

Szempontok ipari kemencék gázemissziójának kutatásához.

*Dr Bíró Attila**Professor emeritus*

a műszaki tudományok doktora

ME. Tüzeléstudományi Tanszék

1.0 Bevezetés

Az elmúlt két évtizedben a kutatók figyelme a tüzeléstechnika területén az égésnél keletkező és a légkörbe jutó szennyeződés tömegének és hatásának vizsgálatára irányult. Ez annak is köszönhető, hogy Angliában egy egyetemi kutatás eredménye látott napvilágot (Kelet Angliai Egyetem), ami szerint a hőelnyelő szennyezés kibocsátása olyan mértékben nőtt az elmúlt században, ami a világot egy évszázadon belül éghajlati katasztrófával fenyegeti.

Bár a megállapítások alapjául szolgáló mérések korrektségét és a levont megállapítások helyességét számos kutató kritizálta a bejelentés hírértéke hihetetlenül nagy lett. Ennek oka az, hogy azonnali gazdasági érdekeket gerjesztett. A gazdasági érdekek makrogazdasági következményei azt a lehetőséget tárták fel, hogy a fejlődő országok azonnali kártérítést követelhesse a "gazdag" országoktól, sőt piacot nyithassanak a "szennyezési kvótáik" pénzért való értékesítésére. A "gazdag" országok kormányai ugyanakkor azonnali adóemelési lehetőséget látnak a kibocsátókra kivetett büntetések bevezetésével.

A kutatók figyelmét a téma tudományos érdekessége mellett az is felkeltette, hogy a gazdaságilag fenyegetett vállalatok és szervezetek jelentős anyagi eszközöket fektettek be a kutatásba annak érdekében, hogy az őket fenyegető várható gazdasági szankciókat elkerüljék, vagy legalább is azok elfogadását időben eltolják.

Az öt kontinensre kiterjedő kutatás egész sor hasznos eredményt hozott, mely nem csak a légköri szennyezést csökkentette főként az északi féltekén, hanem az energia ipari felhasználásában is jelentős újdonságokat hozott, ami előnyös az energiahordozókkal való gazdálkodás területén is. Olyan új technológiák, mint a többfokozatú égetés vagy a regeneratív égők feltámadása párosulva a tüzelés automatizálásával párosulva hozzájárultak az NO_x és CO₂ kibocsátás csökkentéséhez illetve a fosszilis energia világméretű megtakarításhoz.

A fázisok azonban csak részleges eredményeket hoztak. Míg tudományos szempontból például az NO_x emisszió folyamata és a csökkentés elméleti lehetőségei tisztázottnak tekinthetők a gyakorlati megvalósítás ma is nehézségekbe ütközik. A Wüning által kialakított "Lángnélküli égés", ami a leghatékonyabb NO_x csökkentő eljárás lehetne a nagyhőmérsékletű (1300-1600K) [14], ipari kemencéknél közel 10 évvel kidolgozása után még mindig nem elfogadott két hátránya miatt:

- a./ Az eljárás lényege a nyagyon lassú keveredés miatti kis láng hőmérséklet maximum a munkatérben, ami az NO_x csökkenésével párhuzamosan a CO kibocsátás növekedéséhez vezet, és

b./ Bár a korszerű automatizálás eszközei sokat segítettek a kemencék gázrobbanás elleni biztosításában, a keverés lassításához szükséges elkülönült gáz levegő bevezetés elméletileg növeli a kemencetér robbanások lehetőségét.

A továbbiakban azoknak a kutatásoknak előkészítésével foglalkozunk, melyek a Miskolci Egyetem Hőenergiagazdálkodási Intézetében az OTKA támogatásával 2004-ben indultak. A kutatások célja olyan keverési rendszerek elméleti és gyakorlati megvalósítása, melyek lehetővé az NOx emisszió csökkentésével párhuzamosan lehetővé teszik a CO emisszió kibocsátási normák alatt tartását a hőkezelő és izzító kemencék hőmérsékleténél.

2.0 Az NOx emissziót befolyásoló tényezők.

A kohászati üzemek leggyakoribb kemencetípusa az izzítókemence. Az ilyen kemencék térhőmérséklete 1250...1350 °C. Ezen a hőmérsékleten a keletkezett nitrogénoxidok több, mint 95%-a NO, ami a füstgáznak a környező levegővel való keveredése után alakul NO₂-vé.

Földgáztüzelésnél, -mivel a földgáz nem tartalmaz nitrogént- tüzelőanyag-nitrogénből nem keletkezhet nitrogénoxid. Mind a Promt-NO mind a Thermo -NO keletkezésének időbeli lefolyása az Arrhenius egyenlettel írható le:

$$k=k_0 \cdot [C_1]^n \cdot [C_2]^m \cdot \exp -E/R \cdot T \quad 1.$$

ahol: k_0 a reakcióállandó, C_1 és C_2 a reagáló anyagok koncentrációja, n és m a reagáló molekulák száma, E a reakció hőeffektusa, R a gázállandó, T a reakcióhőmérséklet.

A k_0 és E reakciókinetikai táblázatokból vehető, az $R=8,25$, konstans. A kemence és égő szerkezeti kivitelétől csak a T függ, amit kemencéknél a lánghőmérséklet maximummal azonosíthatunk. A koncentrációk a tüzelési rendszertől függenek és pl. inert gázoknak az éghető keverékbe való juttatásával módosíthatók.

2.01. A lánghőmérséklet maximum szabályozása

A két befolyásoló tényező közül a T a meghatározó, mert exponenciálisan növeli a reakciósebességet, míg a NO képződésben szerepet játszó legkevesebb 30 reakciónál a koncentráció hatása többnyire lineáris vagy négyzetgyökös hatású.

A T lánghőmérséklet-maximum nagysága a következőkkel írható le fáklyalángú égők használata esetén:

$$T_{\max} = f(\Lambda^2, Re, T_{\text{tűztér}}, L_{\text{láng}}, V_{\text{inert}}, n, c_{\text{pfg}}) \quad 2.$$

A koncentráció hatása levegőtüzelésnél:

$$[C] = f(V_{\text{inert}} \cdot V_{\text{rec}} \cdot n) \quad 3.$$

ahol: Λ a lángsebesség, Re a Reynolds szám a keveredés sebességét meghatározó turbulencia jelzőszáma, $T_{\text{tűztér}}$ a kemencetér hőfelvétel felületeinek hőmérséklete, $L_{\text{láng}}$ a láng hossza, V_{inert} az égési keverékben lévő inertgázok (N_2 , CO_2 , H_2O) tömegaránya, n

a levegőtényező, c_{pfg} a füstgáz hőkapacitása, illetve V_{rec} a természetes és kényszerrecirkuláció útján az égési keverékbe jutott füstgáz tömegaránya.

Amint a 2. egyenletből látható a lánghőmérséklet-maximum kialakulásában döntő szerepet játszik a Λ lángsebesség. A lángsebesség a fűtőgáz összetételétől függ. A metán és CO tartalmú gázok normál lángsebessége kicsi (kb 0,4 m/s), a hidrogéné nagy (1,6 m/s). Ezért a kokszkemencegáz (62% H_2) lánghőmérséklet-maximuma azonos körülmények között nagyobb, mint a földgázé (93% CH_4).

Az égési levegő (keverék) felmelegítése exponenciálisan növel a lángsebességet:

$$\Lambda = \Lambda_0 \cdot \left(\frac{T_{kev}}{273} \right)^{1,8} \quad \text{m/s}, \quad 4.$$

Emiatt az égési keverék felmelegítése az NOx emisszió növekedésének kedvez. Az inertgáztartalom növelése lineárisan csökkenti a lángsebességet:

$$\Lambda = \Lambda_0 \cdot (1 - 1,6 \cdot N_2 - 3,6 \cdot CO_2 + 3 \cdot O_2), \quad \text{m/s} \quad 5.$$

Ahol az N_2 és a többi képlet az adott gáz tömeghányadát jelenti. A hőmérséklet hatására a CH_4 levegővel alkotott keverékének a lángsebessége „már 500 fokra való felmelegítés esetén eléri a hidrogén-levegő keverék normál lángsebességét!

Amint az előző fejezetben láttuk a levegő előmelegítésének növelése fontos a kemenceteljesítmény és hatásfok növelése és az energiafogyasztás csökkentése érdekében. Így nem marad más lehetőség, mint a levegőelőmelegítés lánghőmérsékletnövelő hatását más tényezők egyidejű ellenkező hatásával csökkenteni.

2.02. Lánghőmérséklet maximum csökkentésének lehetőségei

A lángsebesség és ezzel a lánghőmérséklet maximum csökkentésére a 2. egyenlőség szerint az alábbi lehetőségek állnak rendelkezésünkre:

1. A gáz-levegő keverési sebességének csökkentése a Re szám csökkentése révén
2. A lánghosszúság növelése az $L_{láng}$ növelésével. Ez pl. úgy valósítható meg, hogy az égési levegőt több fokozatban vagy folyamatosan de lassan keverjük a gázhoz, miáltal kisebb lánghőmérséklet maximumot kapunk.
3. A V_{inert} hányadát növeljük az égési keverékben a belső füstgáz-visszacirkuláltatás (pl. laposlángú égők alkalmazásával) vagy kényszerrecirkuláció (pl. füstgáznak az égési levegőbe való bekeverése) útján.

A lánghőmérséklet csökkentésére a $T_{tűztér}$ az előírt hengerlési hőmérséklet miatt, az „n” a CO emisszió illetve az acéloxidáció és dekarbomizáció növekedése, a c_{pfg} a tüzelőanyag adott összetétele miatt nem nyújt lehetőséget. Csökkenthető viszont a lánghőmérséklet-maximum az égés sebességének változtatása révén, ami áramlásfüggő módszerekkel is csökkenthető.

2.03 CO emisszió

A CO emisszió emissziós normáinak betartása nagyhőmérsékletű tereknél (kemencéknél) nem okoz problémát. A CO emisszió

$$V_{CO} = f(m_c, n, Re, T_{kem}), \text{ ppmv} \quad 6.$$

$$k = \frac{C_{H2} \cdot C_{CO2}}{C_{CO} \cdot C_{H2O}}, \quad 7.$$

ahol m_c a tüzelőanyag karbontartalma, n a levegőtényező, Re a keveredési sebesség (turbulencia) jelzőszáma, T_{kem} az égéstér hőmérséklete, k a vízgázreakció állandója, C a gázok koncentrációja, [43].

Az m_c a szénmonoxid és széndioxid forrása a füstgázban, n az égés tökéletességét mutatja ha $n > 1,0$, ami csökkenti a CO emisszió lehetőségét, a Re szám növekedése $1,0 < n < 1,05$ tartományban javítja az égést és csökkenti a CO emissziót, T_{kem} növekedése a gyújtási intenzitás növekedésével és a vízgáz-reakció révén csökkenti a CO emissziót, mivel a hőmérséklet növekedése a redukáló gázkomponensek térfogatarányának növekedését segíti.

Látható, hogy az NO_x csökkenését elősegítő keverés-lassítás növeli a CO emisszió nagyságát. A többfokozatú- és lassú-keverési rendszerek, valamint a lángsebesség csökkentés hatását a CO emisszióra minden esetben kísérletileg és folyamatos üzemi mérésekkel ellenőrizni kell, hogy a CO emisszió ne haladhassa meg a jelenleg előírt 100 ppmv értéket. Ezért az a célunk, hogy olyan tüzelési (áramlási) rendszert találjunk, ami viszonylag kis lánghőmérséklet maximum esetén is tökéletesebb égést, ezzel kisebb CO emissziót biztosít.

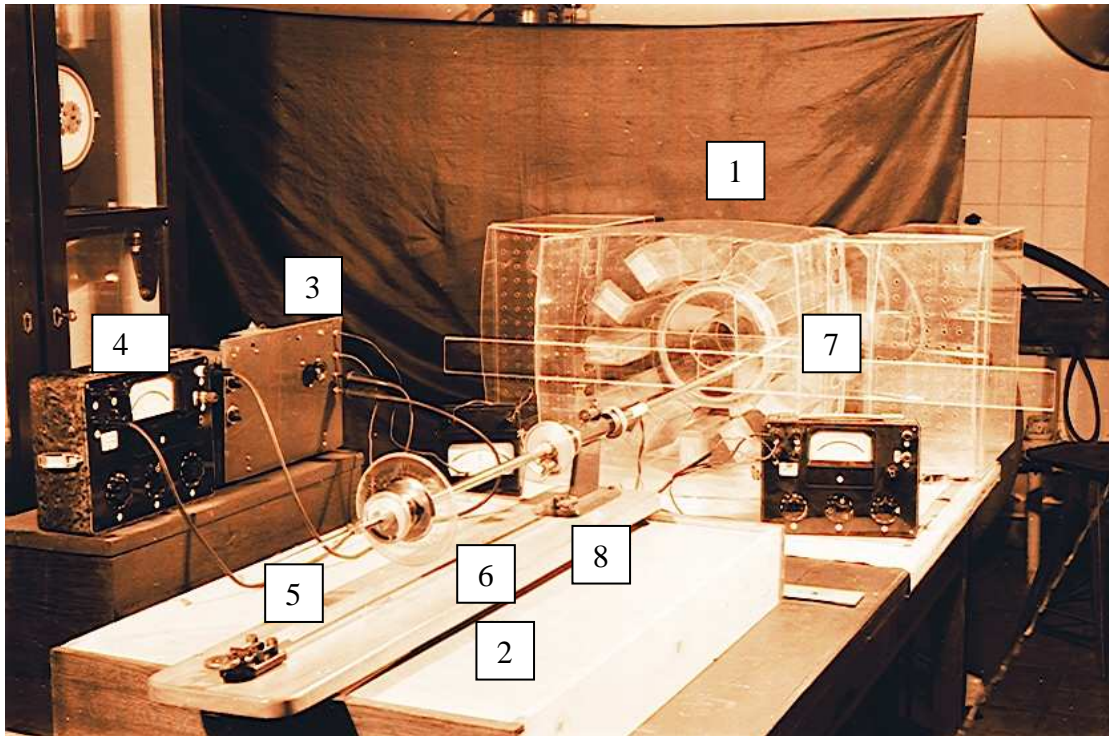
3.0. Áramlási viszonyok ellenőrzése

A kemencék áramlási viszonyainak vizsgálatára korszerű eszközök állnak rendelkezésünkre. Intézetünkben a FLUENT programot használjuk, mely pontos input esetén lehetővé teszi az áramlás irányának, sebességének és az áramló gázok hőmérsékletének számítását zárt terekben.

A hatvanas években a Tüzeléstechnikai Kutatóintézetben akkor kiemelkedően korszerű áramlási vizsgálatokat végezhattünk saját tervezésű és kivitelezésű eszközökkel, Bacsinszki Tibor, Hevesi József és Oláh Miklós fizikusok (tervezők) és Szoboszlai Gábor és Lerch Róbert (kivitelezők) munkája révén. Elkészítettük a mély- és tolókemencék áramlási térképeit és azokat áramlási atlaszok formájában tettük közé, [36., 37.].

3.1 A TüKI mérőrendszer

A kemencék modeljeit plexiből készítettük el. A modelleken olyan nyílásokat hagytunk, melyek a manipulátorral lehetővé tették a modell minden pontjának elérését és a mérési pont koordinátáinak pontos ismeretét és reprodukálhatóságát. Az összeállított mérés képét lásd az 1. Ábrán.



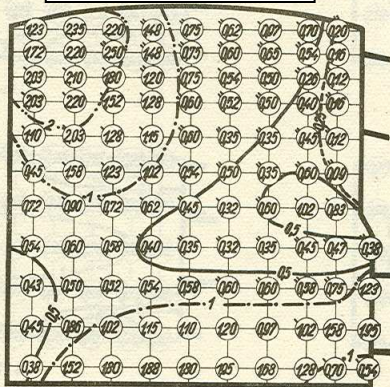
1. ábra. Áramlásmérés modellben hődrótos módszerrel, manipulátorral.

Az 1 modelt (itt egy fenéktüzelésű Amsler Morton mélykemence) oldalára fektették, hogy szimmetrikus képet készíthessenek róla. A 2 manipulátor mechanikus része fixen nyugszik a mérőasztalon. A 7 platinadrótot tartalmazó üvegcsövecske helye és a cső (vele a méródrót) tengelyének iránya az 5 fémcsővel állítható, mely a 8 vezetőállványban tengelyirányban eltolható és az 5 fémcső belsejében lévő rúd végén lévő gombbal elfordítható és a rúdtól való távolsága is változtatható dörzskapcsolatok révén.

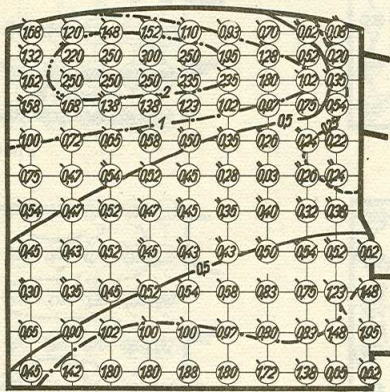
A mérőfej drótszála egy érzékeny Whitson hídba van kapcsolva, mely a modellben áramló közeg hűtőhatására változtatja hőmérsékletét és ellenállását. A dróton áthaladó áram mérésével a sebességre kalibrált fej segítségével egyenként megmérhetők a az x, y és Z síkokban lévő sebességkomponensek. Ezeket sok pontban végzett mérések eredményei alapján, az egyforma sebességű pontok helyeit összekötve térképek formájában dolgoztuk fel. A komponensek térképeiből az áramlás sebessége és iránya követhető.

Az eredményt egy egyirányú-felsőtüzelésű kemence áramlási térképein (2., 3. ábra), mutatjuk be:

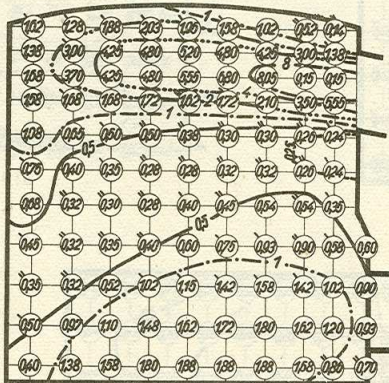
2. ábra



aA — a

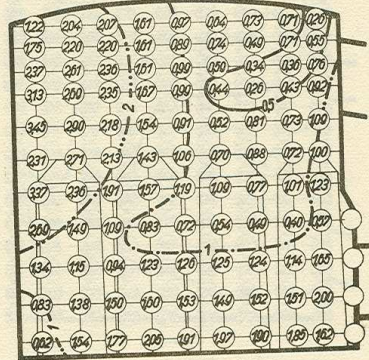


aB — a

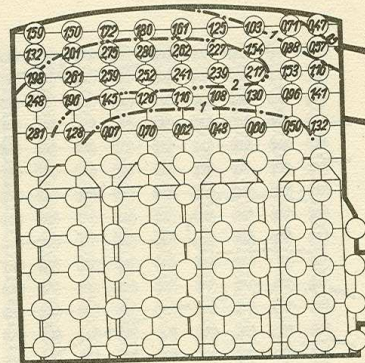


aC — a

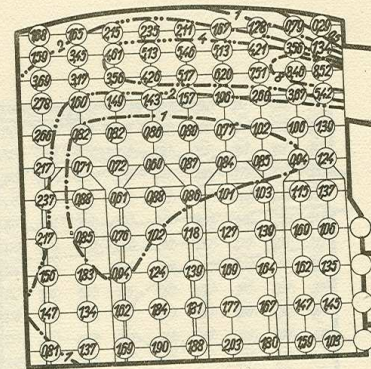
3. ábra



aAb



aBb



aCb

Jelmagyarázat: Első betű a kemence jele,
A második betű a mérősík jele, a nyíl
(ha van) az áramlási komponens iránya, az
utolsó jel a mérési variáció jele.

Vízszintes áramlási üres kemencében

Áramlás öntecsekkel berakott kemencében.

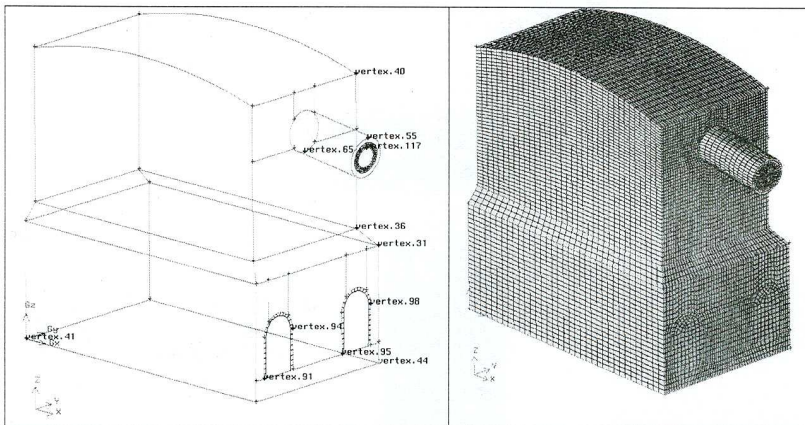
Az áramlási mérőrendszer részletes leírását, az áramlási térképeket és a modelben mért áramlási sebességek feldolgozásának módszerét lásd a szerző "Mélykemencék áramlási térképe" című csatolt, [36] munkájában.

FLUENT programmal ellenőrizve az áramlási mérések eredményeit, azt találtuk, hogy az áramlási kép gyakorlatilag egyezik a két módszer esetében. Az U lángjárású mélykemence munkaterének hőmérsékleti modellezése is az áramlási térképpel egyező eredményeket hozott, vagyis azt, hogy a lemelegebb zónák a kemence felső részének, az égővel szemben lévő szektorában, az oldalfal mentén és a fenék feletti 500 mm vastag rétegben találhatók. Ezt a kemencéknél korábban végzett mérések és a gyakorlati tapasztalatok is igazolták

4. ábra.

2. A kísérleti 0. típus modellje (kísérleti ló)

2.1 Pre-processing:



1. ábra: A geometria

2. ábra: Hálózott modell, 127118 cella

2.1.1 Méretek:

A pontos geometriai méretek meghatározásához megadjuk néhány pont helyét:

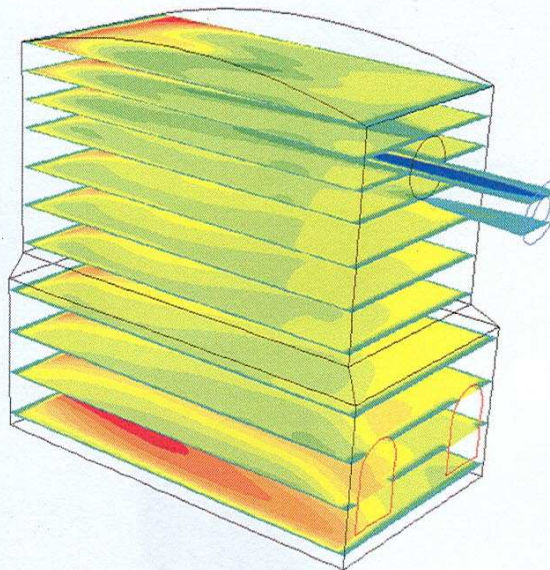
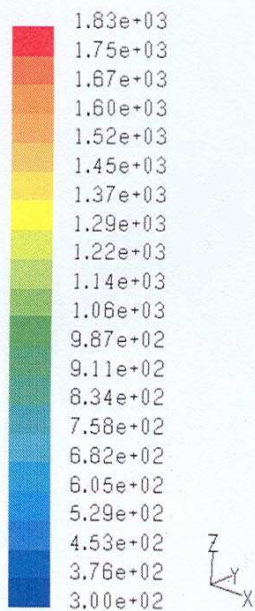
vertex41: (0; 0; 0)
 vertex44: (3700; 2130; 0)
 vertex91: (3700; 140; 250)
 vertex94: (3700; 640; 750)
 vertex95: (3700; 1490; 250)
 vertex98: (3700; 1990; 750)
 vertex31: (3700; 2130; 1430)
 vertex36: (3500; 1965; 1630)
 vertex65: (3500; 1065; 2778,122544)
 vertex55: (4523,013487; 1065; 3156,267195)
 vertex117: (4507,779820; 1065; 3032,198926)
 vertex40: (3500; 1965; 3530)

Az égő gázok bevezető csője 7°-os szögben felfele áll.
 A kupola kiemelkedése 250 mm.

2.1.2 Peremfeltételek:

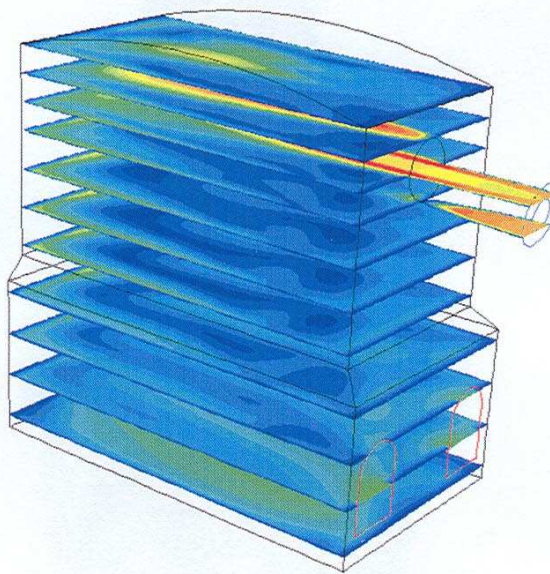
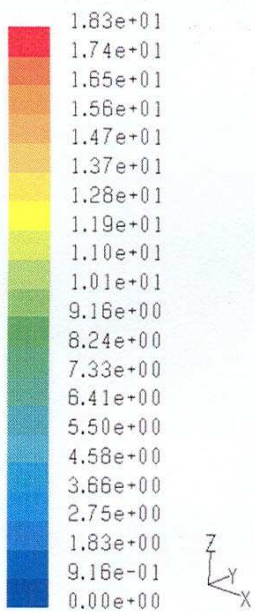
- falak, be-kimenet (lásd 3. ábra):
 - a falakra hőszigetelő anyagot (CaCO_3) írtunk elő $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ hőátadási tényezőt, 300K külső hőmérsékletet feltételezve,
 - a bemeneten előírtuk a szükséges tömegáramokat. Levegőre $2829 \text{ m}^3/\text{h}$, ami $0,96265 \text{ kg/s}$. A kevert gázra $1398 \text{ m}^3/\text{h}$, ami $0,4716 \text{ kg/s}$ -nak felel meg. A levegő és a gáz hőmérséklete: $T_{\text{lev}} = 300 \text{ K}$, $T_{\text{gáz}} = 822 \text{ K}$.
- turbulencia modell: k-epszilon, mely a turbulens kinetikus energia és annak disszipációja ismeretében modellezi a turbulens áramlást. (számértékek pontosítása)
- égési modell: „species transport”, P1 radiációs modell (lásd FLUENT help).

* SiO_2



Contours of Static Temperature (k)

Feb 03, 2005
FLUENT 6.1 (3d, segregated, spe7, rngke)

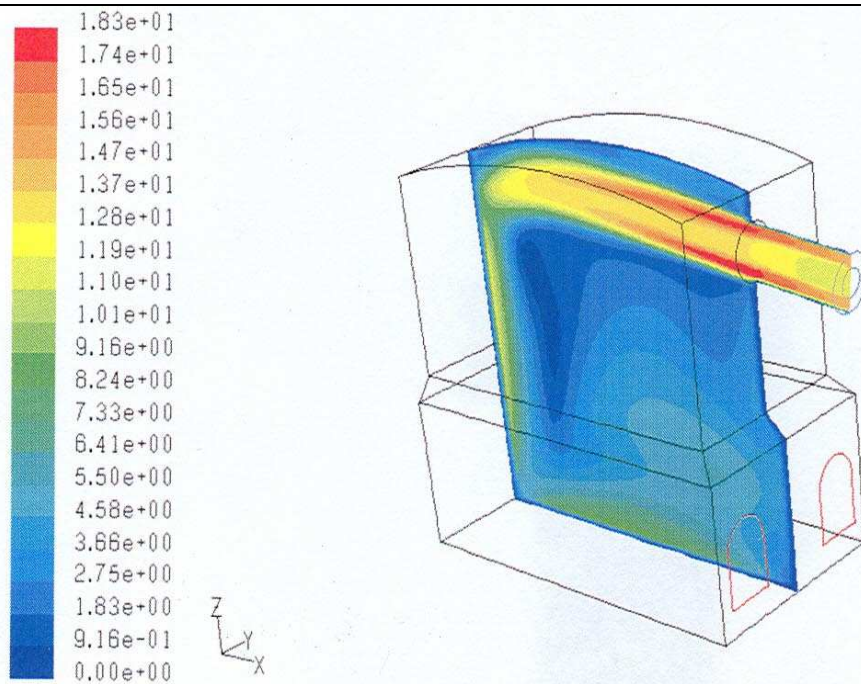


Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Feb 03, 2005
FLUENT 6.1 (3d, segregated, spe7, rngke)

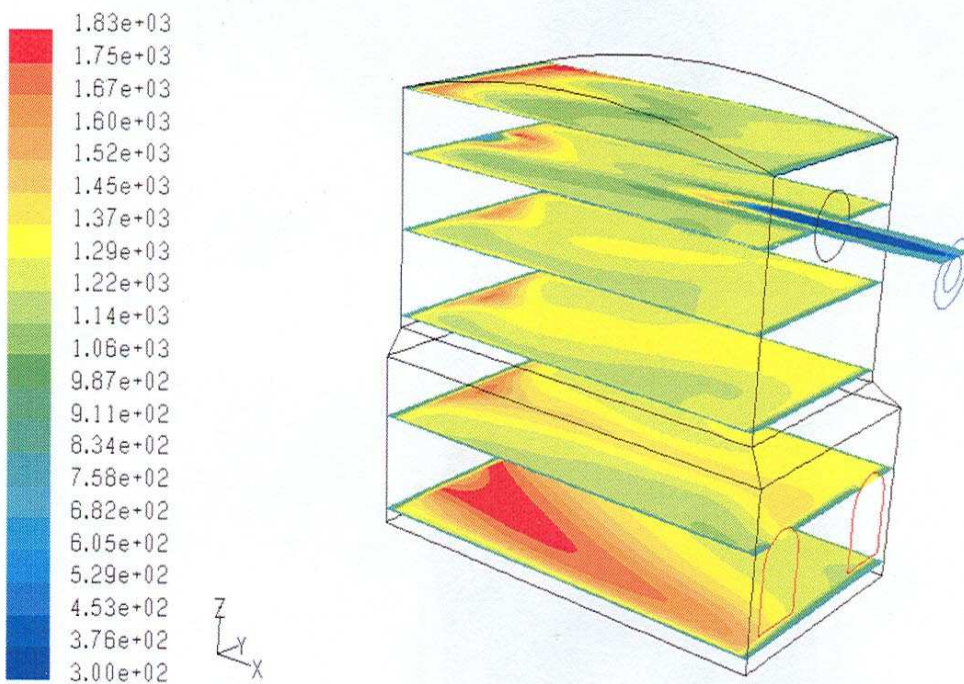
5. ábra.

OTKA 46530.	U lángjárású mélykemence cella
Földgáztüzelés 1 égővel	Gyulai László tanársegéd



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Jan 25, 2005
FLUENT 6.1 (3d, segregated, spe7, rngke)

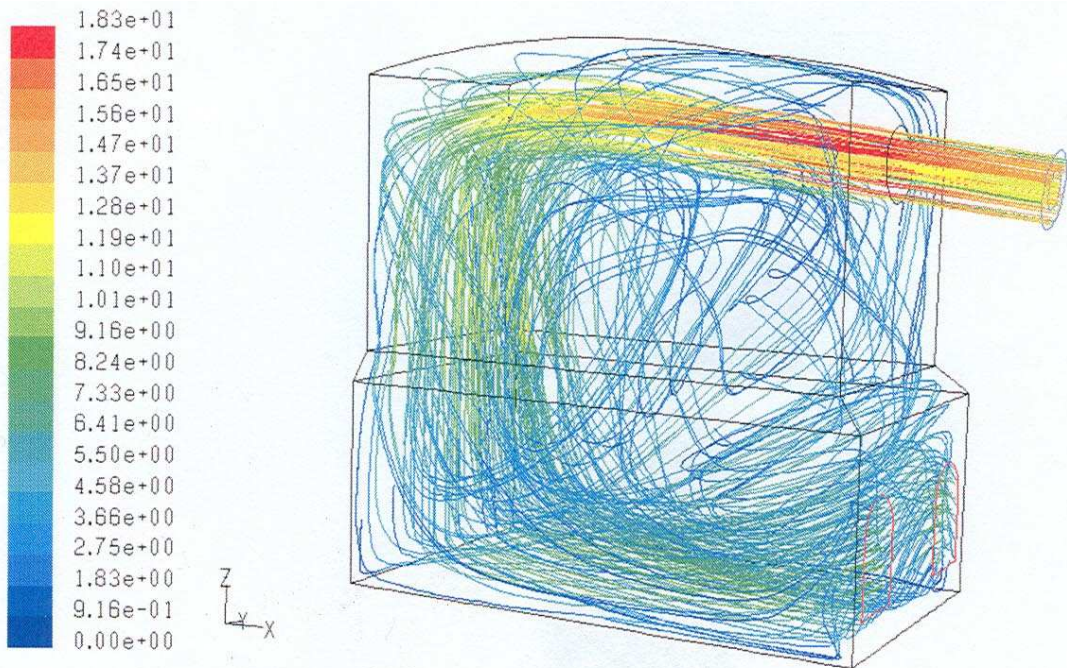


Contours of Static Temperature (k)

Feb 03, 2005
FLUENT 6.1 (3d, segregated, spe7, rngke)

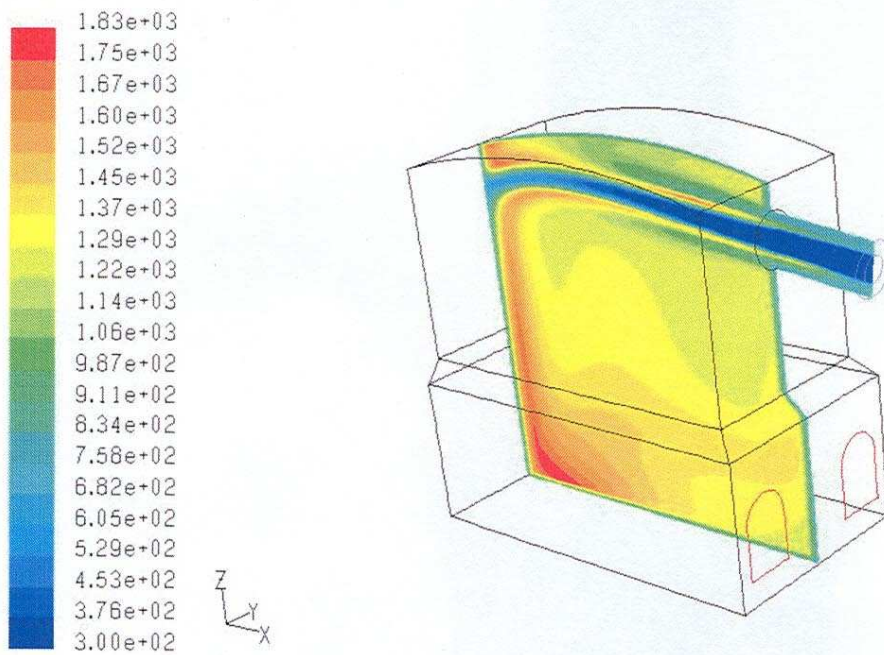
6. ábra

6



Path Lines Colored by Velocity Magnitude (m/s)

Jan 25, 2005
FLUENT 6.1 (3d, segregated, spe7, rngke)



Contours of Static Temperature (k)

Jan 25, 2005
FLUENT 6.1 (3d, segregated, spe7, rngke)

7.ábra.

NO_x képződés helye földgázégőknél

A földgáz tüzelésű izzítókemencékben túlnyomórészt fáklyalángú (hagyományos tolókemencék, mélykemencék, kamrás kemencék) vagy lapolángú (toló- és léptetőgerendás kemencék) égőket használnak.

3.01 NO képződés vizsgálata fáklyalángú égők lángjában

Az ipari égők alaptípusainak egyik meghatározó csoportjába a kúpalakú lángú égők (IP, OP, ORA), az úgynevezett fáklyalángú égők tartoznak. Ezek jellemzője az égő tengelye körül forgásszimmetrikus fáklya, melynek hosszát az impulzuserő és a perdületparaméter nagysága szabja meg. Az ilyen égők lángját a 2. ábra szerinti kísérleti kemencében tanulmányoztuk.

Az 1 hengeres tüztérre szerelt 2 égő tengelye megegyezett a tüztér tengelyével. A OP típusú égő tengelyébe olyan 3 acélcsövet építettünk, mely lehetővé tette a hőmérsékletmérő és gázmintavevő kvarcsőszonda bevezetését és annak mozgatását az égő tengelyében. Ezzel lehetővé vált a lánghőmérséklet maximum mérése, a lánghőmérséklet maximum helyének meghatározása és az NO_x koncentráció-változás regisztrálása a láng tengelye mentén.

A 3. ábra a lánghőmérséklet és az NO koncentráció diagramja az égő tengelyében, az égőtől számított távolság függvényében. (A lánghőmérsékletet 0.3 mm-es csupasz Pt-PtRh hőelemmel, az NO koncentrációt chemoluminescens típusú NO/NO_x elemzővel mértük). Egy másik chemoluminescens elemző a kemencetérből távozó füstgáz NO tartalmát regisztrálta.

Az ábrán látható, hogy a 2 m³/h teljesítményű földgázégőnél az NO_x maximum mérési helye megegyezik (csak 10 mm-el tér el) a lánghőmérséklet maximum mérési helyével, és hiába emelkedik a hőmérséklet tovább, az égés befejeztével az égő tengelyében az NO tartalom közel azonos marad.

Az NO regisztrátumból az is kiderül, hogy a láng tengelyében az NO koncentráció a láng harmadik szakaszában maximumot ér el, ami jelentősen nagyobb, mint a kemence végén mért átlagos NO, NO_x koncentráció.

3.02 NO képződés lapolángú égőknél

A másik jellemző égőcsoport az ORE és IRC égők, melyek úgynevezett lapos- vagy tányérlángot biztosítanak. Ennél az égőnél a DUNAFERR

Energiaellátó KFT anyagi támogatásával mértük az NO_x keletkezés helyét. A kísérleti berendezés szerkezetét a 4. ábra mutatja be.

A függőleges tengelyű (fenékbeépítés) égő lángját Bejczy Gábor szigorló kohómérnök vizsgálta. Két CERAFORM tábla közötti égésterben kialakított láng paramétereit minden síkban ellenőrizni lehetett. A táblák távolsága állítható volt. Bejczy az égőtől különböző távolságokban mérte a hőmérsékletet és a gázok NO tartalmát. A láng hosszát és a láng kiegészi állapotát a gázkeverék CO tartalmának elemzésével rögzítette.

A [43.] cikkben a 30 mm táblatávolságnál mért eredményeket közöljük. A CERAFORM táblák közötti kis távolság megakadályozta azt, hogy hamis levegő juthasson a táblák közé, vagy a láng felett levegő beáramlás jöhessen létre.

Amint a diagramon látható, a legnagyobb hőmérséklet helye ebben az esetben is közel megegyezett a legnagyobb NO koncentráció helyével, vagyis bizonyítottan tekinthető, hogy az NO_x képződés az ipari izzító és hőkezelő kemencék térhőmérsékletén a láng végén gyakorlatilag befejeződik és az NO koncentráció a tér további részében közel állandó marad, vagy (hamis levegő beáramlás esetén) lassan csökken. Mivel az NO a lángban képződik, leírásához a láng hosszában kell a hőmérsékleti viszonyokat vizsgálnunk.

A lángsugárzás változása a láng hosszában az égési folyamat végbemenetelétől függ. Ha a lángot szakaszokra osztjuk és minden szakaszra felírjuk a láng hőmérsékletét, ami a kémiai hőbevitel és a sugárzásos hőkiadás különbségéből számolható minden szakaszra megkaphatjuk a szakasz „kúpfelületének” hőmérsékletét. A kúp felszínének növekedése és a lángsugárzás változása figyelembe vételével azt találjuk, hogy a láng az elején relatíve hideg, (egy 1200 C hőmérsékletű izzító kemencében, hodeglevegővel való tüzelésnél hidegebb, mint a kemencetér), és a közepe táján éri el legnagyobb hőmérsékletét. Mivel a lángsugárzás a kemence és a betét paramétereitől függ a számítás bonyolult. Üzemi körülmények között egyszerűsítéseket is tehetünk a probléma kezelhetősége érdekében. A továbbiakban ismertetjük a sugárzásos hőátadás számítására általunk kidolgozott és ajánlott SCLgsug5.xls program felépítését.

A program ismertetése.

Az „SCLgsug5.xls program a ETE. TüKI [40.] konferencia CD kiadványán és ezen CD segédprogramjai között megtalálható. Az EXCEL programot megnyitva:

1. Az első lépés a lánghossz és a lángkúp legnagyobb sugarának megadása. Ezt úgy vegyük fel, hogy a láng hossza ne érje el az égővel szemben lévő kemencefalat, a táguló lángkúp sugara akkora legyen, hogy a láng vége ne érje el a melegített anyagot. (Pl. ha a kemence 3,5 m hosszú és a betét felett a boltozatig 1100 mm kemencetér van szabadon, a c5 lánghossz legyen 3m, a c6 lángkúp sugara 0,5 m. A program ebből számítja a lángkúp oldalfelületének c7 nagyságát, m²).
2. A c8 elméleti lánghőmérséklet az a legnagyobb hőmérséklet, melyet az égetés levegőtényezőjénél a láng elérne hő-leadás nélkül. Ez hideg gáz és levegő esetén, 1,05 levegőtényezőnél, 34000 kJ/m³ fűtőértékű, szabványos földgázzal való tüzelésnél 2450 K.
3. A c9 cellába az adag berakási hőmérsékletét írjuk Kelvinben. Hús fokos betét esetén 293 K.
4. A c11 cellába a betét feketeségi foka, (hő-abszorpciós tényezője) kerül. Ez revés acélfelületnél 0,85 fényes acélnál 0,4 –nek számítható.

65	B	C	D	E	F	G	H
	C. LÁNGSUGÁRZÁS ÉS HŐMÉRSÉKLET						2
	"SCLgsug4.XLS"			2. Lángsugárzás az f69 távolságban:			
	1. Izzító kemencében:			(égőtől számított ötöd lánghosszban)			
	Lánghossz:	3 m		Az aktuális ötöd száma, e:	4	$1 < e < 5$	5
70	Lángkúp sugara	0,5 m		Lángsugárzás az e-dik ötödben:			
	Lángkúp oldal felület:	3,06		Könnyű tüzelőolaj-láng:			kJ/m ² ·h
	Elméleti láng hőmérséklet:	2450 K					
	Adag hőmérséklete:	293 K		Nehéz tüzelőolaj-láng:			kJ/m ² ·h
	Kazánfal emisszió:						10
75	Hőelnyelő epszilonja:	0,85	acélnál	Földgázláng:	64309		kJ/m ² ·h
	Pirometrikus határfok:	0,85					
	Emisszó az f69-es cella szerinti távolságban, (lángötödből)::						
	nehéz tüzelőolaj:	0,43		Teljes lángsugárzás: kJ/h			
	könnyű tüzelőolaj:	0,35					15
80	földgáz:	0,21		Aluminium betétnél: *	280374		
	Gyakorlati láng hőmérséklet	1691		Fényes acél, vagy réz:	504673		
	az f69-es cella szerinti távolságban			Revés acélbetétnél:	953271		kJ/h
	Lánghőm. az ötödben, I	K	C		*****		
	Első ötöd	1041	768	* Aluminiumnál a hőcse-			20
85	Második ötöd	1625	1352	re főként konvektív úton			
	Harmadik ötöd:	1772	1499	történik a kis sugárzási			
	Negyedik ötöd:	1691	1414	hőabszorpció miatt!			
	Ötödik ötöd:	1591	1318				
							25
90	Betét adatai:						
	Szélesség, m:	0,5					
	Hosszúság, m:	0,5					
	Magasság, m:	2					
	Darabszám:	8					30
	Hőcsere felület, m ² :	34					
	Sűrűség, kg/m ³	6850					
	Betét tömege, kg:	27400		8 öntecs			
	Betét (acél) hőkapacitása	0,7					
	Betét vízértéke, kJ/C	19180					35

- A c12 az égés pirometrikus határfoka, %. A szorzótényező azt mutatja, hogy az égő keverési sebességének, impulzuserejének és a recirkulációs füstgázhányadnak milyen csökkentő hatása van a láng hőmérsékletre, a lángsugárzás nagyságára, illetve azt, hogy a láng hőmérséklet maximuma az elméleti láng hőmérséklet hányadát éri el. A keverés sebessége az égőparaméterektől függ, [7]. A földgáztüzelésű izzítókemencéknél ez a perdület-paramétertől függően 0,78...0,86.
- A lángsugárzás számításához a program a láng hosszát öt egyenlő hosszú részre osztja. Minden ötödben számítja a sugárzófelület (kúppalást) nagyságát, a láng emissziós tényezőjét és a leadott hőt az égőtől számított ötöd távolságban. (J17..N17).
- A táblázatban, bár az földgáztüzelésre készült, megadtuk a könnyű-olaj láng emissziós tényezőit is. (J5...N6). A földgáz emissziós tényezője (J7..N7) mutatja, hogy az a láng hosszában csökkenő tendenciájú.
- Az oxidáció hője által növelt és a lángsugárzás által csökkentett láng hőmérsékleteket az egyes ötödben a program (J7..N7) sorában kapjuk. Ez visszajut az első lap c21..c24 celláiba. A teljes lángsugárzást a felvett lángfelszínről a (J37...N40) blokkban kapjuk meg.

I 18	J 7	K 7	L 7	M 7	N 7	O4
Lángkúp oldalfelület:	3,06			2450		
Emissziós tényezők:						
- nehéz fűtőolaj	0,867	0,9717	0,741	0,4297	0,2826	5
- könnyű fűtőolaj	0,7507	0,9073	0,6751	0,3493	0,2251	
- földgáz	0,4023	0,4412	0,3349	0,2136	0,2075	
Gyak. Lánghőm: K.	1041	1625	1772	1691	1591	
"e" távban az égőtől:	0,6	1,2	1,8	2,4	3	
Fajl.sugárzás nehézolaj:	261029	292551	223094	129370	85083	10
Fajl.sug. könnyűolaj:	226014	273162	203253	105164	67771	
Fjlagos sugárzás gáz:	17319	113197	121545	64309	48947	
A láng adatai:						15
Lángfelület m2:	0,191	0,764	1,719	3,056	4,775	
köpenyhossz,m:	0,6	1,2	1,8	2,4	3	
LÁNGSUGÁRZÁS AZ ÉGŐTŐL AZ "E" SEKTORIG, kJ/m2,h						
Lángsugárzás, kJ/h	e=1	e=1+2	e=1+2+3	e=1+2+3+	Totál:	
- Nehézolaj:	49856	273363	286123	681476	1087743	20
- Könnyűolaj:	43168	251863	601252	922632	1246236	
- Földgáz:	3308	89790	298724	495251	728972	
Távolság az égőtől, m	0,6	1,2	1,8	2,4	3	
Lánghőm nehézolaj, K						25
Lánghőm, könnyűolaj						
Lánghőm, földgáz, K:	1041	1625	1772	1691	1591	
Korrigált lángsugárzás: kJ/m2,h						
Aluminium betét	6661	43537	46748	24734	18826	30
Réz						
Fényes acélfelület:	11990	78367	84146	44521	33887	
Revés acélbetétre:	22649	148027	158943	84096	64008	
Teljes sugárzás:						
Távolság az égőtől, m:	kJ/h	(az "e" távolságig)				35
Szektorhossz, m2:	0,6	1,2	1,8	2,4	3	
- Lángfelszín:	0,19	0,76	1,72	3,06	4,77	
Q aluminiumnál, kJ/h:	1272	34535	114894	190481	280374	
Q fényes acél, réz kJ/h:	2290	62162	206809	342866	504673	
Q revés acélnál, kJ/h	4326	117418	390640	647636	953271	40
I40 adatai "Hővasra l.xlsl"-ben						
Acélöntecsek izzítása	1250 fok	hengерlési hőmérsékletre.				
Betéthőm, 1772K-nál	Acél, C:	Acél,K:	Alu			
1. óra végén, C	374	647				45
2. óra végén, C:	682	955				
3.óra végén, C:	938	1211				
4. óra végén, C:	1112	1385				
5.óra végén, C:	1229	1502				
6.óra: hőkiegyenlítés, tüzelés 15%-ra csökkentve*.						50

2. lap. A program jobb oldala, (I3...N50)

9. A betét (kemencébe rakott anyag) hatását a hőcserére a betét hőmérsékletének, tömegének, hőcsere-felületének és hő-abszorpciós tényezőjének ismertetében

számíthatjuk. Ezeket az adatokat a (c27...c32) oszlopának megadásával vesszük figyelembe. A betét hőkapacitása a c34 cellába kerül.

10. A melegítési technológia megadja a betét véghőmérsékletét. (Ez lágy- és félkemény acélok kovácsolásánál és hengerlésénél 1250 °C.) A program a hőcserefelület, láng hőmérséklet és a betétdatok alapján óránként számolja a betét hőmérsékletének növekedését a Stefan-Boltzmann törvény alapján. Az eredményeket a (J45..J49) cellákban °C-ban, a (K45..K49) cellákban Kelvinben adja meg.
11. A hőátadás intenzitása 1200 K alatt alig változik, fölötté gyorsan csökken. A folyamatot figyelemmel kísérve megkapjuk azt az időtartamot, ami alatt a betét átlagos hőmérséklete eléri a technológiában előírt hőmérsékletet.
12. Mivel az acél felülete melegebb, mint a belseje és a darabok elhelyezkedése is okozhat különbségeket, a hengerlési hőmérséklet alatt 50-100 fokkal célszerű a bevitt tüzelőanyag térfogatáramának csökkentése. Ezt a kemence-automatika a betét felszínhőmérséklete alapján a beállítás szerint elvégzi.

2. A program használata.

A példaképpen csatolt programot mélykemencére és tolókemencékre készítettük, mert a mély és tolókemencékről korábbi TüKI áramlási térképek állnak rendelkezésre. A térképeket, melyek a láng formája és az áramlási sebességek mellett a kemencéknél felvett, tényleges hőmérlegeket is tartalmaznak, előnyösen lehet használni a számítási eredmények ellenőrzésénél, és a konvektív hőátadás számításánál. (Lésd a kemencetérhatása rész az NOc_3.3 program 3. lapján, [A program „Readme”je].

A számítási eredmények megkönnyítik a kemencék komplex munkájának átlátását és módot adnak a konstrukciók javítására azáltal, hogy a hatásfokot és más paramétereket befolyásoló tényezőket rangsorolják a kemence munkájára gyakorolt hatásuk alapján. A teljesség igénye nélkül néhány ilyen szempont:

- A láng hőmérséklet maximuma földgázlángnál a láng harmadik ötödében alakul ki. Ennek ok az, hogy az első ötödében a gázenergiának csak kis hányada szabadul fel, míg az ötödik ötödében már a láng hőtartalmának jelentős részét lesugározta. (J22:N22, c20:c24).
- A láng hőmérsékletek nagyságát a pirometrikus hatásfok nagysága jelentősen befolyásolja. Ha a pirometrikus hatásfokot (ami az égő recirkulációs hatékonyságától, vagyis a lángba beszívott hidegebb füstgáz térfogatának nagyságától függ, c12), pl 0,75-re csökkentjük, az izzítókemence adagtartama már annyira megnyúlik, hogy az a melegítést gazdaságtalanná teszi.
- Az égőnek fontos szerepe van a hőátadásban és a láng hőmérséklet maximum nagyságában. A lángkúp méreteinek, (c5:c6), változtatásával a program által számított láng-hőcsere felület széles határok között változhat, ami befolyásolja a láng hőmérsékletet és a lángsugárzást is. Ha az égő keverési sebessége nagyon gyors (impulzuségők), vagy nagyon lassú (FLOX), a sugárzásos hőátadás gázsugárzássá változik, amire már a módosított (Schack féle) sugárzási képlet, illetve a konvektív hőátadás szabályai lennének érvényesek. A konvektív hőátadási többletet úgy vettük figyelembe, hogy a lángkúpot szilárd testek tekintettük, és a Stefan-Boltzmann képlettel számoltunk.

- A program szerves kapcsolatban van a mellékelt **hőmérleg számítási** programmal. Abból nyerjük a kiinduló adatokat, (pl. a hőveszteségektől függő gázfogyasztást, adagidőt és a pirometrikus határfok alapértékét). Ezeket visszük be a program input celláiba. a SCIGSUG5 program használatánál.

A programokat a CD-ről kicsomagolás után mindig másoljuk át számítógépünkbe, mert csak úgy tudunk menteni és megnyitni általunk készített fájlokat!

Bár az SCIGSUG5 program önálló számítási rendszerként is használható, rendszerünkben az NOx_3.3. program segédprogramja. Az NOx_3.3 teszi lehetővé azt, hogy a kemence tervezésénél komplex vizsgálatot végezzünk, ami megadja a kemence környezetvédelmi tulajdonságait, az NOx és CO₂ emissziót is. Ennek a környezettudatos tervezésnél ma már alapvető fontosságot kell tulajdonítanunk és ezen adatoknak a kereskedelmi ajánlatokban és a tenderkiírásokban is szerepelniük kell.

Programunk a nagyhőmérsékletű folyamatok gyors és ipari pontosságú megismerését és az optimális tervezést teszi lehetővé.