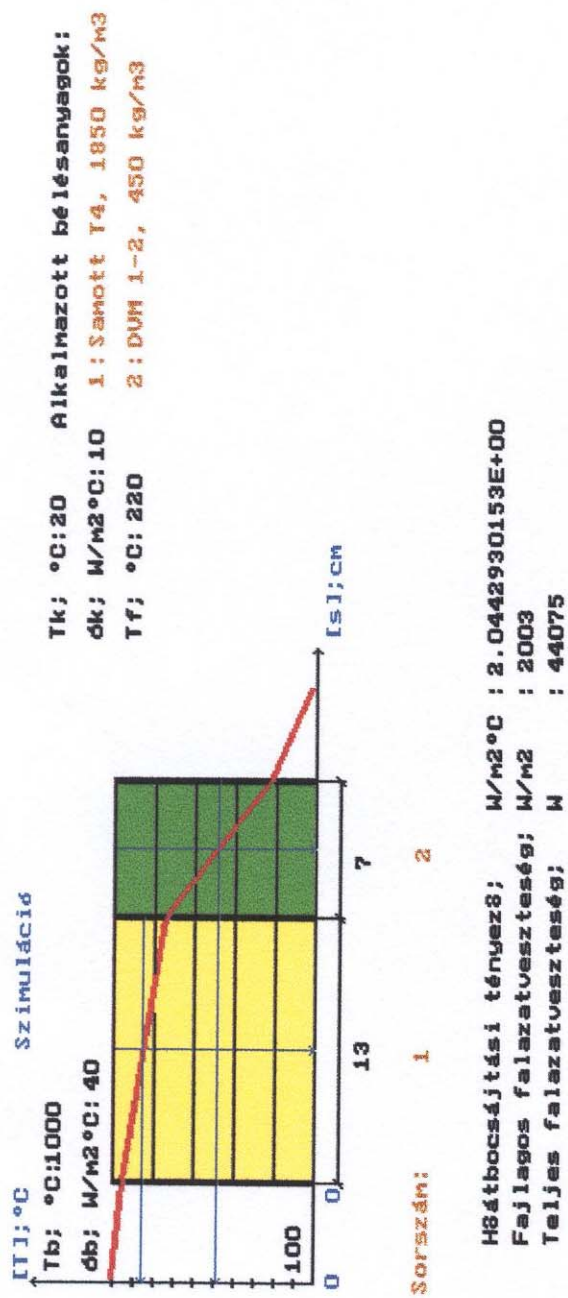
2. a). ábra Számítógépes szimuláció, falazatveszteség és réteghőmérsékletek meghatározására



17 a).

2. b). ábra Számítógépes szimuláció, falazatveszteség és réteghőmérsékletek meghatározására

Stacioner állapot, többretegű síkfal réteghőmérsékleteinek szimulációját



Stacioner állapot, több rétegű síkfal réteghőmérsékletének szimulációját

17 b).

2. c). ábra Számítógépes szimuláció, falazatveszteség és réteghőmérsékletek meghatározására

V. A témakörben megjelentetett publikációim

Nyomtatott formában megjelent publikációim:

1. Dr. Ajtonyi István - Gárdus Zoltán: A XILINX gate-array eszközrendszer alkalmazása a vezérléstechnika tárgy oktatásában
microCAD - SYSTEM '92
Nemzetközi Számítástechnikai Találkozó
Miskolc, 1992. 02. 25-29.
p. 295-307.
2. Dr. Farkas Ottóné - Gárdus Zoltán: Hőmegtakarítási, valamint kemence vezérlési és szabályozási eredményeink, egyedi tervezésű, elektromos ellenállás-fűtésű, laboratóriumi, vákuum munkaterű hőkezelő kemencéknél
Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület Miskolci Szervezete
TÜKI Tüzeléstechnikai Kutató és Fejlesztő Rt.
Tüzeléstechnika 95
XXXI. Ipari Szeminárium
Miskolc, 1995. 07.
p. 83-93.
3. Gárdus Zoltán: Finomkerámiai vákuum hőkezelő kemence tervezése
Záródolgozat
Miskolci Egyetem, 1996.
p. 38
4. Gárdus Zoltán: Ismeretlen hővezetési tényező meghatározásának számítógépes algoritmizálása, T_a számított átlaghőmérsékleteken
BKL, Kohászat 6-7. szám (összevont), 2000.
p. 256-259.
5. Gárdus Zoltán: Különböző falazatkonstrukciójú kemencebélésszerkezetek számítógépes szimulációja
Tüzeléstechnika 2000.
XXXVI. Ipari Szeminárium
Miskolc, 2000. 09.
p. 129-137.

6. Gárdus Zoltán: A hőkezelés gazdasági vonzata
The Economic Implications of Heat Treatment
A Miskolci Egyetem Közleményei
Anyag-és Kohómérnöki Tudományok
II. sorozat 28. kötet
Miskolci Egyetemi Kiadó
Miskolc, 2000.
p. 109-121.

7. Gárdus Zoltán - Dr. Farkas Ottóné: Szakaszos üzemű hőkezelő kemencék hőtechnikai modellezése
BKL, Kohászat 3. szám, 2001.
p. 73-77.

8. Zoltán Gárdus: Wall-modeling of intermittent-running furnaces
3rd INTERNATIONAL CONFERENCE OF PHD STUDENTS
University of Miskolc, Hungary
13-19 August 2001
ENGINEERING SCIENCES
Volume I.
Printed at the University of Miskolc
ME. Tu. 640/2001.
ISBN 963 661 480 6
ISBN 963 661 482 2
p. 115-123.

9. Gárdus Zoltán - Dr. Farkas Ottóné: Magyar - angol szószedet
Tüzeléstan - automatika tárgyköréből, szakaszos üzemű, hőkezelő
harangkemencék témakörből
Miskolci Egyetem
Anyag-és Kohómérnöki Kar
Tüzeléstani Tanszék
2001 kézirat, Tü 2001/1010390 - M.E.
p. 13

Nemzetközi Informatikai Találkozón bemutatott szoftverrendszerem:

1. Gárdus Zoltán: Automatikus adagolású fogtechnikai laborkemence grafikus megjelenítésű vezérlő és szabályozó szoftverrendszer
microCAD - SYSTEM '93
Nemzetközi Informatikai Találkozó
Az ipari információs rendszerek kategóriájában II. helyezés
Kiállítás a Miskolci Egyetem Aulájában
Miskolci Egyetem XL. Évfolyam 13. Szám, 1993. 03. 10.

Szakmai konferenciákon megtartott előadásaim:

1. Dr. Ajtonyi István - Gárdus Zoltán: A XILINX gate-array eszközrendszer alkalmazása a vezérléstechnika tárggy oktatásában
microCAD - SYSTEM '92
Nemzetközi Számítástechnikai Találkozó
Miskolci Egyetem, Miskolc, 1992. 02. 25-29.
2. Dr. Farkas Ottóné - Gárdus Zoltán: Hőmegtakarítási, valamint kemence vezérlési és szabályozási eredményeink, egyedi tervezésű, elektromos ellenállás-fűtésű, laboratóriumi, vákuum munkaterű hőkezelő kemencéknél
Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület Miskolci Szervezete
TÜKI Tüzeléstechnikai Kutató és Fejlesztő Rt.
Tüzeléstechnika 95
XXXI. Ipari Szeminárium
Tudomány és Technika Háza, Miskolc, 1995. 07. 05-06.
3. Gárdus Zoltán: Különböző falazatkonstrukciójú kemencebélésszerkezetek számítógépes szimulációja
Tüzeléstechnika 2000
XXXVI. Ipari Szeminárium
Tudomány és Technika Háza, Miskolc, 2000. 09. 20-21.

4. Gárdus Zoltán - Dr. Farkas Ottóné: Szakaszos üzemű hőkezelő kemencék tűzálló falazatainak kialakítása számítógépes szimuláció segítségével

A MISKOLCI EGYETEM

Anyag-és Kohómérnöki Karának Tudományos Ülésszaka

MAB Székház, Miskolc, 2001. 09. 11-12.

Összefoglaló

Felsőfokú tanulmányaim első lépéseként, 1987-ben automatizálási üzemmérnöki oklevelet szereztem Kazincbarcikán, mérés és automatizálási szakon, a Nehézipari Műszaki Egyetem Vegyipari Automatizálási Karán. Oklevelem megszerzése után, tervezői, kutatói, beüzemelői tevékenységeket folytattam az Energiagazdálkodási Intézet Ipari Technológiai Szakosztályában. Az eltöltött közel nyolc év alatt, legnagyobb részben ipari és laboratóriumi izzító és hőkezelő kemencék tervezésével, beüzemelésével, falazatkonstrukcióinak kialakításával, valamint automatizálásuk megoldási alternatíváival foglalkoztam. Kutatási tevékenységet végeztem, különböző falazatkonstrukciók, ezen belül főleg a szálkerámiák alkalmazási lehetőségeinek a kidolgozására, valamint a többszörös iterációs számítási módszerekre számítógépes szoftvereket dolgoztam ki. Részletesen foglalkoztam a falazatok különböző rétegeiben, a hővezetési tényezők átlaghőmérsékleteken történő meghatározásainak hőtani, matematikai problémáival, linearizálási lehetőségeivel, valamint számítógépes algoritmizálásával, programozásával és a falazatveszteség meghatározásának kérdéseivel.

Tevékenységem ilyen irányú folytatásaként, a **Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet**-tel (SZIKKTI) közös szerződés keretén belül, kifejlesztettük a kerámiaszál bázisú tűzálló és hőszigetelő anyagok felszórásának a technológiáját, ahol szervesen részt vettem a számítógéppel modellezett számítási módszerek kidolgozásában, valamint a szórófej gépészeti kiviteli konstrukciós terveinek elkészítésében és a berendezés beüzemelésében, majd az adatok dokumentálásában.

Több referencia berendezést készítettünk, ahol a felszórt kerámiaszál, megfelelő rögzítés alkalmazásával, önálló, önhordó falazatként és födémként szolgál, a „Hámor Rt.”-ben működő kerékabroncs hőkezelő harangkemencék falazataként, kizárólag villamos ellenállásfűtés esetére.

A felszórásos kivitel és a hagyományos (samott-thermolit) falazatok adatainak összehasonlító eredményei, 40...60 %-os energia-megtakarítást eredményeztek, az új és a korszerű technológia javára.

1991-től a Miskolci Egyetem jelenlegi Automatizálási Tanszékén dolgozom tanszéki mérnökként, majd önképzésem és kutatási területem

folytatásaként, 1996-ban alakítástechnológiai szakon, kohómérnöki oklevelet szereztem.

Közben 1993-ban a microCAD-SYSTEM Nemzetközi Számítástechnikai Találkozón, az „Információs rendszerek” kategóriájában II. helyezést értem el, **„Automatikus adagolású fogtechnikai laborkemence grafikus megjelenítésű vezérlő és szabályozó szoftverrendszer”**-ével.

Munkámat ilyen aspektusból folytatva, társszerzőként szerepelek a TŰZELÉSTECHNIKA „95” XXXI. Ipari Szemináriumának kiadványában, **„Hőmegtakarítási, valamint kemence vezérlési és szabályozási eredményeink, egyedi tervezésű, elektromos ellenállás-fűtésű, laboratóriumi vákuum munkaterű hőkezelő kemencéknél”** témakörben.

Ezt követően folyamatosan tudományos igénnyel publikálok. Előadást tartottam a TŰZELÉSTECHNIKA 2000 XXXVI. Ipari Szemináriumán **„Különböző falazatkonstrukciójú kemencebélésszerkezetek számítógépes szimulációja”** címmel. Aktívan vettem részt, a Miskolci Egyetemen 2001. 08. 13-19-e között megrendezett 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE OF Ph.D. STUDENTS **„WALL-MODELING OF INTERMITTENT-RUNNING FURNACES”** angol nyelvű előadásom kapcsán. Társszerzős előadást tartottam a Miskolci Egyetem Anyag-és Kohómérnöki Karának Tudományos Ülésszakán Miskolcon, amit a MAB Székházban 2001. 09. 11-12-e között rendeztek meg **„Szakaszos üzemű hőkezelő kemencék tűzálló falazatainak kialakítása számítógépes szimuláció segítségével”** témában.

Munkám ilyen irányú tovább folytatására az inspirált, hogy az energiahordozók árának az utóbbi 20-25 évben tapasztalt nagyarányú növekedését, korszerű, energiatakarékos anyagokból készülő bélés és szigetelőanyagok alkalmazásával lehessen mérsékelni, a bevitt energiamennyiség csökkentése alapján.

1998. nyarán felvételt nyertem, egyéni felkészítésű doktorandus hallgatóként, a **Műszaki Tudományág Metallurgia c. doktori program, Anyagtechnológiákbeli energiafelhasználás alprogramára.**

Kötelező vizsgáim letétele után, az abszolutórium megszerzésének a birtokában, 1999. júliusában **„summa cum laude”** minősítéssel három tantárgyból, doktori szigorlatot teljesítettem.

Ezt követően az Anyag-és Kohómérnöki Kar Tüzeléstani Tanszékén, **„Hőkezelő harangkemencék falazatkorszerűsítése”** témakörben dolgozom a Ph.D. fokozat megszerzése céljából. 2000. októberében dolgozatom munkahelyi vitáján, munkásságomat elismeréssel fogadták a jelenlévő szakemberek.

Disszertációm és célkitűzéseim végeredményeként, meg kellett határoznom a legkisebb hőveszteséggel járó falazatszerkezetet, annak hőtechnikai, fizikai, mechanikai és anyagtechnológiai tulajdonságait. Vizsgálataimat kiterjesztettem a gáztüzelés és a villamos ellenállásfűtés dilemmájának az esetére is.

Végeredményként tézisek születtek, egyenletek és számítógépes grafikus szimulációs szoftverek formájában.

Mindezek és az üzemi tapasztalatok birtokában, konkrét fejlesztési javaslatokat tettem energiatakarékos, hőkezelő harangkemencék esetére is.

Az új tudományos eredményeim felhasználhatók, a hőkezelő kemencék tervezésében, építésben, a tüzelésben, az energiagazdálkodás, valamint a számítógépes modellezés témakörű tantárgyak oktatásában is, a graduális és a post graduális képzésben.

2001. 09. 13-án a Miskolci Egyetem Idegennyelvi Oktatási Központjában, angol nyelvből a Ph.D. fokozathoz szükséges szakmai nyelvvizsgát tettem.

The theses (my new scientific achievements) of my research work (Ph.D. dissertation) prepared in the subject matter of

MODERNIZATION OF THE WALLING OF BELL-TYPE HEAT-TREATMENT FURNACES

**This is a summary of my scientific and technically utilizable results
and theses obtained by the performance of my research work.**

1. As a result of my research work, the time-temperature characteristics developing in a one-layer, strand-ceramic walling of a bell-type heat-treatment furnace being in a non-stationary state and with a batch to be tempered can be simulated by the exponential equation given below:

$$T(t) = h(t) \Big|_{x_{be}(t) = 1(t)} = A_p \left[1 + \frac{\tau_1}{\tau_2 - \tau_1} e^{-[(t-\tau_h)/\tau_1]} + \frac{\tau_2}{\tau_1 - \tau_2} e^{-[(t-\tau_h)/\tau_2]} \right].$$

Symbols used in the equation:

[A_p]: the proportional transfer coefficient of the furnace, °C/MJ, °C/GJ;
[τ_h]: the dead time of the closed system, h; [τ_1]: the time constant of the walling made of strand-ceramic, h; [τ_2]: the time constant of the batch to be tempered h.

I have performed my measurements under industrial conditions for the bell-type furnace with a walling having a 140 mm thick gunite strand-ceramic raw material, operated in the „Hámor Plc”. As the final result I obtained following figures:

***- calculating with the average value, the dead time
of the closed system is $\tau_h \cong 2,5$ h;***

- the heating-up rate of the furnace was ~ 200 °C/h.

Naturally, I have performed thorough measurements, calculations and examinations under laboratory circumstances, too, using a porcelain heat-treatment furnace with a strand-ceramic, vacuum formed lining (the raw

material of which was RATH) of a thickness of 125 mm having an electric-resistance heating and a vacuum working space.

The calculated, measured and checked figures were following:

- **Operating temperature $T_{operating} = 980\text{ }^{\circ}\text{C}$;**
- **Calculating with the average value, the closed system's dead time was $\tau_h \cong 1\text{ min}$; the heating-up rate was $\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C/min}$; the cooling rate was $\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ (leaving the furnace to cool down by itself)**

Determination of the transfer coefficients and time constants (h: bell, l: laboratory):

$$Q_{teljes} \cong 3,1\text{ GJ}, \Delta T = 851\text{ }^{\circ}\text{C}, A_{ph} = \Delta T / Q_{teljes} = 851 / 3,1 = 274,5\text{ }^{\circ}\text{C/GJ};$$

$$Q_{teljes} \cong 4,5\text{ MJ}, \Delta T = 960\text{ }^{\circ}\text{C}, A_{pl} = \Delta T / Q_{teljes} = 960 / 4,5 = 212,5\text{ }^{\circ}\text{C/MJ};$$

The time constants communicated below contain the *figures concerning the time, which was elapsed from the heat-treatment temperature of the jacket-constructions and that one of the floor structure, respectively, to cooling of the calculated external jacket temperature of the furnaces made of one-layer strand-ceramic raw material, as a result of my calculations relating to the stationer state.*

$$\tau_{1h} = R \cdot C = Q_{fal}(\text{köpeny}) / \Phi_{fal}(\text{köpeny})_{ve} = 592,8 \cdot 584 \cdot 803 / 5881,8 \cong 13\text{ h};$$

$$\tau_{1h} = R \cdot C = Q_{fal}(\text{födém}) / \Phi_{fal}(\text{födém})_{ve} = 150,7 \cdot 584 \cdot 808 / 1939 \cong 10,2\text{ h};$$

$$\tau_{1l} = R \cdot C = Q_{fal}(\text{köpeny}) / \Phi_{fal}(\text{köpeny})_{ve} = 5,28 \cdot 584 \cdot 920 / 98 \cong 8,0\text{ h};$$

$$\tau_{1l} = R \cdot C = Q_{fal}(\text{födém}) / \Phi_{fal}(\text{födém})_{ve} = 2,4 \cdot 584 \cdot 896 / 61,4 \cong 5,7\text{ h}.$$

2. I have elaborated a procedure suitable for the determination of the optimal wall thickness of furnaces bounded by plane walls relating to batch furnaces made of one-layer strand-ceramic raw material in case of the use of a self-bearing and at the same time heat-resistant layer and the fulfilment of the $\tau_{fal} > t_{hőkezelés}$ relation.

In knowledge of T_b , T_k , $T_{köpeny}$, τ_{fal} , $W_{felfűtési}$, S , $t_{hőkezelés}$ initial and calculated input figures, respectively, I have determined the optimal wall thickness of batch furnaces according to the under mentioned:

$$W_{\text{köpeny melegedése}} = (T_{\text{köpeny}} - T_k) / \tau_{\text{fal}}, \text{ } ^\circ\text{C/h};$$

$$t_{\text{hőkezelési hőmérséklet elérési idő}} = T_b / w_{\text{felfűtési}}, \text{ h};$$

$$T_{\text{köpeny a } T_b \text{ elérésének időpillanatában}} = t_{\text{hőkezelési hőmérséklet elérési idő}} \cdot W_{\text{köpeny melegedése}}, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{tg } \alpha = [(T_b - T_{\text{köpeny}}) + T_{\text{köpeny a } T_b \text{ elérésének időpillanatában}}] / s, \text{ } ^\circ\text{C/mm};$$

$$S_{\text{csökkenthető falvastagság}} = T_{\text{köpeny a } T_b \text{ elérésének időpillanatában}} / \text{tg } \alpha, \text{ mm};$$

$$S_{\text{optimális}} = S - S_{\text{csökkenthető falvastagság}}, \text{ mm}.$$

By using the figures of the initial and calculated input figures laid open in the chapters 4. and 5.4. of my dissertation, by the help of the above calculative algorithm, the bell-type furnace's floor walling of a gunité strand-ceramic raw material of a thickness of 140 mm can be reduced by ~ 3,1 mm, that is the value of $S_{\text{optimális}}$ will be ~ 136,9 mm.

I have prepared a software in ***Turbo Pascal 6.0*** language for the above mentioned algorithm executable with the name ***opt.exe***.

3. I have prepared programmes in ***Turbo Pascal 6.0*** language runnable on computer for the operation of the algorithms and models elaborated by myself:

- For the super precision determination of the lining material's coefficient of thermal conductivity: ***grafikon.exe***;
- For the calculation of the wall thickness and heat balance of the bell-type furnace: ***sikfal.exe***;
- For the optimal determination of the wall thickness: ***opt.exe***.

Zoltán Gárdus