

Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület
Miskolci Csoportja
TÜKI Tűzeléstechnikai Kutató és Fejlesztő Vállalat
Tudomány és Technika Háza Miskolc

TÜZELÉSTECHNIKA „92“

XXVIII. Ipari Szeminárium

1992. augusztus 26—28.

Tudomány és Technika Háza Miskolc

GAZDASÁGBOS TOZALLÓ FALSZERKEZETEK TERVEZÉSE

Dr. NIKÓ József

Dr. SZEMELWEISZ Tamásné

Miskolci Egyetem - Tüzeléstan Tanszék

Dr. JARMAI Károly

Miskolci Egyetem - Szállítóberendezések Tanszék

Bevezetés

Mindig, de napjainkban különösen fokozódik az igény a termelés racionalizálása, az adott ismeretszint melletti gazdaságossá tételéért.

A gazdaságban a szervezési, irányítási, technológiai, értékesítési stb. területek mellett a szerkezettervezés fejlettsége, színvonala meghatározó szerepet játszik. A szerkezettervezés területén az anyag és energia-takarékosságra, a tervezés megbízhatóságára és időigényének csökkentésére irányuló törekvések jelentősen befolyásolják a termék gazdaságosságát.

A gépipari és kohászati energiafelhasználás csökkentésének egyik legjelentősebb bázisát az ipari kemencék és egyéb hőtechnikai berendezések képezik. Az ipari kemencék fűtésére felhasznált energia az ország összes energiafelhasználásának 20 %-a.

Tüzeléstechnikai és konstrukciós változtatásokkal a nagyhőmérsékletű berendezések energiafelhasználása csökkenthető.

A konstrukciós változtatások egyik fontos területe a fenti berendezések falszerkezetének korszerűsítése.

A kemencepark nagy hányadának falazatai a telepítésükkel egyidejű műszaki színvonalat képviselik, mert legtöbbször az időközbeni korszerűsítésük is az eredeti tervek szerint történt.

Az iparban egyre romló anyagi lehetőségek még szigorúbban vetik fel a racionalitást, nem lehet ez másképp a kemencefalazatok kialakításánál sem.

A kemencéknél a teljes szerkezetet tekintve a falszerkezet igen jelentős költséghányadot képvisel. Ez a tény motiválja, hogy a gépiparban már régóta elterjedten alkalmazott szerkezetoptimalizálás adaptálásával, tapasztalatainak felhasználásával olyan módszert alakítsunk ki, amellyel lehetőség nyílik a költségek szempontjából optimális falazatok tervezésére és kivitelezésére a technológiai igények messzemenő figyelembevételével.

A falszerkezet optimalizálásának módszere

A kutatási feladat céljaként egy olyan interaktív döntéstámogató programrendszert kívánunk kifejleszteni, amely személyi számítógépen futtatható. Ennek alapelvét és egy egyszerű feladaton keresztül az algoritmusát ismertettjük a továbbiakban.

A falazat optimalizálása a költségek minimumának megkeresését jelenti. A falazattal összefüggésben alapvetően kétféle költség jön szóba:

- a falazat létesítésének költsége, amely a felhasznált anyag árától és a megvalósítás költségétől függ,
- az üzemelő kemence falazatán keresztül a környezetnek átadott energia, valamint az üzemhátról függően a falazatban tárolt energia költsége.

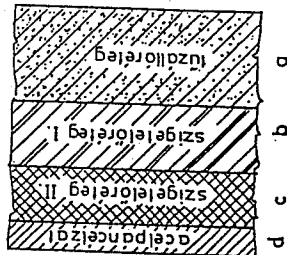
Mindkét esetben az (kemencefalazat) alábbi paraméterek befolyásolják a költségeket.

1. A falazat geometriai tulajdonságai, (rétegezetttsége, a rétegek vastagsága, stb.)
2. Az alkalmazott anyagok fizikai tulajdonságai (hővezető képesség, tözállóság, hőkapacitás stb.)
3. A kemence üzemhátró (folyamatos, szakaszos).

Figyelembe véve a terjedelmi korlátokat és egyéb cél-szerdési szempontokat, az alábbi egyszerűsítéseket hajtottuk végre:

- a kemencefalazat maximum 4 rétegből áll, melyből az acélpáncél adott vastagságú és így ennek optimális méretezését most nem vizsgáljuk,
- a három réteg vastagsága változó lehet, adott első és felső határ között, megadott vastagságváltozás figyelembe vételével,
- a falazat vizsgálunk,
- a tözállósági, összeépítési szempontok figyelembe vételével szdkítettük a figyelembe vehető anyagok számát és kombinációikat,
- folyamatos működésű kemencét feltételeztünk.

Mind Ezeket figyelembe véve a falszerkezet legyen a következők:



Mint említettük, a d réteget valamennyi változatban azonosnak vesszük, ezzel a továbbiakban nem számolunk.

Az a, b, c, rétegekre az alábbi feltételeket szabjuk:

$$a + b + c = 0,5 \text{ és}$$

$$b_{\min} = 0 \quad c_{\min} = 0$$

$$b_{\max} = 0,5 \text{ m} \quad c_{\max} = 0,01 \text{ m}$$

$$\Delta a = 0,05 \text{ m} \quad \Delta b = 0,05 \text{ m} \quad \Delta c = 0,001 \text{ m}$$

A kiinduló adatbázisunkat úgy alakítottuk ki, hogy abban minden használatos és jellemző anyagféleség jelen legyen. A felhasznált anyagokat az 1. sz. táblázat tartalmazza.

	Samott	Habsamott	Beton	Szálás
a réteg	T4, R2	DVM3, DVMS	L18, FL10	RATH KMDD1260 KMDD1650/B0
b réteg		DVM3, DVMS	L04, L12	Sibrál, RATH KMDD1260
c réteg			L04	Sibrál, Isolyth KMDD1260

1. táblázat

Az optimalizáláshoz meg kell alkotni azt a függvényt (célfüggvényt), amelynek a szélsőértéke adja az optimumot. Esetünkben ez a költségfüggvény:

$$K = K1 + K2 + K3 \quad Ft/év$$

ahol:

- K1 - anyagköltség,
- K2 - beépítési költség,
- K3 - folyamatos falvesztés okozta energiaköltség.

A létesítés költségei az amortizáció segítségével osztható el a kemence működésének idejére. A kialakult gyakorlatnak megfelelően 3 éves leírási időtartamot vettünk figyelembe.

$$K1 + K2 = \frac{a(P_a + L_a)}{3} + \frac{b(P_a + L_b)}{3} + \frac{c(P_c + L_c)}{3} \quad Ft/év$$

ahol:

- P_a, b, c - az anyagár Ft/m³
- L_a, b, c - a beépítési ár Ft/m³

Az üzemelés során fellépő energiavesztés költségé:

$$K3 = \dot{q} \cdot t_{ev} \cdot P_{vesztésves}$$

ahol:

- \dot{q} - a folyamatos falvesztés,
- $\dot{q} = f \cdot A$ és $A = 1 \text{ m}^2$, akkor

$$f = \frac{T_{rb} - T_{rk}}{\sum_i \frac{S_i}{\lambda_i}} \quad \text{vagy} \quad U = \frac{T_b - T_k}{\frac{1}{\alpha_b} + \sum_i \frac{S_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k}}$$

ahol:

- f - a hőáram sűrűség, W/m², °C
- T_{rb} - a falazat belső hőmérséklete, °C
- T_{rk} - a falazat külső hőmérséklete, °C
- S_i - rétegvastagság, m
- λ_i - a belső térhőmérséklet, °C
- T_k - a környezeti hőmérséklet, °C
- α_b - hőtáadási tényező a kemencetér és a falfelület között, W/m², °C
- α_k - hőtáadási tényező a kemencefal és a környezet között, W/m², °C
- t_{ev} - a kemence évi üzemideje, h
- P_{vesztésves} - a tüzelőanyag egységára, Ft/kJ

A költségfüggvényt tehát a következőképpen írhatjuk fel:

$$K_{a,b,c} = \frac{a(P_a + L_a)}{3} + \frac{b(P_b + L_b)}{3} + \frac{c(P_c + L_c)}{3} + \frac{T_{rb} - T_{rk}}{a \cdot b \cdot c} \cdot t_{ev} \cdot P_{vesztésves} \quad Ft/év$$

$$\frac{1}{\lambda \cdot \lambda_b \cdot \lambda_c}$$

Az optimumkeresés algoritmus

Ezzel eldállítottunk egy három paraméterű függő cél-függvényt, amelynek minimuma adja az optimumot. A cél-függvény optimumának megkeresésére számítógépes algoritmust kerestünk. Erre alkalmasnak bizonyult a Rosenbrock-féle Hillclimb algoritmus módosított változata.

Az eredeti algoritmus maximálja az $y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ függvényt (célfüggvény), a következő feltételek esetén:

$$x_i \leq x_i \leq x_i^u \quad i = 1, 2, \dots, M \quad x_i \geq 0$$

A célfüggvény többváltozós, nemlineáris a méretezési feltételek nemlineáris, többváltozós, egyenlőtlenségi feltételek. N a változók száma (explicit változók), M a feltételek száma (implicit változók). Az explicit változók a szerkezet geometriai paraméterei lehetnek. Ezért is lényeges az $x_i \geq 0$ egyenlőtlenség, mely csak pozitív értékeket enged meg a változókra.

A program megkeresi a célfüggvény extrémumát a feltételek teljesülése esetén. Az extrémum általában a minimális tömeget, minimális költséget, maximális megbízhatóságot stb. jelenti. Az implicit változók, x_{N+1}, \dots, x_M függvényei az explicit független változónak.

Az eljárás Rosenbrock (1) (1960) kereső módszerén alapul. A koordinátarendszer-forgatáson alapuló módszer a Hooke and Jeeves (1961) algoritmus továbbfejlesztésének tekinthető.

Az algoritmus a koordináta-rendszert forgatja a minimálás minden egyes lépésében olyan módon, hogy az első irány a célfüggvény-felület legmeredekebb változása felé mutat, a többi irány pedig merőleges az első irányra. A módszer deriválást nem végez.

Azért, hogy az algoritmus beépíthető legyen az interaktív többcélű-függvényes optimáló programrendszerbe, átalakítottuk a következő módon. Az algoritmus a célfüggvény minimumát határozza meg az eddigi maximum helyett $f(x_1) \Rightarrow$ minimum.

A méretezési feltételek: explicit $x_i - x_i \leq x_i^u$ ($i=1,2,\dots,N$)
Implicit feltételek : $g_j(x_1) \geq 0$ ($j = 1,2, \dots, P$)

Az algoritmus igényli megfelelő kezdőpont megadását, ezért a komplex algoritmushoz hasonlóan kiegészítettük egy megfelelő kezdőpontkereső programrészsel.

Az algoritmus hatékonysága szempontjából lényeges rész a határzónába eső pontoknál a függvénymódosítás kifejezése (2).

Számítási eredmények

A számítások alapját képező adatbázis főbb elemeit a 2. táblázatban foglaltuk össze.

Az anyagi mindség figyelembevétele (az optimalizálásnál a rendelkezésre álló igen sokféle anyagmindőség és ezek szinte végtelen számú kombinációja miatt) meglehetősen bonyolult. A egyszerűsítés céljából - mint említettük - korlátoztuk a figyelembe vett kombinációk számát. Az alábbi nyolcféle változatot vizsgáltuk (3. táblázat).

A fenti változatok kiválasztásánál a gyakorlatban használt anyagminőségeket részesítettük előnyben.

A számítási eredmények a 4. táblázatban találhatóak.

Az eredményekből az optimalásra vonatkozóan az alábbi általános következtetések vonhatók le:

- a mérekorlátozási feltételek általában aktívak, tehát nagy szerepe van az eredmény szempontjából az alsó és felső mérhetőárok megadásának,
- az optimalás során egyes rétegvastagságok zérus értékek lehetnek, tehát feleslegesek, nem tudják csökkenteni a célfüggvény értékét.

Mint a táblázatból látszik, minden falszerkezet esetében kétféle (900 °C és 1350 °C) belső falhőmérséklet esetére is elvégeztük a számítást. Egy-egy hőmérséklet esetében a kétféle számítási eredmény azért adódik, mert kerekítéssel és anélkül is végez számításokat az alkalmazott optimáló program.

A célfüggvény minimumát, tehát a legkisebb éves költséget a B. feladatban találunk, amely olyan falszerkezetre vonatkozó számítás, amely csak két rétegből áll, de csak un. szálas szigetelőanyagot tartalmaz. Ennél még az 1350 °C belső hőmérsékletet feltételező változata esetén is az összes többi változatnál kisebb költség adódik.

A maximális költség a 2. feladatnál adódott. E falazat elvileg 3 rétegből, vagyis samott téglá mellett habsumott és szálas szigetelőanyag szerepel benne.

Anyagminőség, Alk.hőm. Sűrűség Hővez.tényező Ar (Ft/m³)
 Jellemzők °C kg/m³ W/m,°C anyag bedolg.

Samott					
T4	1400	1850	0,87+4,11.10 ⁻⁴ T	23998	20000
Habsamott					
DVM3	1380	550	0,2515+3,2.10 ⁻⁴ T	52480	7400
DVM5	1400	800	0,319+5,96.10 ⁻⁴ T	47732	7150
Betonok					
L18	1380	2000	0,9157-5,6.10 ⁻⁴ T	99200	20000
L12	1240	1950	0,779-4,96.10 ⁻⁴ T	74256	20000
FL10	1300	1400	0,65-4,05.10 ⁻⁴ T	92700	17000
L04	1000	510	0,1605-3,46.10 ⁻⁴ T	34800	7500
Szálas anyagok					
Isolyth	700	120	0,124	4480	4500
Sibral	1100	130	3.10 ⁻⁴ +2.10 ⁻⁴ T	34650	10000
RATH KMOD					
1650/80	1650	160	6,87.10 ⁻⁴ -1,74.10 ⁻⁴ T	36000	13500
RATH KMOD					
1260	1260	130	2,7.10 ⁻⁴ +6,4.10 ⁻⁴ T	30000	11000

2. táblázat

Anyagminőség

	1	2	3
1.	T4	DVM3	Isolyth
2.	T4	DVM5	Sibral
3.	DVM5	L04	Isolyth
4.	L18	L04	Sibral
5.	FL10	L04	Sibral
6.	T4	KMOD1260	-
7.	KMOD1260	L04	-
8.	KMOD1650/80	Isolyth	-

3. táblázat

KEMENCE OPTIMALIS MÉRTEZÉSE
JÁRMAI MISKOLCI EGYETEM 1992(C)

1. FELADAT

TFB	X(1)	X(2)	X(3)	FELT	CELFGV
900	0.047	0.324	0.080	0.450	11277.4
900	0.050	0.350	0.080	0.450	11667.0
1350	0.000	0.370	0.080	0.450	13159.7
1350	0.000	0.400	0.080	0.450	13480.2

KEMENCE OPTIMALIS MÉRTEZÉSE
JÁRMAI MISKOLCI EGYETEM 1992(C)

2. FELADAT

TFB	X(1)	X(2)	X(3)	FELT	CELFGV
900	0.000	0.370	0.080	0.450	13185.5
900	0.000	0.400	0.070	0.470	13480.7
1350	0.000	0.370	0.080	0.450	15320.0
1350	0.000	0.400	0.080	0.480	15587.2

KEMENCE OPTIMALIS MÉRTEZÉSE
JÁRMAI MISKOLCI EGYETEM 1992(C)

3. FELADAT

TFB	X(1)	X(2)	X(3)	FELT	CELFGV
900	0.167	0.203	0.080	0.450	9295.2
900	0.150	0.250	0.080	0.480	9381.4
1350	0.175	0.195	0.080	0.450	10987.3
1350	0.200	0.200	0.080	0.480	11317.1

KEMENCE OPTIMALIS MÉRTEZÉSE
JÁRMAI MISKOLCI EGYETEM 1992(C)

4. FELADAT

TFB	X(1)	X(2)	X(3)	FELT	CELFGV
900	0.000	0.350	0.100	0.450	10178.0
900	0.000	0.350	0.100	0.450	10178.8
1350	0.000	0.350	0.100	0.450	11438.1
1350	0.000	0.350	0.100	0.450	11433.7

KEMENCE OPTIMALIS MÉRTEZÉSE
JÁRMAI MISKOLCI EGYETEM 1992(C)

5. FELADAT

TFB	X(1)	X(2)	X(3)	FELT	CELFGV
900	0.020	0.350	0.080	0.450	8530.5
900	0.050	0.340	0.080	0.470	9488.4

KEMENCE OPTIMALIS MÉRTEZÉSE
JÁRMAI MISKOLCI EGYETEM 1992(C)

6. FELADAT

TFB	X(1)	X(2)	X(3)	FELT	CELFGV
1350	0.020	0.350	0.080	0.450	9879.7
1350	0.050	0.340	0.080	0.470	10838.7

KEMENCE OPTIMALIS MÉRTEZÉSE
JÁRMAI MISKOLCI EGYETEM 1992(C)

7. FELADAT

TFB	X(1)	X(2)	FELT	CELFGV
900	0.000	0.450	0.450	11503.7
900	0.000	0.450	0.450	11503.7
1350	0.000	0.450	0.450	14234.1
1350	0.000	0.450	0.450	14233.7

KEMENCE OPTIMALIS MÉRTEZÉSE
JÁRMAI MISKOLCI EGYETEM 1992(C)

8. FELADAT

TFB	X(1)	X(2)	FELT	CELFGV
900	0.100	0.350	0.450	9800.9
900	0.100	0.350	0.450	9809.8
1350	0.100	0.350	0.450	11165.8
1350	0.100	0.350	0.450	11165.4

4. táblázat

A számítás eredményeként a samotrétég vastagsága 0-ra adódik, ami azt jelenti, hogy a költségek minimuma megköveteli a réteg elhagyását. Az eredmény ez esetben sem meglepő, hiszen a drága szálás szigetelőanyagot felesleges alkalmazni hideg oldali szigetelésként a szigetelő tulajdonsággal is rendelkező hebsamott mellett.

A közölt eredményekből túlzottan messzemend következtetéseket nem lehet levonni, mert az egyszerűsítések miatt meglehetősen erőszakoltnak tűnik a különböző falszerkezetek összehasonlítása. Mindenesetre azt a célt, hogy a módszer alkalmazhatóságát bizonyítsuk, elérte.

Az Országos Tudományos Kutatási Alap finanszírozásában egy négyéves kutatási program keretében ezt a feladatot szeretnénk a bemutatotttal sokkal általánosabb feltételek esetén megoldani.

Irodalom

- (1) Rosenbrock, H.H.: An automatic method for finding the greatest or least value of a function. Computer Journal, 1960. Vol. 3. No. 3. p. 175-184.
- (2) Jármái, K.: Single - and multicriteria optimization as a tool of decision support system. Computers in Industry, 1989. Vol. 11. No. 3. p. 149-266.