

MISKOLCI EGYETEM

ANYAG- ÉS KOHÓMÉRNÖKI KAR
HŐENERGIAGAZDÁLKODÁSI INTÉZET
ENERGIAHASZNOSÍTÁSI TANSZÉK

NO_x EMISSZIÓ CSÖKKENTÉSE OSZTOTT TÜZELÉSSEL ACÉLIPARI IZZÍTÓKEMENCÉKNÉL

Doktori /Ph.D./ értekezés



készítette:

Németh Szabolcs
okl. kohómérnök

témavezető:

Dr. Palotás Árpád
egyetemi docens
a műszaki tudományok kandidátusa

Miskolc, 2001.

Summary

The technological furnaces of different high-temperature processes of steel industry are the greatest consumers of energy and the most significant air pollutant emitters. The NO_x emission of the steel-slab reheating furnaces of hot rolling mills is significant. Thus, the decreasing of the emission level that satisfies the – constantly strengthening – environmental requirements is among the major goals.

The dissertation gives a comprehensive overview of the international and the domestic publications of this field. The literature survey introduces the effects of nitrogen oxides on the human body and on our environment, the NO_x formation mechanisms in detail, the most significant parameters influencing the formation and destruction of NO_x in flame and in combustion chambers and the up-to-date NO_x decreasing technologies. Furthermore, it outlines the legal restrictions, the ratified international regulations and a prognosis of requirements for the next 5 to 10 years.

The experiments of this research project can be divided into two main steps: pilot scale and large-scale industrial investigations. The semi industrial measurements were implemented on a cylindrical test furnace of 25-50 kW provided by OTKA 7451 project.

The effects of staged fuel and combustion air supply (decelerated mixing and re/after burning) were examined. Extensive series of investigations have been carried out on the test furnace with a wide range of parameters, in case of natural gas and synthetic coke-oven gas firing alternatives, at the temperature and in the gas atmosphere of steel reheating furnaces.

On the basis of pilot scale investigations, on-site industrial measurements were designed and implemented on the pusher-type furnace (No. 2) of Dunaferri Steelworks Ltd., Hungary. The most promising parameter settings of the previous pilot scale investigations were applied for the large-scale equipment. The amount of injected fuel was divided between the primary (burner) and the secondary gas inlets so as to influence and examine the effects of different secondary gas amount and stoichiometry.

However, the total heat input of the furnace, and thus the heat input of the different zones were constantly changing and could not be influenced directly, as it is basically the function of the furnace output (indicated by the amount of re-heated steel slabs). The relative effects of different combustion zones and the continuous variation in furnace output were also taken into consideration.

The obtained results of the pilot scale and the large-scale industrial measurements were analyzed mathematically. The new scientific results of this research are determined in the form of theses and proposals for application of the examined method are also given.

Összefoglalás

A kohászatban a legnagyobb energiafogyasztók és egyben jelentős légekörszennyezők, a különböző magas hőmérsékletű technológiák kemencéi. Különösen jelentős az alakítástechnológiai fázis acélbuga izzító kemencéinek NO_x -emissziója, ezért annak csökkentése, – a mindenkorai környezetvédelmi elvárások betartása – kiemelt fontosságú feladat.

Doktori disszertációm irodalmi összefoglalása feldolgozza a terület széleskörű nemzetközi és hazai irodalmát. Ismerteti a nitrogénoxidok hatását az emberi szervezetre és a környezetre, majd részletesen tárgyalja azok képződési mechanizmusait, a képződést befolyásoló tényezőket, valamint a csökkentésükre kidolgozott eljárásokat. Külön ismerteti a nitrogénoxid kibocsátás jogi szabályozását, a hatályos nemzetközi szerződéseket és megállapodásokat, továbbá az elkövetkező 5-10 évben prognosztizálható elvárásokat.

Kutatómunkám során elvégzett kísérletek két nagy csoportba oszthatók: félüzemi, (laboratóriumi) és valós üzemi berendezésen végrehajtott vizsgálatokra. Félüzemi vizsgálataimat az OTKA 7451 kutatás keretében épített 25-50 kW hőteljesítményű hengersizmetrikus kísérleti kemencén végeztem.

Széleskörű, földgázzal- és szintetikus kamragázzal folytatott félüzemi mérések során, kísérleti úton vizsgáltam az osztott tüzelőanyag és égési levegő bevezetéssel elérhető NO_x -emisszió csökkentés mértékét, acélipari izzítókemencék technológia hőmérsékletén és kemence atmoszféráján.

A félüzemi (laboratóriumi) mérések alatt meghatározott optimális paraméterek alapján valós ipari berendezésen, a Dunaferri Acélművek (DV. II. sz.) meleghengerműi tolókemencéjén is vizsgáltam, az osztott tüzelőanyag bevezetéssel elérhető NO_x -kibocsátás csökkentést. Mivel a termelő berendezés hőteljesítménye folyamatosan és jelentősen változott, így lehetőségem adódott a kemence, illetve a tűztérzónák változó hőteljesítmény melletti NO_x -kibocsátás vizsgálatára is. A kamragáz tüzelésű tolókemencén végrehajtott kísérletek előzmény nélküliek, ezért különösen értékes eredményeket jelentenek.

A félüzemi és az ipari berendezésen végrehajtott kísérletek eredményeit korszerű matematikai módszerekkel dolgoztam fel. A vizsgálatokkal nyert új tudományos eredményeket tézisek formájában foglaltam össze, továbbá javaslatokat tettem az eredmények hasznosítására.

TARTALOMJEGYZÉK

Summary

Összefoglalás

1.0	Bevezetés	1
2.0	A kutatómunka előzményei, tudományos és ipari háttere, a kutatómunka célkitűzései	3
3.0	A kutatási téma nemzetközi és hazai irodalmának áttekintése	7
3.1	Nitrogénoxidok	7
3.1.1	Nitrogénoxidok káros hatása az emberi szervezetre	8
3.1.2	Nitrogénoxidok hatása a környezetre	10
3.2	Nitrogénoxidok képződése	12
3.2.1	A termikus (thermo) NO képződése	12
3.2.2	A gyors (prompt) NO képződése	16
3.2.3	Az N ₂ O mechanizmuson keresztüli NO -képződés	17
3.2.4	A tüzelőanyag NO képződése	18
3.3	A nitrogénoxid képződést befolyásoló tényezők	19
3.4	A nitrogénoxid képződés csökkentése	20
3.4.1.	Nitrogénoxid képződés csökkentése primer eljárásokkal	20
3.4.1.1	Szakaszos tüzelés	21
3.4.1.2	Füstgáz visszavezetése az égési folyamatba	22
3.4.1.3	H ₂ O adagolása az égési folyamatba	22
3.4.1.4	Katalitikus égetés	23
3.4.1.5	Kombinált eljárások	23
3.4.2	Nitrogénoxid emisszió csökkentése szekunder eljárásokkal	23

3.5	A 90-es évek acélipari toló- és léptetőgerendás kemencéinek tüzelő berendezései	24
3.6	A nitrogénoxid emisszió jogi szabályozása	26
3.6.1	Nemzetközi egyezmények áttekintése	26
3.6.2	Acélipari és erőműi tüzelőberendezésekkel szemben támasztott követelmények	28
4.0	A kutatási téma tárgya, vizsgált és befolyásolt jellemzők, kísérleti mérésekkel nyert eredmények ismertetése	32
4.1	A tolókemence technológiája	32
4.2	Vizsgált és befolyásolt jellemzők	37
4.3	A félüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok ismertetése	41
4.3.1	A kísérleti berendezés ismertetése	42
4.3.1.1	A félüzemi kísérleti kemence kialakítása	42
4.3.1.2	A kemence szabályozása, mérő és adatgyűjtő rendszere	42
4.3.2	Az alkalmazott NO _x -emisszió csökkentő eljárás ism.	46
4.3.3	Földgázüzemű mérések	46
4.3.3.1	Állandó hőterhelés melletti vizsgálatok	47
4.3.3.2	Növelt hőterhelés melletti vizsgálatok	47
4.3.4	Szintetikus kamragázüzemű mérések	49
4.3.5	A vizsgált módszer NO _x -emisszió csökkentő hatása	51
4.3.5.1	A "primer" zóna befolyása az eljárásra	51
4.3.5.2	A "újraégető" szekunder zóna befolyása az elj.	51
4.3.5.3	A "kiégető" terciér zóna befolyása az eljárásra	52
4.3.6	A félüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok eredményei	53

4.4	Üzemi vizsgálatok ismertetése	56
4.4.1	Az üzemi vizsgálatok módszere	56
4.4.2	Az üzemi vizsgálatok eredményei	58
4.5	Az üzemi és a félüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok eredményeinek kiértékelése	62
5.0	Összefoglalás	69
	A vizsgálatokkal nyert tudományos eredmények összefoglalása	71
	A tudományos eredmények hasznosíthatósága	75
	Publikációim	76
	Köszönetnyilvánítás	
	Irodalomjegyzék	
	Mellékletek	

1.0 Bevezetés

Az a tény, hogy az ipar, a termelő tevékenység nem hagyja érintetlenül a természetet, már hosszú ideje ismert. A társadalom –és benne az ember–tevékenységének környezetkárosító hatásai már történelmi időkre nyúlnak vissza.

Ez a környezetkárosító hatás az idők folyamán egyre fokozódott. A középkor és az újkor leginkább az erdőt sújtó "rablógazdálkodása", amit az üveggyárak, a hajóépítés igényelt, még elenyésző mértékű volt a XX. század ártalmaihoz képest.

A múlt században jelentősen felgyorsult a folyó- és talajvízszennyezés. Fokozódott a levegő por és füstgázzszennyezése, valamint az ebből fakadó hőszennyezés és a szorosan hozzá kapcsolódó üvegházhatás. A levegőszennyezésért elsősorban a villamos energiatermelést, a vegyipart, és a kohászatot tesszük felelőssé, holott a lakossági, a kommunális eredetű, a közlekedésből fakadó szennyeződések napjainkban már több szempontból jelentősebbek és globális problémát jelentenek.

A XX. század második felében a "hidegháború évtizedei" során – hazánkban és sok más országban – a gazdasági növekedés minden áron történő kikényszerítése elterelte a figyelmet a sokszor értelmetlen beruházásokról és a nagymérvű környezetrombolásról.

A környezetszennyezés azonban nem szükségszerű velejárója a fejlődésnek, a környezetvédelem műszaki, orvosi, biológiai problémái megoldhatóak vagy jelentősen mérsékelhetőek. Nehezebb a helyzet gazdasági téren, mivel a környezetet károsító eljárások általában olcsóbbak, illetve a környezetvédelem a korszerűbb technológiák igen drágák. Továbbá számos tennivaló akad az emberi gondolkodás és viselkedés terén is.

Az 1960-as évektől, de igazából inkább csak az utóbbi két évtizedben a növekvő nemzetközi elvárások, valamint a szigorodó jogi szabályozás "kikövetelte" a környezetkímélőbb technológiák kifejlesztését, és azok széleskörű alkalmazását az alapanyagtermelő-, a feldolgozóipar és természetesen az emberi tevékenység más területein is. Ez fokozatosan a környezet ökológiai helyzetének "szemmel látható" javulását eredményezte a leginkább iparosodott és gazdaságilag legfejlettebb országokban, régiókban.

Az 1992-es Rio de Janeiro -i majd a 97-es Kyoto -i Klímaváltozási Konferencia óta új környezetvédelmi felfogás jelent meg a nemzetközi életben: ez a "fenntartható fejlődés" azaz a "fenntartható társadalom" fogalma.

A fenntartható fejlődés biztosítása a fejlett világ kormányzatainak és nemzetközi szervezeteinek egyre jobban hangsúlyozott célja. Különösen igaz

ez az Európai Unióra, mely jelentős figyelmet fordít tagországi és leendő tagországainak környezetvédelmére, környezet-gazdálkodására.

A fenntarthatóságot sokféleképpen lehet definiálni. A legegyszerűbb meghatározás szerint: fenntarthatónak azt a társadalmat nevezzük, amely úgy elégíti ki jelenbeli szükségleteit, hogy közben a jövő generációt nem teszi képtelenné a saját szükségleteinek kielégítésére. Ezen alapelv tartalmazza azt a felismerést is, hogy a környezeti problémák nem kezelhetők elszigetelten a gazdasági és társadalmi fejlődéstől. Ezért holisztikus megközelítésre van szükség. Az új évezredben már tarthatatlan az a régi fejlődésfelfogás, mely szerint előbb kell elérni a gazdasági jólétet és utána orvosolni az ökológiai problémákat. Az új gondolkodásmód az ökológiai, és gazdasági érdekek integrációját követeli meg.

A fenntarthatóság érdekében a társadalom anyag- és energiatermelésének meg kell felelnie az alábbi feltételeknek:

- A megújuló erőforrások felhasználási üteme nem haladja meg azok regenerálódási ütemét
- A nem megújuló erőforrások felhasználási üteme nem haladhatja meg a fenntartható megújuló helyettesíthetők kifejlesztésének ütemét.
- Az emberi beavatkozás időtényezőjének egyensúlyba kell lennie a természeti folyamatok időtényezőjével; a hulladékok lebomlásával vagy a megújuló erőforrások és ökoszisztémák regenerációs ütemével.
- A szennyezőanyag kibocsátás üteme nem haladhatja meg a környezet asszimilatív kapacitását.

Természetesen ezen elvárások teljesítése nem könnyű feladat. A környezetvédelem és a folyamatosan szigorodó határértékeknek való megfelelés fontos verseny szempont a fejlett piacgazdaságú országokban.

Az elmúlt évtizedben a hazai acéliparban végrehajtott fejlesztések, jelentős korszerűsítések célja is a kor színvonalának megfelelő anyag-, energia- és környezetgazdálkodás, mely nélkül nincs versenyképes acélipar.

Az integrált acélművek környezetterhelése jelentős, a káros anyagok kibocsátásának minimalizálása kiemelt fontosságú feladat. Az alakítástechnológiai fázison belül az acélizzító technológiák (kemencék) a legjelentősebb NO_x kibocsátók. Ezért ezen technológiák NO_x kibocsátásának csökkentése érdekében tett erőfeszítések kulcs fontosságúak.

2.0 A kutatómunka előzményei, tudományos és ipari háttere, a kutatómunka célkitűzései

Gáznemű tüzelőanyagok égése során az égésnél keletkező nitrogénoxidok az egyik legjelentősebb gáznemű légekörszennyezők, jelentőségük egyre nő a gáztüzelés arányának növekedésével a fejlett ipari országokban és hazánkban egyaránt.

Az égési folyamatok és a tüzelőberendezések vizsgálata során a "klasszikus" célok: az alkalmazott technológiának megfelelő hőigény biztosítása, a termelő kapacitás növelése, a jobb energetikai hatásfok biztosítása mellett, egyre jelentősebb szerepet kapnak a környezetvédelmi elvárások, gáznemű tüzelőanyagok alkalmazása esetén a nitrogénoxid kibocsátás csökkentése.

Igaz, hogy a közlekedés és a kommunális tüzelőberendezésekből, valamint a fosszilis és gáz tüzelésű erőművekből származik ma a NO_x -emisszió jelentős része, de ugyanakkor más jelentős emissziójú tüzelőberendezések kibocsátásának és az alkalmazott technológiához mért optimális üzemi paramétereinek biztosítása ugyancsak fontos feladat.

Az acélipari bramma izzító toló- és léptetőgerendás kemencék folyamatos állandó üzemben működnek, ezért pontforrásként állandó terhelést jelentenek környezetükre. Az egyre szigorodó levegőtisztaságvédelmi előírások határértékeinek megfelelni csakis tudatos mérnöki munkával, előrelátó, a kor igényeinek megfelelő, szisztematikus fejlesztésekkel, korszerűsítésekkel lehet.

Kutatómunkám során módomban nyílt a Dunaferri Acélművek Kft. Meleghengerművében üzemelő DV II. sz. tolókemencén az elmúlt öt év során végrehajtott fejlesztéseket nyomon követnem. A „ NO_x képződés vizsgálata acélizzító tolókemencében” c. diplomamunkámat is e témában írtam 1995-ben.

Doktoranduszi tanulmányaim során (1995-1998) lehetőségem adódott 1997-ben az ÖAD-tól (Österreichischen Akademischen Austauschdienst) elnyert kutatómérnöki ösztöndíjjal a Grazi Műszaki Egyetem Eljárastechnológiai Intézetében hasonló témában dolgoznom. Kutatási témám tüzterek áramlási- és sebességi viszonyainak valamint károsanyag kibocsátásának vizsgálata volt. Számos félüzemi (labor) kísérletben, és üzemi mérésben vettem részt, kutatási eredményeimet publikáltam.

Külföldi kutatómunkám során módomban nyílt erőműi kazánok tüzelő- és égető berendezéseinek, valamint üzemi paramétereinek jobb megismerésére, elméleti és gyakorlati tapasztalataim bővítésére. Munkám során a 90-es évek legkorszerűbb tüzelésvezérlő-, füstgázelemző- és mérési adatgyűjtő rendszereit ismerhettem meg. A rendelkezésre álló időben törekedtem elméleti

ismereteim bővítésére, valamint tüzelési folyamatokat modellező szimulációs szoftverek megismerésére is.

Munkahelyemen, a Magyar Vas- és Acélipari Egyesülésnél, sikerült további értékes nemzetközi és hazai adatokat is összegyűjteni acélipari bramma izzító kemencékről, azok technológiai, működési paramétereiről, továbbá több hazánkban működő toló- és léptetőgerendás kemencét, az ott végrehajtott fejlesztéseket és NO_x -kibocsátást csökkentő eljárásokat közelebbről megismernem.

Tudományos témavezetőmtől és a Miskolci Egyetem Hőenergiagazdálkodási Intézet Tüzeléstani Tsz. oktatóitól, valamint a Dunaferri Energiaszolgáltató Kft. és a Dunaferri Acélművek Kft. munkatársaitól kapott segítséggel és lehetőséggel élve, kidolgoztam egy vizsgálati és mérési sorozatot – a DV II. sz. tolókemence technológiai paramétereinek, valamint a kemence tüzelésvezérlő rendszere és a kemence égőin végrehajtott korszerűsítések, átépítések adta lehetőségek figyelembevételével, – az NO_x -kibocsátás csökkentésre.

A DV II. sz. tolókemencén az 1999 július – augusztusában végrehajtott átépítések után nyílt mód primer NO_x -emissziót csökkentő eljárás gyakorlati alkalmazására. Az üzemi vizsgálatok előkészítése céljából elővizsgálatokat folytattam a Tüzeléstani Tanszéken az MTA Nagyhőmérsékletű Folyamatok Kutatócsoport Laboratóriumában félüzemi berendezésen, ahol több primer NO_x -kibocsátást csökkentő eljárást vizsgáltam meg kísérleti úton.

Előzetes vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy a primer NO_x -emissziót csökkentő eljárások közül, a szakaszos tüzeléssel elérhető NO_x -kibocsátás csökkentés bizonyult a legígéretesebbnek. Annak is egy speciális esetét, a tüzelőanyag és az égési levegő több fokozatban történő elégetését választottam kísérleteim alapjául.

A többfokozatú tüzelőanyag és égési levegő bevezetés, az újraégető eljárás különböző eseteit alkalmazzák ipari kazánok, kerámiaipari alagútkemencék, és szemétegető berendezéseknél. Irodalmi kutatásaim alapján azonban nem találtam példát ezen eljárás acélipari tolókemencéknél történő alkalmazásra. A végrehajtott kísérleti méréseink újszerű és egyedi vizsgálatoknak bizonyultak.

Vizsgálataim során a DV II. sz. tolókemencénél alkalmazott technológiai paraméterek (munkatér-hőmérséklet, kemenceatmoszféra stb.) mellett vizsgáltam a szakaszos tüzeléssel elérhető NO_x -emisszió csökkenést.

Bár az alkalmazott technológiai paraméterek szigorúak, de mód van a kemencetér-hőmérséklet szűk tartományban történő változtatására, így a hőmérséklet hatásának vizsgálatára is. A kemencetűztér különböző zónáiban

eltérő technológiai hőmérséklettel üzemelnek, és ezen szűk tartományon belül a hevítési technológia is változtatható.

Vizsgáltam a kemence hőteljesítményének, (a bevitt tüzelőanyag mennyiségének) és a tüzelőanyag megosztásának, több fokozatban történő bevezetésének hatását. A kemencetér egyes zónáiban, szakaszos tüzeléssel megosztható a bejuttatott gázmennyiség, primer és szekunder bevitellel. A kemence hőteljesítménye a technológia által igényelt kapacitásától, –az áttolt izzítandó buga mennyiségétől– függ elsősorban, így magát a bevitt hőmennyiséget csak közvetlenül, de annak arányát, megosztását közvetve is befolyásolhattam, vizsgálhattam.

Vizsgáltam a levegőtényező – a kemenceatmoszféra oxigén koncentrációjának – hatását is. Laboratóriumi méréseim során szélesebb tartományon dolgozhattam, üzemi vizsgálataim során is mód volt az egyes zónákban, ill. az egyes zónák közötti levegőtényező megváltoztatására, de a tolókemence (összegzett) levegőtényezőjét az alkalmazott hevítési technológiának megfelelően csak szűk tartományon belül változtathattam.

A vizsgált paraméterek között nem szerepelt a kemence acélizzító, kapacitásának vizsgálata. Ennek két fő oka van: viszonylag rövid időtartamú üzemi kísérleteim alapján nagy merészség lenne általánosító következtetéseket megállapítani az átizzított fajlagos acélmennyiségre vonatkozóan, ehhez további részletesebb vizsgálatok, nagyobb mennyiségű adat szükséges. A másik fontos érv, hogy a bevitt hőteljesítmény –melynek hatását vizsgáltam– szoros kapcsolatban áll az átizzított acél mennyiségével, természetesen ez alól kivételt jelentenek a "holtidők", hőtartó időszakok, amikor az előnyújtó, vagy melegsor üzemzavar miatt nem tud hevített bugát fogadni a tolókemencétől. Ilyenkor az üzemzavar elhárításáig a kemence hőteljesítményét visszafogják, a kemencetérben lévő bugákat hőtartják.

Vizsgálataim nem terjedtek ki a tüztérben lejátszódó égési reakciók, valamint az NO_x-képződés részletes kinetikai, egyensúlyi viszonyainak vizsgálatára sem. Ugyanis a NO_x-emisszió több NO_x-képződési mechanizmus együttes eredménye, a különböző mechanizmusok részesedése a képződött NO_x mennyiségében csak közelítőleg becsülhető, de nagy pontossággal nem adható meg. Ráadásul a bonyolult kemenceüzem során a tüzelésvezérlő rendszer, szinte folyamatosan beavatkozik az égők üzemébe, ezért ha minimálisan is, de folyamatosan változnak az égési folyamatok és ezáltal a kinetikai és egyensúlyi viszonyok is.

A kemence égőin és tüzelőrendszerén végrehajtott fejlesztések elsődleges célja korábban, a tüzelőanyag fajlagos felhasználásának csökkentése, és az acélbuga izzító kapacitás növelése volt. Ezen változtatások azonban az esetek többségében kedvezőtlenül befolyásolták a kemencében képződő NO_x

mennyiségét, ezért szükséges NO_x -kibocsátást csökkentő eljárások bevezetése is.

Végül az esetleges félreértések elkerülése érdekében ezúton is kijelentem, hogy a DV. II. sz. tolokemencén végrehajtott fejlesztésekben, az égőkön kivitelezett átépítésekben, korszerűsítésekben nem vettem részt. Munkám kizárólag a vizsgálati elv kidolgozására, a kísérleti mérések megtervezésére és lefolytatására korlátozódott.

3.0 A kutatási téma nemzetközi és hazai irodalmának áttekintése

Gáznemű tüzelőanyagok égési-, tüzelési folyamatainak vizsgálatára irányuló kísérletek, kutatómunkák jelentős része foglalkozik az égés során képződő nitrogénoxidok problematikájával. Az égés és tüzelési folyamatokkal foglalkozó tudomány-területek, valamint a gyakorlati égő- és tüzelő berendezéseket fejlesztő mérnöki munkák során talán az utóbbi évtizedek egyik "legdivatosabb" kutatási, vizsgálati területét a tüzelés folyamán képződő nitrogénoxidok csökkentése irányuló törekvések jelentik.

Az informatika és az ehhez szorosan kapcsolódó mérés-technikai, az elemző, mérő- és adatgyűjtő rendszerek rohamos fejlődésének köszönhetően mód van mélyebb, komolyabb vizsgálatokra, a számítástechnika háttér adta lehetőségekkel kivitelezhető jelentős adatmennyiségre épülő elemző és szimulációs számítások elvégzésére.

Az utóbbi évtized publikációit értékelve megállapítható az, hogy egyre több kutatóhely foglalkozik Európában és természetesen a tengeren túli országokban is a nitrogénoxidok képződésének, ill. csökkentésének vizsgálatával. Jelentősen bővült a gyakorlati üzemi problémák és azok megoldási lehetőségeit tárgyaló mérnöki kísérleti és fejlesztő munkák eredményeinek publikálása is.

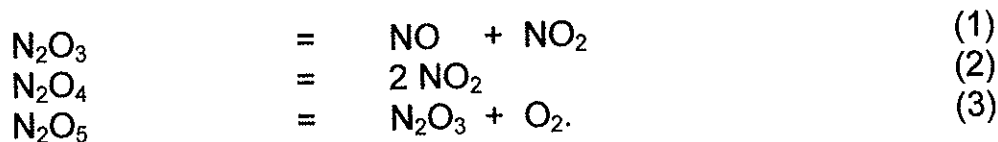
Irodalomkutatásaink során nem ritka az sem, ha a kutatók publikációiban, a probléma megközelítésében, megoldásában és a levont következtetéseiben számottevő különbséget találunk. Ez is arra utal, hogy a nitrogénoxidok csökkentésére irányuló kutató és fejlesztő munka további számos kihívást rejt magában és ezen kérdések teljes körűen még közel sem megoldottak.

3.1 Nitrogénoxidok

Tüzeléskor a levegőbe jutó káros anyagok egyik legfontosabb csoportját alkotják a különböző nitrogénoxidok. A nitrogén és az oxigén hatféle oxigénvegyületet képezhet egymással az alábbiak szerint [1, 2]:

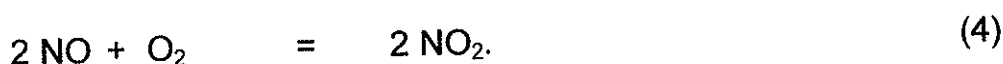
nitrogén-monoxid	NO
nitrogén-dioxid	NO ₂
dinitrogén-oxid	N ₂ O
dinitrogén-trioxid	N ₂ O ₃
dinitrogén-tetraoxid	N ₂ O ₄
dinitrogén-pentaoxid	N ₂ O ₅ .

Környezeti hőmérsékleten és alacsony parciális nyomás mellett a N_2O_3 ; N_2O_4 ; N_2O_5 a levegőben elbomlik a következő reakciók szerint:

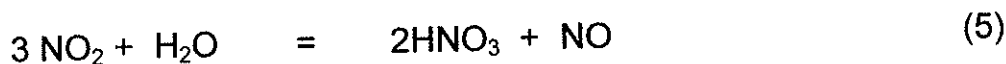


A levegőben szennyezőként nagyrészt NO és jóval kisebb mennyiségben NO_2 keveréke található, amelyek együttes mennyiségét a továbbiakban NO_x -szel jelöljük. A tüzelőberendezésekben elsősorban NO képződik, a NO_2 részaránya a NO_x -en belül kevesebb, mint 10%. A tüzelőberendezés emissziójaként NO_x -et szokás megadni, tudomásul véve, hogy a $(NO + NO_2)$ összes molekulák mennyisége állandó, míg a NO / NO_2 részaránya változhat.

A NO vízben kevésé oldódó, igen reakcióképes gáz. A levegő oxigénjével már szobahőmérsékleten reagál:



Ez a reakció a füstgázok hűlése folyamán $650\text{ }^\circ\text{C}$ alatt és kb. $200\text{ }^\circ\text{C}$ -on szinte teljesen lejátszódik [3]. A NO oxigénhez való nagy affinitása az oka, hogy légköri viszonyok között NO és NO_2 keveréke mérhető. A NO_2 vízben könnyen oldódik:



$200\text{ }^\circ\text{C}$ felett NO-ra és O_2 -re disszociál (4).

3.1.1 Nitrogénoxidok káros hatása az emberi szervezetre

A NO_x hatásának vizsgálata nehéz feladat, az ezzel foglalkozó szakemberek számos állatkísérletet végeztek, és a kapott eredményeiket publikálták. A kísérletek eredményei szerint már a $0,52\text{ mg/m}^3$ NO_2 -tartalmú levegő légzőszervi megbetegedést, elváltozást okozott. További gondot jelent az is, hogy a NO_x hatása fajonként eltérő.

Embereken történő vizsgálatoknál a NO_x hatásának megfigyelésére sajnos "jó lehetőség" kínálkozik baleseteknél. A balesetek közül máig is a legemlékezetesebb a clevelandi klinika tüze 1929-ben, amikor a röntgenfilmek égése közben keletkező nitrogén-dioxid 97 ember halálát okozta 2 órán belül, és 26 további halálesetet egy hónap múlva. A halált okozó NO_2 koncentráció valószínűleg 200 és 300 mg/m^3 között van.

A heveny mérgezés főbb tünetei a következők: nyálkahártyák helyi izgalmi tünetei, kaparó érzés a torokban, esetleg hányás, köhögésinger, fejfájás, szédülés. A tünetek 1-2 órán belül lezajlanak, majd 3-10 óráig, ritkábban 24-30 óráig tartó tünetmentes időszak következik. A második szakasz általában hirtelen, igen erős köhögési ingerrel kezdődik, amelyet félelem és fulladásérzet kísér. A légszomj óráról órára fokozódik, kifejlődik a tüdőviznyő jellegzetes képe, amelyet másodlagos tüdőgyulladás követ. A súlyos tünetek orvosi beavatkozás nélkül, vagy nem szakszerű beavatkozás esetén halálhoz vezethetnek. A baleseti eredményeket értékelve a NO₂ károsító hatására az 1. táblázatban feltüntetett tüneteket és a hozzá tartozó NO₂ koncentráció értékét adja meg [4].

1. táblázat. A NO₂ károsító hatása

NO ₂ koncentráció (ppm)	A tünet	A tünet jelentkezési ideje
500	Akut tüdőödéma	48 órán belül
300	Hörgőgyulladás, halálos	2-10 nap
150	Hörgőágak hegedése, halálos	3-5 hét
50	Hörgőág helyi gyulladása, megbetegedés	6-8 hét
25	Bronchitis, tüdőgyulladás	6-8 hét

Összefoglalva megállapítható, hogy a NO₂-nak az emberi szervezetre gyakorolt hatását öt fokozatban lehet meghatározni:

- heveny mérgezés;
- megromlott, károsodott tüdőfunkció;
- a tüdő szerkezeti és biológiai változásai;
- fertőzés és szintetikus hatással szembeni érzékenységnövekedés;
- nincs semmiféle károsodás.

Az ENSZ Egészségügyi Világszervezete (WHO) [5] ajánlása alapján a következő károsodási szinteket határozza meg: 0,5 ppm NO₂ (1 mg/m³) a legalacsonyabb koncentráció, amely károsodást nem okoz. Figyelembe véve az egyes emberi szervezetek és érzékenységek közti különbséget, az egy órai maximálisan megengedhető NO₂ -koncentráció értéke 0,1-0,17 ppm (0,2-0,3 mg/m³) lehet. A levegőben ilyen NO₂ -tartalom azonban csak havonta

legfeljebb egyszer fordulhat elő. A NO₂ -koncentráció különböző értékeit a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A NO₂ küszöbértékei

NO ₂ koncentráció (ppm)	Szimpptomák
400	Azonnali halál
150	Haláleset bronchiolitis miatt
50	Reverzibilis bronchiolitis
10	A szagérzékelés romlása
5	A vér és a tüdő közötti gázáramlás romlása
2,5	Növekvő légúti ellenállás felnőtteknél
1,0	Növekvő légúti ellenállás bronchitiszes betegeknél
0,5	Károsodási küszöb
0,17	WHO által javasolt, megengedhető max. NO ₂ tart.
0,12	Szagküszöb
0,074	Színváltozási küszöb

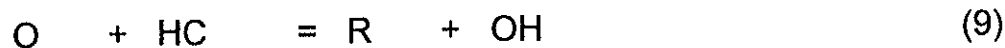
3.1.2 Nitrogénoxidok hatása a környezetre

A nitrogénoxidok jelentősen hozzájárulnak a savas esők kialakulásához. A légkörben található egyéb szennyezőanyagokkal könnyen reakcióba lépnek az alábbiak szerint [6].

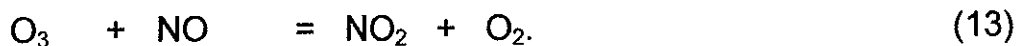
Fotókémiai reakció:



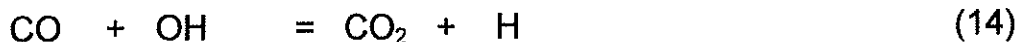
NO oxidációja NO₂ -dá szénhidrogének közvetítésével:



Ózon bontása:



CO oxidációja:



A kémiai jelek magyarázata:

h_ν –foton; M –gázmolekula; R –alkil-, ill arilgyök; RO_2 –peroxidgyök;
RO –aloxilgyök

Az erdők károsodásában jelentős szerepet játszik a légtér ózontartalmának megváltozása. A NO_x önmagában jelentéktelen ózonkoncentráció változást okoz, szénhidrogének jelenlétében azonban az ózonképződés erősen növekszik.

Meleg napsütéses időben a légkörben lejátszódó reakciók járulnak hozzá az ún. oxidáló szmog létrejöttéhez, amelynek előfeltétele olyan hőmérsékleti rétegződés kialakulása, amely hosszabb időn keresztül kedvezőtlen hígulási viszonyokat okoz. A feldúsult szennyezőanyagok reakcióba lépnek egymással, melyhez a szükséges energiát legtöbbször a napsugárzás biztosítja. A fő reakcióközvetítő az atomos oxigén, amely az ózomból származik. Az ózon tehát fontos szerepet játszik a láncreakciók kialakulásában [7, 8].

A nitrogénoxidok a többi savképző szennyeződéssel (SO_2 ; Cl_2 ; stb.) a légkör víztartalmához kapcsolódva savas kémhatású oldatokat alkotnak, és ezek a fémek felületén elektrokémiai folyamatokat, korróziót indítanak el. A savas bevonatok az építőanyagok kalcium-karbonátjával reakcióba lépnek, oldják azt. Műszaki károk keletkeznek ipari gépekben, berendezésekben, gépjárművekben, lakó- és középületekben, utakban, hidakban, távvezetékeknél csapadék esetén kúszóáram veszteség stb.

A gazdasági károk elsősorban a műszaki és mezőgazdasági károkból tevődnek össze. Természetesen a levegőszennyezés egészségügyi hatásai is anyagi következményekkel járnak. Pótolhatatlanok a műemlékekben és az élővilágban jelentkező maradandó károsodások, amelyek anyagiakban alig fejezhetőek ki.

3.2 Nitrogénoxidok képződése

Ahhoz, hogy a NO_x -emisszió csökkentésével eredményesen foglalkozni tudjunk, ismerni kell a NO_x képződés folyamatát. A NO_x keletkezésének vizsgálata éppen ezért arra kell, hogy választ adjon, milyen paraméterek befolyásolják, és határozzák meg a NO_x kialakulását. Ezen fejezet csak a tüzelés során keletkezett NO_x képződésével foglalkozik, eltekint az egyéb technológiák (vegyipar salétromsavgyártás, belsőégésű motorok üzeme stb.) során képződő NO_x -emisszió vizsgálatától.

Már több mint 100 éve ismert, hogy égéskor NO_x keletkezik. A jelenségre éppen egy magyar tudós, Ilosvay Lajos [9] hívta fel a figyelmet, és 1887-ben a Magyar Tudományos Akadémián székfoglalóját is e témából tartotta. Ő dolgozta ki a keletkezett NO_x kimutatására alkalmas analitikai eljárást, és a használt reagenst még ma is "Ilosvay" reagensnek nevezik az egész világon.

Az NO képződés szempontjából két alapvető nitrogénforrást különböztetünk meg [1]:

1. Az égési levegő vagy a tüzelőanyag molekuláris nitrogéntartalma.
2. Nitrogéntartalmú szerves vegyületek, ún. NX típusú nitrogénvegyületek (ahol X jelenthet pl. kARBONT, vagy hidrogént). Ilyen vegyületekkel találkozhatunk pl. szeneknél, fűtőolajoknál – vagy egyéb más hulladék – gázoknál; földgáz tüzelés esetén NX alkotókkal nem kell számolnunk.)

Ezen nitrogénforrásokból, az égés folyamán, jelen ismereteink szerint négy különböző NO képződési mechanizmust különböztethetünk meg [8]. Ezek a termikus (thermo) NO , a gyors (prompt) NO , az N_2O mechanizmuson keresztül képződő, illetve a tüzelőanyag NO .

3.2.1 A termikus (thermo) NO -képződése

A termikus (thermo) NO –mint a neve is utal rá– azt jelenti, hogy magas hőmérsékleten a tüzelési folyamat során a levegő nitrogén- és oxigéntartalma reagál egymással, és NO keletkezik. Az NO képződés ezen mechanizmusának alapreakciót és ezzel kinetikai alapjait Y. B. Zeldovich és P. Y. Sadovnikov vizsgálták. Sadovnikov halála után Zeldovich folytatta a munkát, majd 1946-ban publikálta eredményeiket [10, 11]. Az ukrán tudós nemzetközi elismerést szerzett magának, munkásságának elismeréseként az NO képződés ezen mechanizmusát Zeldovich NO -nak is nevezzük.

A termikus NO keletkezésének alapreakciói a Zeldovich mechanizmus szerint (17-18):



$$k_1 = 1.8 \cdot 10^{12} \exp(-319 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}/RT) \quad \text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$



$$k_2 = 6.4 \cdot 10^9 \exp(-26 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}/RT) \quad \text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

Mivel az "eredeti" Zeldovich reakciókra alapozva, a képződött NO mennyisége számos esetben jelentősen alulbecsült, ezért a Zeldovich mechanizmust a (19) reakcióval kibővítve kapjuk a tudományos közvélemény által jelenleg elfogadott termikus úton képződő NO mechanizmus reakcióit [12].



A kibővített Zeldovich mechanizmus már figyelembe veszi a hődisszociációs elmélet mellett a hidrogén gyökök jelentős szerepét az NO képződésben. Meg kell jegyezni azt a tényt is, hogy számos kutató megkérdőjelezi a thermo mechanizmuson keresztüli NO képződés uralkodó jellegét földgáz tüzelés esetén [13, 14].

Ha a (17-19) reakciókat reverzibilis folyamatként vesszük figyelembe, úgy a képződő NO mennyisége az alábbi kinetikai egyenlettel írható le [15]:

$$\frac{d[\text{NO}]}{dt} = 2[\text{O}] \left\{ \frac{k_1[\text{N}_2] - \frac{k_{-1}k_{-2}[\text{NO}]^2}{k_2[\text{O}_2]}}{1 + \frac{k_{-1}[\text{NO}]}{k_2[\text{O}_2] + k_3[\text{OH}]}} \right\} \quad (20)$$

A NO és az OH kezdeti koncentrációja azonban alacsony, továbbá a tűzterekben való tartózkodási idő rendkívül rövid, így nem alakulhat ki az egyensúlyi koncentráció. Ezért a folyamat reakcióit csak a NO -képződés irányában vesszük figyelembe, így a (17-19) reakcióknak megfelelően a termikus NO képződésére jellemző (egyszerűsített) kinetikai egyenlet [16, 17, 18]:

$$\frac{d[NO]}{dt} = k_1[O][N_2] + k_2[N][O_2] + k_3[N][OH] \quad (21)$$

mivel:

$$\frac{d[N]}{dt} = k_1[O][N_2] - k_2[N][O_2] - k_3[N][OH]. \quad (22)$$

Az N_2 -molekulán belüli háromszoros kovalens kötés következtében a (17) reakció aktiválási energiája magas, ezért a reakció lefolyása csakis magas hőmérsékleten mehet végbe, (a reakció hőmérsékletfüggő) [19].

A (18, 19) reakciók gyors egymást követő reakciójának köszönhetően a $d[N]/dt=0$ a N -atomok nyugalmi állapotban vannak. Az egyenletek összegzéséből kapható az NO egyensúlyi koncentrációja:

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2k_1[O][N_2]. \quad (23)$$

A fenti reakciókból is egyértelműen látható, hogy az NO koncentráció minimalizálható a N_2 , O -koncentráció, a k_1 vagy a hőmérséklet csökkentésével.

A N_2 koncentrációt nagy pontossággal mérhetjük és meghatározhatjuk annak egyensúlyi koncentrációját a füstgázban. Az oxigén koncentrációjának meghatározása azonban már nehezebb feladat, természetesen itt is felírhatjuk és számolhatjuk az egyensúlyi koncentrációt, azonban gyakorlati esetekben ezzel számolva lényegesen alul becsülhetjük az O koncentráció tényleges mértékét. A valós értéket jobban megközelíthetjük parciális egyensúlyi koncentrációra alapozva:

$$[O] = \frac{k_{H_2O} \cdot k_{OH+H_2} \cdot [O_2][H_2]}{k_{OH+H} \cdot k_{H+H_2O} \cdot [H_2O]}. \quad (24)$$

Az O koncentrációját így a H_2O az O_2 és a H_2 koncentrációjából határozhatjuk meg. Ezen alkotók egyszerűbben mérhetők, pontos értékük is jobban megbecsülhető. A parciális egyensúlyi koncentráció azonban csak magas hőmérsékleten 1700 K felett áll fent.

Az egyenletekben szereplő jelölések:

[NO], [N ₂], [O ₂],	– moláris koncentrációk, mol·cm ⁻³ ;
k _i	– sebességi állandó, cm ³ ·mol ⁻¹ ·s ⁻¹ ;
t	– tartózkodási idő, s.

A kinetikai egyenletekben szereplő sebességi állandó értéke az Arrhenius egyenlet segítségével határozható meg:

$$k_i = A_i \cdot T^{n_i} \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right) \quad \text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}. \quad (25)$$

Az egyenletben szereplő jelölések:

k _i	– az i-edik reakció sebességi koefficiense, cm ³ ·mol ⁻¹ ·s ⁻¹ ;	
A _i	– a hőmérséklettől független faktor,	
N _i	– a reakció rendűsége,	
T	– hőmérséklet,	K;
E _i	– aktiválási energia,	kJ·mol ⁻¹ ;
R	– gázállandó,	kJ·mol ⁻¹ ·K ⁻¹ .

Az Arrhenius egyenlet különböző szerzőktől származó leggyakrabban használt jellemző paramétereit a 3. táblázat foglalja össze [20, 59].

3. táblázat. Az Arrhenius egyenlet jellemző paramétereit

Reakció	A _i	n _i	E _i /R
O + N ₂ = N + NO	1,8 10 ¹⁴	0	38 299
	1,8 10 ¹⁴	0	38369
N + NO = N ₂ + O	4,29 10 ²³	0	396
	3,30 10 ¹²	0,3	0
	1,60 10 ²³	0	0
N + O ₂ = NO + O	6,40 10 ⁹	1	3160
NO + O = N + O ₂	3,80 10 ⁹	1	20835
	1,60 10 ⁹	1	19500
N + OH = NO + H	3,80 10 ¹³	0	0
	2,50 10 ¹³	0	0
	4,70 10 ¹³	0	352
NO + H = N + OH	1,70 10 ¹⁴	0	24559
	1,34 10 ¹⁴	0	24740

A 3. táblázat alapján a k_i értéke a következő:

$$k_i = 1,8 \cdot 10^{14} \exp\left(\frac{-319}{RT}\right) \quad \text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}. \quad (26)$$

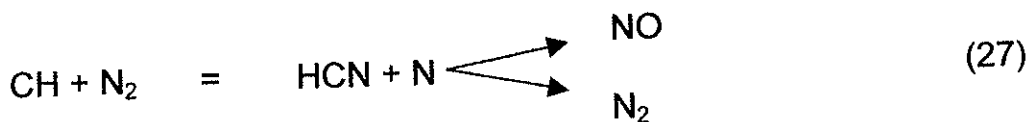
3.2.2 A gyors (prompt) NO -képződése

A prompt, azaz a "gyors" NO képződési mechanizmusát gyakran Fenimore NO-nak is nevezzük. Ugyanis Fenimore a 70-es években végrehajtott kísérletei során vizsgálta a szénhidrogénben, (tüzelőanyagban) dús lángokban az NO képződés mechanizmusát [20, 21].

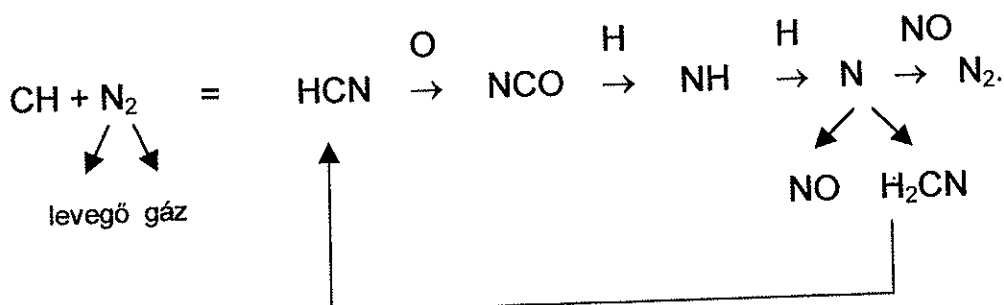
Kísérletei alapjául az a tény szolgált, hogy a tüzelőanyagban dús, léghiányos lángokban, ahol az éghető alkotók kiégése még nem, vagy csak részlegesen zajlott le, ott a Zeldovich mechanizmus alapján még nem jelenhet meg számottevő NO alkotó a füstgázokban. A vizsgálatok azonban ennek ellenkezőjét igazolták.

A szénhidrogének égésekor számos reakció játszódik le. Az égés folyamata a szénhidrogének oxidációja –szénhidrogén gyökökön– keresztül megy végbe. A szénhidrogén gyökök –melyeket korábban NO -képződés szempontjából lényegtelen átmeneti alkotóknak tekintettünk– nemcsak oxigénnel, OH-val, hanem a nitrogénmolekulával is reakcióba léphetnek.

A szénhidrogén gyökök azért reagálhatnak a nitrogénmolekulával, –amely származhat a levegőből, vagy magából a tüzelőanyagból– mert a rendszerben oxigénhiány van. A tüzelőanyag égése közben, a keletkezett szénhidrogén gyökök, mint aktív komponensek –miután a rendszerben lévő összes oxigént megkötötték– képesek a nitrogénmolekulával is reagálni. Ennek eredményeként keletkezik a HCN -molekula, amely NO-dá alakul át.



Részletezve:



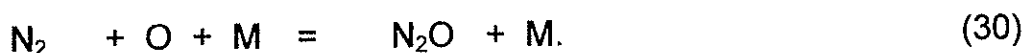
Az (26) reakció sebességi állandója

$$k = 4.4 \cdot 10^{12} \exp\left(-\frac{22000}{RT}\right) \quad \text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}. \quad (29)$$

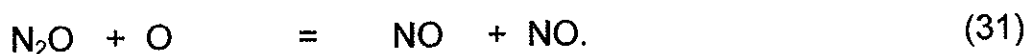
A prompt NO tehát az égési reakciókkal együtt keletkezik. A $\text{CH} + \text{N}_2 = \text{HCN} + \text{N}$ reakció aktiválási energiája ~ 90 kJ/mol, ellentétben a thermo NO -képződés 319 kJ/mol értékével. A prompt NO lényegesen alacsonyabb hőmérsékleten képződik (kb. 1000 K), éppen ezért a prompt NO -reakciók rendkívül gyorsak, pillanatszerűen játszódnak le, és elsősorban a lángban képződnek. A reakciómechanizmusok pontos kinetikai és termodinamikai feltárása még várat magára, és az elkövetkező évek talán "legérdekesebb" NO kutatási feladatai lehetnek [22].

3.2.3 A N_2O mechanizmuson keresztüli NO -képződés

A N_2O mechanizmus hasonló a Zeldovich NO mechanizmushoz, ahol nevezetesen O atomok reagálnak a molekuláris nitrogénnel. Azonban egy harmadik molekula jelenlétében (M), a reakció terméke a N_2O [23]:



Majd ez a N_2O reagál az oxigénnel és így képződik az NO [24]:



Ezen NO -képződési mechanizmusról gyakran megfeledkezünk, mivel – az acéliparban alkalmazott – tüzelő, hőkezelő berendezések normál működési paraméterei mellett a N_2O mechanizmus hatása a teljes NO -képződésre jelentéktelen. Magasabb levegőtényező alkalmazása mellett azonban a füstgázban található oxigénszint elnyomhatja a CH -gyökök képződését, így a prompt NO -mechanizmus háttérbe szorul, ha ehhez még alacsonyabb hőmérséklet is társul, mely a Zeldovich NO -mechanizmus hatását csökkenti, ami marad, az tulajdonképpen a N_2O mechanizmussal képződő NO.

A háromatomos reakciók aktiválási energiája alacsonyabb, valamint a magasabb (tűztér) nyomás is kedvez a háromatomos reakciók lefolyásának. Az alacsonyabb (technológiai) hőmérséklet sem csökkenti a N_2O mechanizmus hatását. Ezen körülmények együttesen azt eredményezik, hogy a N_2O mechanizmus kerül előtérbe alacsonyabb hőmérsékleti

tartományokban, jól előkevert lángok esetén, kitűnő gyakorlati példák erre a turbinák tüzterei [25].

3.2.4 A tüzelőanyag NO -képződése

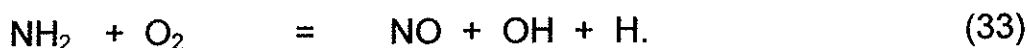
A tüzelőanyagok közül a nehézelajok, a pakura, a szén, a fa (egyres "melléktermék / hulladék" gázok) tartalmaznak nitrogéntartalmú szénhidrogéneket, melyek oxidációja növeli a tüzelő berendezés NO_x - emisszióját.

A szenek 5-15 tömeg % mennyiségben de még a "tisztá szenek" (clean coal) is legalább 1 tömeg %-ban tartalmaznak nitrogént szerves vegyületek formájában. Fűtőelajokban ez a kötött nitrogén 0.1-2 tömeg % lehet. A tüzelőanyagok kötött nitrogénkomponenseinek 10-30 %-a alakul át NO-dá [26].

Ha a nitrogéntartalom teljesen NO-dá alakulna, 1% nitrogén közelítőleg a füstgázban 1500 ppm NO mennyiséget eredményezne. A tüzelőanyag NO kialakulását legegyszerűbben úgy határozhatjuk meg [27], hogy a tüzelőanyagot nemcsak levegővel égetjük, hanem második mérésnél a levegőben lévő nitrogént argonnal helyettesítve, azaz 21% oxigén és 79% argon tartalmú elegyet használunk a levegő helyett a tüzeléshez. Ez esetben a keletkezett NO mennyisége a tüzelőanyag NO-dal egyenlő.

A tüzelőanyag nitrogénjéből keletkező NO képződését többen vizsgálták, a pontos mechanizmus azonban még nem ismert. Martin [28] és munkatársai kétféle NO keletkezési utat tételeznek fel.

A tüzelőanyagban lévő nitrogénvegyületek HCN, NH, NH₂, NH₃ és CN molekulákra, illetve gyökökre bomlanak, amelyek a prompt NO kialakulásához hasonló reakciólépéseken keresztül reagálnak a jelenlévő oxigénnel:



A tüzelőanyagban lévő nitrogénvegyületek úgy bomlanak, hogy aktív nitrogénatom keletkezik, amely a thermo NO-hoz hasonló módon képez NO-ot:



Szilárd tüzelőanyagok égése során képződő NO meghatározására folytak további jelentős kutatások az elmúlt évtizedben. A zsugorítvány gyártás, a koksgranulátum égése során, képződő NO -hatásfok és annak

csökkentésének lehetőségét vizsgálták Kasai és munkatársai [29, 30]. Kísérleteik során a granulátum méretének, felületi minőségének (egyéb éghetetlen alkotók arányának) hatását, valamint a granulátum kiegészi hányadának függvényében képződő NO_x-ra állapították meg összefüggéseket.

A gáznemű tüzelőanyagok nitrogéntartalmának NO_x-dá alakulási hatásfokát De Soete [31], és Fenimore [27] vizsgálták, és az alábbiakat állapították meg:

- A hatásfok függ a tüzelőanyag nitrogéntartalmától. Minél nagyobb mennyiségben tartalmaz a tüzelőanyag nitrogént, annál kisebb az átalakulási hatásfok. Kísérleti mérések szerint 1%-nál nagyobb nitrogéntartalomnál az átalakulás mértéke nem éri el a 40%-ot.
- Az átalakulási hatásfok a tüzelőanyagok változatlan nitrogén tartalma mellett az oxigén-koncentráció növekedésével emelkedik.
- Az átalakulási hatásfokot kevésbé befolyásolja a nitrogénvegyület típusa. Etilént oxigén–argon elegyben égették el. Első esetben ammóniát adagoltak a lánghoz. A második kísérletsorozatnál az etilén etilén-diamint is tartalmazott. Az átalakulási hatásfok közel változatlan maradt [27, 31].
- Az átalakulási hatásfok a gáznemű tüzelőanyagok égése során a hőmérséklettől közel független. Azonban szilárd tüzelőanyagok esetén a tüzelőanyag őrlemény szemcseméretének csökkentésével jelentősen nő az égési felület és ezáltal a granulátum szemcsék felületének hőmérséklete is, mely ugyan gyorsabb kiégést okoz, de nem feltétlenül jelent számottevő tüztérhőmérséklet emelkedést. A felületi hőmérsékletemelkedés kedvez az NO_x-képződésnek [29].

3.3 A nitrogénoxid képződést befolyásoló tényezők

A NO_x -képződést befolyásoló legfontosabb tényezők a maximális lánghőmérséklet, az égéstermékek tartózkodási ideje a magas hőmérsékletű zónában és a tüzelésnél alkalmazott levegőfelesleg.

Általában mindazon tényezők, amelyek a lánghőmérsékletet növelik, azok növelik a képződött NO_x mennyiségét is. Ilyen irányban ható tényezők: pl. az égési levegő és a tüzelőanyag előmelegítése, az égési levegő oxigénnel való dúsítása, és az esetleges tüzelőanyag dúsítás is.

A láng maximális hőmérséklete, valamint az égéstermékek tartózkodási ideje a magas hőmérsékletű zónában a hőterheléstől, a tüzelőberendezés

Jellemzőivel áll szoros kapcsolatban. Mindezen tényezők kölcsönhatásban vannak az égők konstrukciójával, elhelyezésével, több égő lángjának egymásra gyakorolt hatásával, –osztott tűzterek esetén a tűzterek egymásra gyakorolt hatásával– a láng szerkezetével, a sugárzó felület alakjával és fizikai paramétereivel.

A levegőtényező NO_x -képződésre gyakorolt hatásának vizsgálatával foglalkozó kutatási jelentések, kísérleti beszámolók összhangban vannak azzal, hogy a keletkezett NO_x mennyisége a levegőtényező függvényében egy maximumos görbe szerint változik [32, 33].

Természetesen a maximális NO -képződést eredményező levegőtényező értéke égőtípusonként eltérő és a munkatér hőmérséklettől is függ. Égő és tüzelőberendezések tervezésénél, korszerűsítésénél és természetesen az üzemeltetés során figyelembe kell venni, hogy egyszerű szerkezeti (pl. az égő perdefelületparamétere, a gázfúvóka helyzete és kialakítása), vagy üzemviteli (pl. égési sebesség, tüzelés módja) változtatások a NO_x -emisszió jelentős megváltozásához vezethetnek.

3.4 A nitrogénoxid képződés csökkentése

A NO_x csökkentésére kifejlesztett módszereket két fő csoportba oszthatjuk:

– primer (elsődleges) eljárások:

- szakaszos tüzelés,
- füstgáz visszavezetése az égési folyamatba,
- H_2O adagolása az égési folyamatba,
- katalitikus égetés,
- kombinált eljárások.

– szekunder (másodlagos) eljárások:

- abszorpciós eljárások,
- adszorpciós eljárások,
- katalitikus redukció,
- nem katalitikus eljárások.

3.4.1. Nitrogénoxid képződés csökkentése primer eljárásokkal

A primer módszerek a NO_x képződését már az égési folyamat során befolyásolják, kialakulását gátolják; ezen eljárások úgymond preventív jellegűek.

3.4.1.1 Szakaszos tüzelés

A szakaszos tüzelést új tervezésű égető- tüzelőberendezések esetében gyakran alkalmazzák, de gyakori a régebbi berendezések korszerűsítése során történő adaptálás is. A primer NO_x -csökkentő eljárások közül talán az egyik leggyakrabban alkalmazott megoldás. Ezen eljárásnak számos egyedi megoldású gyakorlati kiviteléről számolnak be nemzetközi és hazai kutatási és üzemi jelentések. Az alkalmazott eljárások ismertetése a teljesség igényével szinte lehetetlen. Ezért a továbbiakban itt csak az eljárás legalapvetőbb formáit tárgyalja ezen fejezet [34].

Az égési levegő több fokozatban történő bevezetése:

A módszer lényege az, hogy az első fokozatban a tüzelőanyagot az összes égési levegő egy részével égetik el ($\lambda=0,7-0,8$). A fennmaradó levegőt pedig a lángtól távolabb vezetik be (egy vagy több fokozatban) a tűztérbe, itt jut be a tüzelőanyag elégetéséhez szükséges levegőmennyiség. Az összegzett levegőtényező $\lambda=1.1-1.4$ (ami a tüzelőanyag fajtájától, az alkalmazott technológiától függ).

Kísérletek bizonyítják, hogy az első szakaszban $\lambda=0.7$ -nél kisebb levegőtényezővel tüzelni nem érdemes, mert ezen érték alatt a NO_x -képződés független az oxigénkoncentrációtól. A NO_x -emisszió csökkenésének oka, hogy a legnagyobb hőmérsékletű elsődleges égési zóna második, ill. harmadik szakaszában, amelyben az égési levegő feleslegben van jelen, a hőmérséklet csökken, ezért a NO nem képződik nagyobb mennyiségben, az égési folyamat több részre tagolódik.

A tüzelőanyag és az égési levegő több fokozatban történő elégetése:

A módszer lényege, hogy az eltüzelendő gáz teljes térfogatáramának egy részét a tökéletes égéshez szükséges levegővel elégetik, a gáz többi részét később juttatják a tűztérbe, ezzel redukáló atmoszférát hoznak létre. A harmadik fázisban történik a "maradék" égési levegő befúvatása és a második szakasz el nem éget füstgázalkotóinak kiégetése. A tüzelőanyag és az égési levegő több fokozatban történő eltüzelésének ez az esete a "reburning" újraégetéses eljárás.

Összegzésül megállapítható, hogy földgáztüzelésnél az egyik legelterjedtebb NO_x -csökkentési technológia a szakaszos tüzelés; számos új NO_x -szegény égő ezen az elven működik. Szakaszos tüzelés során az égési folyamat jól kézben tartható, a láng tüzelőanyagban dús, csökken a láng hőmérséklet, kedvezőtlenebbek az NO -képződés feltételei. A szakaszos tüzeléssel 40-70 %-os NO_x csökkentésről számolnak be kísérleti jelentések [35]; ezen eljárás számos égető- tüzelőberendezés esetén eredményesen alkalmazható.

3.4.1.2 Füstgáz visszavezetése az égési folyamatba

Ha a füstgáz egy részét visszavezetjük az égési folyamatba, a NO_x képződés csökkenése tapasztalható. A füstgázrecirkuláció elsősorban a termikus NO -képződést befolyásolja, kevésbé a prompt NO -mechanizmust, és a tüzelőanyag NO képződését – ha egyáltalán van kötött nitrogénalkotó a tüzelőanyagban – gyakorlatilag nem változtatja.

A tüzelési gyakorlatban különbséget teszünk külső és belső recirkuláció között. Külső visszavezetésnél általában a hőcserélőkből távozó "hideg" füstgáz egy része kerül visszavezetésre, melyet általában az égők felett áramoltatnak vissza a tűztérbe.

A belső füstgázvisszavezetés kétféleképpen valósítható meg. Az egyik módszernél a recirkuláltatott füstgázt az égési levegővel keverik és ez a keverék lép az égőbe.

A másik megoldás során az égőt, ill. az égőkövet úgy alakítják ki, hogy az égő áramlási viszonyainak következményeként füstgázvisszaszívás jöjjön létre "lángon belüli recirkuláció". Ennél a megoldásnál az égőből kiáramló levegő injektáló hatása a forró égéstermékek tűztérből való visszaáramlását okozza. A tüzelőanyag a forró füstgázzal keveredik, aminek hatására elbomlik, még mielőtt az égési levegővel találkozna. A keletkező egyszerűbb molekulák, ill. gyökök alacsonyabb hőmérsékleten kevesebb NO_x képződése mellett égnek el [36, 37].

3.4.1.3 H_2O adagolása az égési folyamatba

Víznek vagy gőznek a tűztérbe, az égési zónába történő beporlasztása további lehetőség a nitrogénoxidok kibocsátás jelentős csökkentésére. Ezen eljárás során a vizet vagy gőzt közvetlenül az égési folyamatba –égőfúvóka közeli befúvatás– vagy a munkatérbe adagolják, porlasztják.

A H_2O adagolása következtében létrejövő nagymértékű NO -csökkentés a láng maximális hőmérsékletének csökkentésével, és az égési folyamatba került gőz katalitikus hatásával magyarázható. A víz beadagolása két módon is előidézheti a lánghőmérséklet csökkenését:

- A víz magas párolgáshője révén energiát von el;
- A vízgőz fokozza a láng sugárzási tulajdonságait (háromatomos molekula), így a láng maximális hőmérséklete ezáltal is csökken.

A vízgőz NO_x -emisszió csökkentő hatása hasonló, mint a füstgázrecirkulációé (40-80%-os NO_x -emisszió csökkentés). Hatása azonban kedvezőtlen is lehet,

amennyiben növeli a harmatpontot, kedvezőtlen hatású lehet a melegíteni kívánt anyagra (fokozott reveképződés), valamint a kemence hatásfokára nézve is. A módszert elsősorban kazántüzelésnél alkalmazzák [36, 57].

3.4.1.4 Katalitikus égetés

A katalitikus égetés elve azon alapszik, hogy katalizátor hatására az égési folyamat alacsonyabb hőmérsékleten játszódik le, ezért a NO_x -kibocsátás jelentősen csökken. Az eljárás acélizzítási technológiák esetén annak magas technológiai hőmérséklete miatt nem használható. A többfokozatú katalitikus tüzelés elnyújtja az égési folyamatot, így a NO_x -képződés szempontjából lényeges hőmérsékleti csúcs nem jön létre.

Katalizátorként a platinacsoport fémeit használják, de kísérleteznek króm és nikkellalapú katalizátorokkal, valamint krómoxid és kobaltoxid keverékkel is. A katalitikus eljárás alkalmazásával a füstgázok NO_x -tartalma 80-90%-kal csökkenthető, azonban nehézségeket okoz a katalizátorok relatíve rövid élettartama és magas ára [38].

3.4.1.5 Kombinált eljárások

A NO_x -emisszió csökkentésére kifejlesztett primer eljárásokat gyakran együttesen alkalmazzák a NO_x -kibocsátás nagyobb mértékű csökkentése céljából. Leggyakrabban a fokozatos, szakaszos tüzelés valamelyik formáját vagy a füstgázrecirkulációt alkalmazzák.

A kombinált eljárás a NO_x -emisszió csökkentés szempontjából kifejlesztett primer eljárások közül a legeredményesebb módszer. Alkalmazásánál a NO_x -emisszió csökkentés mértéke 70-90 %-ot is elérheti. Mivel általában a szakaszos tüzelést és a füstgázrecirkulációt alkalmazzák együtt, nem szabad elfelejteni az eljárások hátrányait sem. Ezért az ilyen típusú égők alkalmazását ki kell egészíteni egyéb hőátadást növelő módszerekkel.

3.4.2 Nitrogénoxid emisszió csökkentése szekunder eljárásokkal

A szekunder eljárásoknál a már keletkezett NO_x mennyiségét csökkentik a füstgázban (füstgázkezelési eljárásokkal). Ezen eljárások alkalmazása acélipari tüzelőberendezések esetén nem jellemző. Az eljárások költségesek, ipari alkalmazás esetén ez jelentős beruházást igényel.

Mivel a szekunder eljárások alkalmazása acéliparban nem jellemző ezért azt jelen fejezet részleteiben nem tárgyalja:

- abszorpciós eljárások
- adszorpciós eljárások
- katalitikus redukció
- nem katalitikus eljárások

A NO_x -emisszió csökkentése akkor a leghatásosabb – és természetesen az esetek többségében a legdrágább is – ha a primer és szekunder eljárásokat együttesen alkalmazzák. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a tüzelőberendezéseket úgy üzemeltetik, hogy a lehető legkevesebb NO_x képződjön, majd a keletkezett káros komponenseket – a technológia által biztosított korlátokon belül – a füstgázból is eltávolítják.

3.5 A 90-es évek acélipari toló- és léptetőgerendás kemencéinek tüzelő berendezései

A 90-es évek égőfejlesztéseinek hajtóereje a növekvő energiaárak miatt a tüzelőanyag felhasználás további optimalizálása, valamint a szigorodó környezetvédelmi elvárások miatt az emissziós szintek csökkentése volt. Ezen célok már elsősorban nem égő, hanem inkább berendezés, technológia specifikus feladatokat jelentenek.

A legszembetűnőbb fejlesztések az erőműi berendezések égő- és tüzelőberendezéseiben történtek. Különös hangsúlyt kapott a szénportüzelés, valamint a fluidágyas technológiák fejlesztése, de természetesen a gáz- és olajégők modernizálása is tovább folyt [39].

Jelentős volt az ún. "retrofitek" terjedése, ami a már meglévő kiépített égők és tüzelőberendezések cseréje helyett, annak modernizálását, az eredeti konstrukción végrehajtott módosításokkal, részleges átépítésekkel valósítja meg.

A gáztüzelésű acélizzító toló- és léptetőgerendás kemencékkel szemben is nőttek az elvárások. Az elsődleges cél itt is az égő- és a tüzelőrendszerek –és természetesen ez által a berendezés, a technológia– hatásfokának növelése. Továbbá az alacsony NO_x , CO, valamint az alacsony zaj emisszió biztosítása.

Ezen célok eléréséhez az új égők fejlesztésénél és a "retrofitek" során a lokális hőmérséklet csúcsok elkerülése, –az alkalmazott hevítési technológiának még megfelelő– minimális légfelesleg alkalmazása, valamint az égés intenzitásának csökkentése szükséges.

A "klasszikus" toló- és léptetőgerendás kemencék tűztereiben a leggyakrabban alkalmazott égőfajták: a boltozati ún. laposlángú égők

(szétterülő, tányér alakú lánggal), melyek általában a teljes munkaszélesség mentén kerülnek beépítésre, és a bugák felületének egyenletes átizzítását biztosítják. Ezek mellett a kemencék oldalfalába vagy a kemencefenékbe (általában hosszú egyenes lángot adó) impulzus vagy "fáklyaégőket" építenek, melyek a bugák keresztirányú egyenletes átmelegedését biztosítják.

Új fejlesztésű alacsony NO_x - és zajemissziójú laposlángú égőket számos gyártó cég kínál, a fejlesztések és a műszaki megoldások áttekintése teljeséggel szinte lehetetlen. Összességében megállapítható, hogy stabil (pulzálás mentes) láng kialakítására törekedtek a fejlesztők. A magas hőmérsékletű csúcsok elkerülése érdekében az esetek többségében belső füstgáz recirkulációt alkalmaztak, de a külső füstgáz recirkuláció vagy kombinált megoldások is előfordulnak. A lángképpel és a füstgáz recirkuláció fajtájával, annak mértékével, szorosan összefügg a gázfúvóka konstrukciója, pozicionálása, a tüzelőanyag és az égési levegő bevezetése, különféle perdítő és keverő megoldások alkalmazása, ill. a megfelelő nyomásszintek megválasztása [41].

A hosszú, egyenes lángot adó impulzus, vagy "fáklyaégők" különféle típusait alkalmazzák toló-, vagy léptetőgerendás kemencékben. "Klasszikus" kiépítésben, –ha csak a tűztér, a kemence felőli oldalt vizsgáljuk– a kemence tűzálló falazatába kerül beépítésre a döngölt vagy öntött tűzállóanyagból készült égőkő. Az égőkő középpontjában van a gázfúvóka, melyet kör-körösen több égési levegő fúvóka vesz körül. A levegőfúvókák száma, átmérője, és távolsága a központi gázfúvókától, ill. geometriai kiképzésük különböző lehet, az igényelt teljesítmény, a rendelkezésre álló hely és az alkalmazott izzítási technológia szerint (továbbá sajátos módosításként alkalmazhatnak még távolabbi ún. szekunder tüzelőanyag és égési levegő bevezetést, esetleges perdítő vagy terelő elemek beépítését). Az égőkő nem csak a tüzelőanyag és az égési levegő keverését segíti, hanem a lángot is stabilizálja, továbbá lángszakadás ellen is védelmet nyújt.

Alacsonyabb NO_x -emisszió eléréséhez az égőkő beépítése is jelentős tényező. A beépítési mélység (L) vagyis az égőkőbe épített fúvókák síkjának távolsága, a tűztér falazat síkjától, valamint a beépítésre kerülő égőkő átmérője (D) által megszabott L/D arányszámra 0,6, vagy annál alacsonyabb értéket javasolnak [40]. A NO_x képződés befolyásolható a (fúvókát elhagyó) tüzelőanyag és az égési levegő sebességének arányával is. Javasolt a gáz / levegő arányt 0,3 alatt tartani ($V_{\text{gáz}} < 0,3 V_{\text{levegő}}$) [40, 42].

A jelenleg üzemelő acélbuga-izzító kemencéknél számos egyedi technológiai megoldást alkalmaznak, így számos más égőfajtákkal is találkozhatunk. Azonban a világon működő meleghengerműi toló- és léptetőgerendás kemencék közel 2/3-a hagyományos kiépítésű, és az üzemelő égőkonstrukciók 10-15 évnél öregebbek. A korszerűsítések során az üzemek az alacsonyabb költségek miatt inkább a "retrofiteket" választják [39, 40].

A tovább szigorodó környezetvédelmi elvárások, különösen a NO_x -határértékek miatt (3.7.2 fejezet) további jelentős fejlesztések várhatóak 2005–2007-ig, valószínűleg elkerülhetetlen az égő- és tüzelőrendszerek teljes cseréje.

Új kemencék építése során terjedőben van, az ún. regeneratív égők alkalmazása is. A regeneratív tüzelőrendszerekkel magas hatásfok érhető el, az égési levegő magas, gyakran 900-1000 °C feletti előmelegítése következtében. Ezen égőtípusok esetén azonban jelentős lenne a tüztérben képződő NO mennyisége NO -kibocsátást csökkentő eljárás(ok) alkalmazása nélkül.

Az egyéb megoldások között meg kell említeni a késleltetett égést, osztott tüzelőanyag és égési levegő bevezetést, láng nélküli oxidációt biztosító égőket és tüzelőrendszereket is. A láng nélküli oxidációval kiküszöbölhetőek a magas hőmérsékleti csúcsok, és a lassított "égéssel" a NO_x -emisszió jelentősen csökkenthető. Ezen égőtípusok alkalmazása esetén különösen szigorú biztonsági előírások betartása szükséges. Ugyanis a különböző gáznemű tüzelőanyagok "láng nélküli" égéséhez megfelelően magas hőmérséklet szükséges (földgáz esetén biztonsági ráhagyással 700 °C). Ha a munkatér-hőmérséklet a kritikus hőmérséklet alá csökken, és a tüzelőanyag nem ég el, akkor a tüztérben maradó tüzelőanyag és égési levegő, a későbbi esetleges hőmérséklet-emelkedéssel berobbanhat.

3.6 A nitrogénoxid emisszió jogi szabályozása

3.6.1 Nemzetközi egyezmények áttekintése

Az utóbbi évtizedekben számos nemzetközi egyezmény született a nitrogénoxid kibocsátás csökkentésére. Az első széleskörű nemzetközi egyezmény a "Montreáli Jegyzőkönyv" volt 1987 szeptemberében az ózonréteget lebontó anyagokról, melyhez az európai országok "bulgáriai" egyezmény néven csatlakoztak, (hazánk egy év késéssel, 1989-ben csatlakozott). Az egyezmény a NO_x és SO_x -kibocsátás 30%-os csökkentését tűzte ki célul.

Az elmúlt évtizedben az üvegházhatást okozó gázok (szén-dioxid, metán, nitrogén-dioxid, fluorozott szénhidrogének, perfluorkarbonok, kén-hexafluorid) kibocsátásának csökkentésével két jelentős nemzetközi konferencia is foglalkozott a "Rioi Egyezmény" (Rio Earth Summit) 1992-ben és a "Kyotoi Klímaváltozási Konferencia" (Kyoto Climate Change Conference) 1997-ben [43].

Az ENSZ kezdeményezésére 1992-ben Rio de Janeiróban aláírt Éghajlatváltozásról Szóló Keretegyezmény célja az volt, hogy elérje az üvegházhatású gázok koncentrációjának stabilizálását olyan szinten, amely már nem okoz jelentős károsító hatást a föld klímájára nézve. A CO₂, CH₄, N₂O -kibocsátás szintjét a résztvevő országok 2000-re az 1990. év kibocsátás szintjében határozták meg.

A megállapodást Magyarország 1994-ben (II. 24-én) ratifikálta. Az 1995. LXXXII. (IX. 19.) tv. bázisévének 1985 - 87 -es évek átlagát tekintette.

Az első berlini és a második genfi értekezlet után a végrehajtásról Kyoto-ban volt a harmadik fontos konferencia 1997 decemberében. Az itt elfogadott kötelező érvényű jegyzőkönyv legfontosabb elemei a következők voltak:

- Az 1990. évi báziséhoz viszonyított emisszió csökkentést 38 ország vállalta, (pl. EU tagországok 8%, USA 7%, Japán 6%, Kanada 6%, Magyarország 6 %, Lengyelország 6%, Oroszország 0%, Ukrajna 0% stb.).
- A fejlett országok közötti emisszió kereskedelem (emission trading) engedélyezési szabályainak kidolgozása, megvitatása és engedélyezése.
- A Rioi Egyezményben meghatározott három főbb üvegházhatású gáz (CO₂, CH₄, N₂O) kiegészítésre került három fluoros vegyülettel (ezek főleg a félvezető ipart érintik).
- A jövőre vonatkozóan valamennyi emisszió forrást és lekötési lehetőséget meg kell vizsgálni, és számba kell venni.
- A jegyzőkönyvet a szankcionálás lehetőségével is ki kell bővíteni.

Az Európai Bizottság 2000. év elején közleményt jelentetett meg "Felkészülés a Kyotói Jegyzőkönyv Végrehajtására" címmel. Az EU-nak az aláírtak értelmében az üvegházhatású gázok kibocsátását 2012-ig 8% -kal kell csökkentenie az 1990. évi szinthez képest. A közlemény szerint ennek a célnak az elérése érdekében mielőbb szükséges a jegyzőkönyv ratifikálása az aláíró felek részéről. Ezzel egyidőben az EU-nak gondoskodnia kell a vállalt kötelezettségek végrehajtásáról. Valószínű, hogy az EU-ban a CO₂ - kibocsátás 2000 és 2001-ben hozzávetőlegesen akkora lesz, mint 1990-ben, ami megfelel a Rioi Keretegyezmény előírásainak.

Az Európai Bizottság azonban felhívta a figyelmet arra, hogy az 1990-es évek első felében tapasztalható visszaesés után az évtized közepétől ismételten növekedésnek indult az üvegházhatású gázok kibocsátása az EU-ban és a

tagországok többségében egyaránt, és ezért számos új intézkedést javasolt. A becslések szerint ugyanis politikai döntések hiányában az EU teljes üvegházhatású gáz kibocsátása tovább növekedni fog. Ez a növekedés egyenlőtlenül oszlik meg az egyes fő ágazatok között, a legmagasabb a növekedés (2010-re 39%-os) a közlekedésben várható, míg az iparban számottevő csökkenést jósolnak (-15 %-os), a háztartások és a harmadik szektor kibocsátása gyakorlatilag nem változik.

A trend megfordítása érdekében mind nemzeti, mind EU-szinten gyors cselekvés szükséges, hiszen a Kyotói Jegyzőkönyv szerint 2005-re kimutatható eredményt kell elérni. Azt is számításba kell venni, hogy általában több év telik el a politikai döntések meghozatala és a várt eredmény elérése között.

A Kyotói Jegyzőkönyv megfogalmaz olyan új ösztönzőket is, amelyek több rugalmasságot biztosítanak az aláíróknak, ezeket azonban jobban ki kell dolgozni. Ilyen gazdasági ösztönző például a Kibocsátások Nemzetközi Kereskedelme, amely 2008 után lépne életbe. A Bizottság a folyamat megkönnyítése érdekében egy széleskörű tanácskozás összehívását ajánlja, ahol az érintettek (tagországok, vállalatok, társadalmi szervezetek) megvitátnák a korábbi bevezetés lehetőségét. A kibocsátásokkal való kereskedelem az EU-n belül akár már 2005-ben is megkezdődhetne.

Az EU csatlakozásra váró országok mindegyike –Ciprust kivéve– vállalt kibocsátás csökkentést a Kyotói Jegyzőkönyv keretében. (Magyarország és Lengyelország 6%-os, a többi jelölt ország az EU-hoz hasonlóan 8%-os csökkentést vállalt.) Ezen országok legtöbbször azonban a vállalt csökkentést a rendszerváltás előtti szinthez képest állapították meg. A gazdasági visszaesés, és ezen belül az energiaigényes ágazatok termelésének csökkenése következtében valószínűleg ezen vállalatok nem fognak különösebb nehézségekbe ütközni. Az EU bővítés azonban lehetőséget nyújt arra, hogy a csatlakozni kívánó országokban az EU segítségével intézményi és technológiai fejlődés menjen végbe.

3.6.2 Acélipari és erőművi tüzelőberendezésekkel szemben támasztott követelmények

Jelenleg az iparilag fejlett országok többségében szigorú korlátozások vannak érvényben a tüzelőberendezések égéstermékének NO_x kibocsátására. A legfelelősségteljesebb feladat a NO_x -kibocsátás megengedhető szintjének meghatározása a meglévő vagy várható szabványok szerint.

Az Európai Unió a környezetvédelem kérdéskörében igen előremutató jogrendszerrel dolgozott ki, melyet a kor követelményeinek megfelelően tovább fejleszt. A fontosabb EU-s általános levegő tisztaságvédelmi jogszabályokat a

Magyar Köztársaság és az Európai Közösség közötti megállapodással összhangban a magyar joganyagba is át kell ültetni. Az e témában legfontosabb három direktíva:

- A környezeti levegő vizsgálatáról és kezeléséről szóló 96/62 EC.
- Az integrált szennyezés megelőzésről és ellenőrzéséről szóló 96/61 EC.
- A tagállamok közötti, az egyedi mérőállomások és mérőhálózatok adatainak kölcsönös cseréjéről szóló 97/101 EC direktívák.

Európában nemzetközi szabványok vannak 100 MW és ennél nagyobb egységteljesítményű berendezésekre (1985-től), 50 MW teljesítményűekre (1990-ben vezették be) [44].

A Német Szövetségi Köztársaságban 1986 óta van érvényben a "TA Luft" szabvány, amely az ipari tüzelő és hőkezelő berendezések által kibocsátható NO_x határkoncentrációkat is tartalmazza. Az új "TA-Luft" szabványt 1989-ben fogadták el, majd részlegesen újra módosították 1997-ben. A "TA-Luft" szabvány tüzelőberendezések emissziós határértékeinek meghatározása során különbséget tesz a névleges hőteljesítmény, a berendezés kora és az alkalmazott tüzelőanyag fajtája szerint is.

A német szabványok a villamos erőművek NO_x kibocsátásánál, gáztüzelés esetén 100 ppm, folyékony tüzelőanyagok esetén 150 ppm körüli határértéket írnak elő. Ez valamivel alacsonyabb érték, mint amit a kohászati technológiai kemencéknél elértek.

Az USA szövetségi kormánya olyan levegőminőségi szabványokat léptetett életbe, melyek függetlenek a szennyező forrásoktól és a berendezések fajtájától. Ha a levegő minősége romlik, akkor a helyi hatóságok a szennyező forrásokra vonatkozó szabványokat dolgoznak ki. A szennyező forrásokra vonatkozó helyi szabványok előírásai az adott folyamatokra vonatkozó legfejlettebb technológiát veszik alapul.

Ez utóbbiakra, például Kalifornia Állam (USA) vonatkozik az "1109 szabály", mely rögzíti a NO_x határértékeket gáznemű és folyékony tüzelőanyagokra. A határértékek folyékony tüzelőanyag esetén 2,2-szer magasabbak, mint a gáznemű tüzelőanyagok esetén. A határértékek nem ppm-ben vannak megadva, hanem az egységnyi hőmennyiségre vonatkozó NO_x tömegében, amely különböző fűtőgázok esetén különböző ppm értékeket adhat [45].

Meleghengerművekre ill. tolókemencékre vonatkozó speciális szabályozás az EU országokon belül *Belgiumban* (CITEPA / 1994) NO_x előírás szerint:

500 mg/(N)m³, ha annak tömegárama > 5 kg/h.

Az Egyesült Királyságban (IPR 1/17/1992) a hevítőkemencék NO_x előírása:

Új üzem esetén:

400 mg/(N)m ³ , levegő előmelegítés =	0 °C
500 mg/(N)m ³ , levegő előmelegítés =	400 °C
600 mg/(N)m ³ , levegő előmelegítés =	600 °C
900 mg/(N)m ³ , levegő előmelegítés =	1000 °C

Meglévő üzem esetén:

650 mg/(N)m ³ , levegő előmelegítés =	0 °C
900 mg/(N)m ³ , levegő előmelegítés =	400 °C
1200 mg/(N)m ³ , levegő előmelegítés =	600 °C
1500 mg/(N)m ³ , levegő előmelegítés =	1000 °C

A Német Szövetségi Köztársaságban a TA Luft-hoz kapcsolódó speciális szabályozás található hevítőkemencékre a BimSchG48 rendeletben, mely hasonlóan az Egyesült Királyságban alkalmazott szabályozással, az előmelegítési hőmérséklet függvényében határozza meg a távozó füstgáz NO_x koncentrációját. Továbbá szabályozák ezt az országos előírást a helyi engedélyek kiadására hivatott tartományi környezetvédelmi hatóságok is. A helyi szabályozás általában szigorúbb a szövetségi jogyagnál ezért a konkrét értékeket a szövetségi tartományok környezetvédelmi hatósági határozzák meg.

Ausztriában a BGB1/II. jogszabály, levegő előmelegítés nélkül üzemelő hevítőkemencékre 500 mg/(N)m³, levegő előmelegítéssel üzemelő kemencékre 750 mg/(N)m³ határérték maximumot határoz meg.

Hazánkban 1995-ban jött ki az új környezetvédelmi törvény (LIII/1995), mely számos új elemet tartalmaz a korábbi szabályozáshoz képest. A levegőtisztaság-védelmi emissziós határértékeket a KTM rendeletek határozzák meg. Ennek módosítása folyamatban van 2001-ben. Jelenleg új tervezet készül melynek elfogadása az idén várható.

A környezetvédelmi miniszter, az egészségügyi miniszter, valamint a földművelésügyi és vidékfejlesztési miniszter együttes rendelet tervezete (a légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött kibocsátási határértékekről) már összhangban áll az Európai Unió gyakorlattal, bár még a határértékek nem olyan szigorúak, de jelentős szigorításokat tartalmaz a korábbi (jelenleg még hatályos) szabályozáshoz képest.

A 21/1982 (VI. 2) MT általános levegőtisztaság-védelmi rendelet helyett 2001 első felében várhatóan megjelenő új jogszabály a 20 t/óra termelési kapacitás feletti meleghengerművekre vonatkozóan, környezetvédelmi engedélyek beszerzését követeli meg. Új meleghengerművekre az engedélyek kiadása időpontjában kötelező a BAT, a meglévő meleghengerművek esetén pedig 2007-ig kell elérni a BAT színvonalát (A BAT Best = Legjobb, leghatékonyabb, legfejlettebb; Available = Elérhető, rendelkezésre álló; Technology = Technológia) [46].

A meleghengerművek NO_x -kibocsátására vonatkozó BAT-ot az EU illetékes bizottsága által felkért vaskohászati szakértőcsoport ajánlásai tartalmazzák. Ez jelenleg 350 mg/(N)m³ körüli érték. A fentiekben megvizsgált, meleghengerműi joganyagok áttekintése alapján az a következtetés vonható le, hogy a fejlett EU országok előírásai jelenleg még engedékenyek az azonos technológiára vonatkozó BAT ajánlásokhoz képest. Azonban az elkövetkező hét évben a meglévő üzemeknek is teljes korszerűsítést kell végrehajtaniuk a BAT-on alapuló környezetvédelmi engedélyek megszerzéséhez.

Ami biztos, hogy hazánk EU csatlakozásának időpontjáig még jelentős szigorítások várhatóak, és egy rövid türelmi idő "derogáció" után (feltételezhetően öt év a tagság elnyerése után) a gazdaságilag és az iparilag legfejlettebb országok normái kerülnek hazánkban is bevezetésre. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy előreláthatólag 2007 – 2010 -re a hazai vállalkozásoknak is meg kell felelnie a kor akkori legszigorúbb elvárásainak.

4.0 A kutatási téma tárgya, vizsgált és befolyásolt jellemzők, kísérleti mérésekkel nyert eredmények ismertetése

Integrált acélművek meleghengerműveiben az esetek többségében acélbramma izzítása toló- vagy léptetőgerendás kemencékben történik. Az acélizzító kemencék biztosítják az előnyújtó és a meleghengersor izzított bugával történő folyamatos ellátását.

Az acélbuga izzítás hőigénye jelentős, így az izzítókemencék az egyik legjelentősebb energia felhasználók és NO_x kibocsátók az alakítástechnológiai fázison belül.

A tolókemencék energiafelhasználása és károsanyag kibocsátása az alkalmazott hevítési technológiának, valamint a kemencénél kiépített égő- és tüzelőberendezések műszaki paramétereinek függvénye.

Az energiafelhasználás optimalizálása az égő- és tüzelőberendezéseken eszközölt módosításokkal, átépítésekkel ill. a hevítési technológián végrehajtott változtatásokkal valósítható meg.

További fontos optimalizálási szempont – a kemence üzeméhez ugyan nem kapcsolódó – ún. "holtidők", hőntartó időszakok minimalizálása, mely az előnyújtó és a meleghengersor folyamatos üzemének hiányából fakad. A meleghengersor üzemének optimalizálása egyben a tolókemencék fajlagos energiafelhasználását is kedvezően befolyásolhatja.

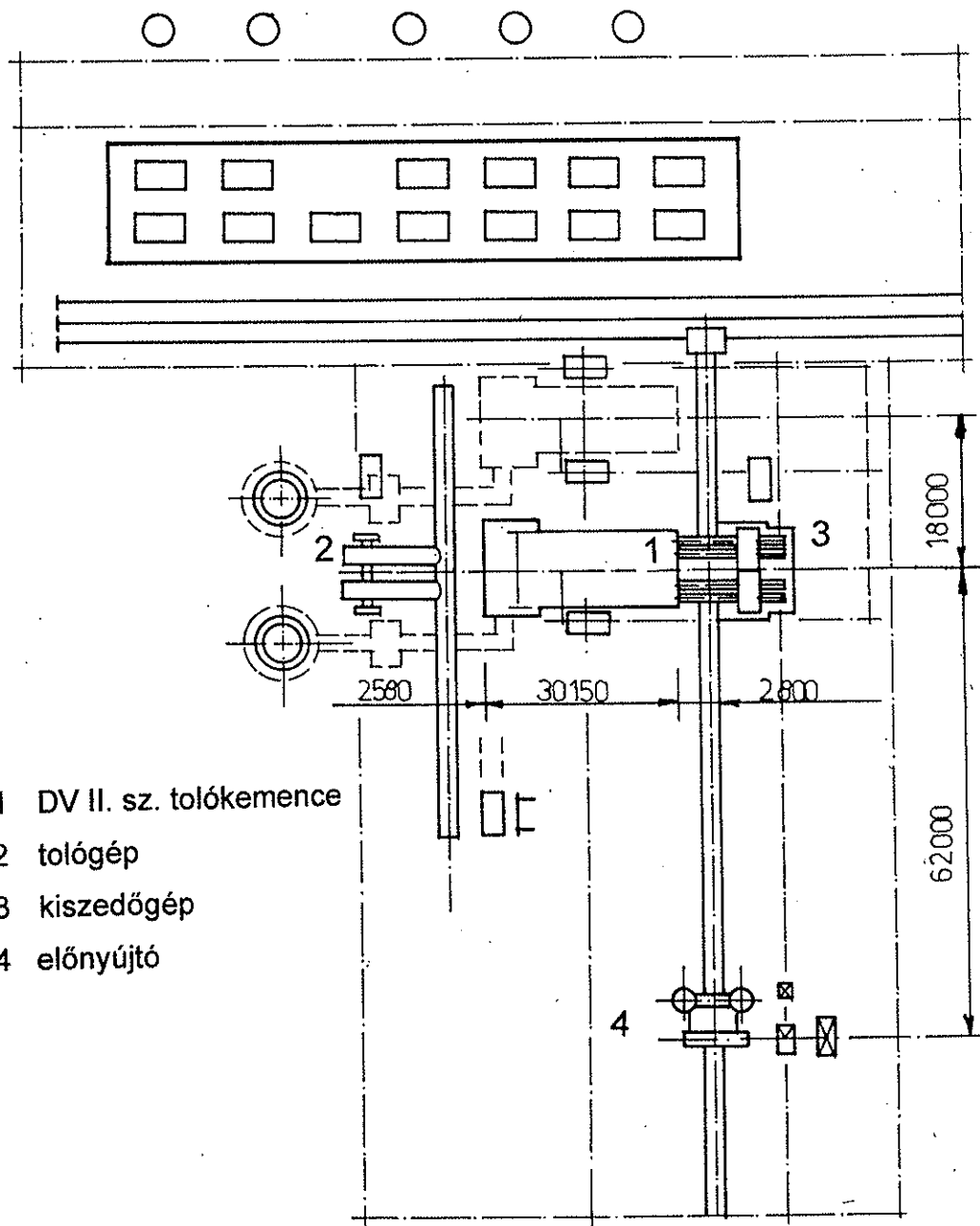
A tüzelőanyag és ezáltal az energiafelhasználás optimalizálása azonban összetettebb folyamat eredménye, és csakis a meleghengersor folyamatos üzeme, a hevítési technológia, az égőkön és a tüzelésvezérlő rendszeren, valamint a hőcserélőkön eszközölt további módosításokkal valósítható meg.

Vizsgálati szempontjaim a tolókemence acélbuga izzítási technológiai paramétereinek mellett (tűztérhőmérséklet, kemenceatmoszféra), az égő és tüzelőrendszer nyújtotta lehetőségek figyelembevételével, szakaszos tüzeléssel (késleltetett égéssel, újra- illetve utóégetéssel) elérhető NO_x - emisszió csökkentés vizsgálatára irányultak.

4.1 A tolókemence technológiája

A Dunai Vasműben 1976-ban helyezték üzembe a II. sz. és 1987-ben az I. sz. 170 t/h névleges kapacitású kemencét. A kemencék azóta is üzemben vannak, üzemi feltételeik javítása, korszerűsítésük folyamatos munka eredménye.

A tolókemencék feladata a folyamatosan öntött vagy hengerelt bugák hengerlési hőmérsékletre történő izzítása, az előnyújtó és a meleghengersor kiszolgálása (1. ábra).



1. ábra Tolókemence elhelyezése az üzemben

A bugákat a bevezető görgősor szállítja be, ill. a felhevített bugákat kiszedő gép szedi ki a kemencéből (fotómelléklet 3. kép). A kemence tűztere nyolc zónára osztott, kialakítása hagyományos, "klasszikus" (2. ábra). A kemence felső és alsó tüzelésű. Felső tüzelésre GPP típusú boltozati laposlángú égők szolgálnak. Az alsó tűztérben kezdetben hagyományos parallel égőket, majd a kemence folyamatos korszerűsítésével SP4-D növelt impulzusú égőket építettek be (3. ábra).

Boltozati égők alkalmazása esetén a boltozat és a fenék távolsága nem lehet nagy, hogy a zónákat egymástól külön-külön is szabályozni lehessen. Az égők torkolatkeveréssel üzemelnek, a láng nagy sebességgel ég ki. Az égők alatti boltozati rész lényegesen magasabb hőmérsékletre hevül, mint a munkatér, így növekszik a sugárzással történő hőátadás. Boltozati égőkkel a teljes munkaszélesség mentén egyenletes hőbevezetés biztosítható.

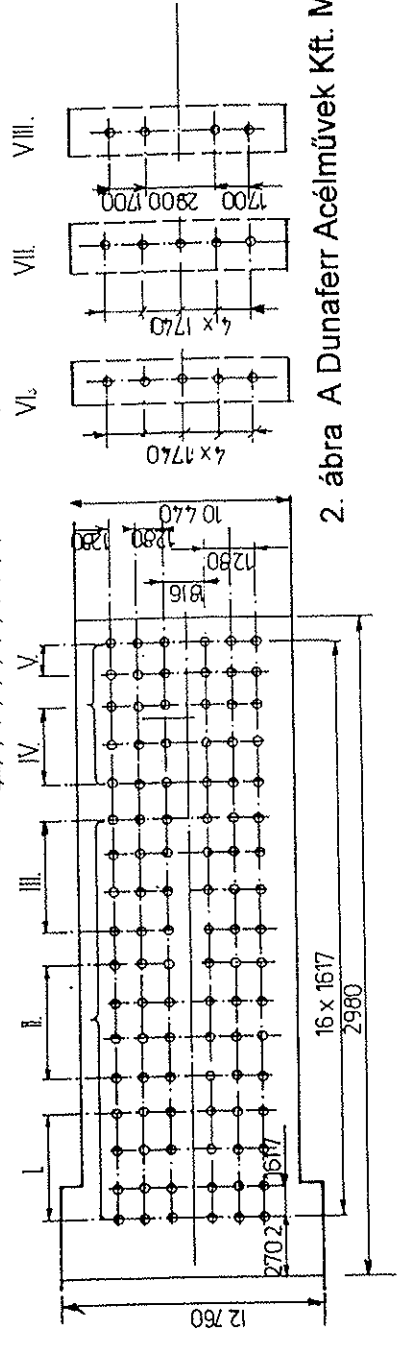
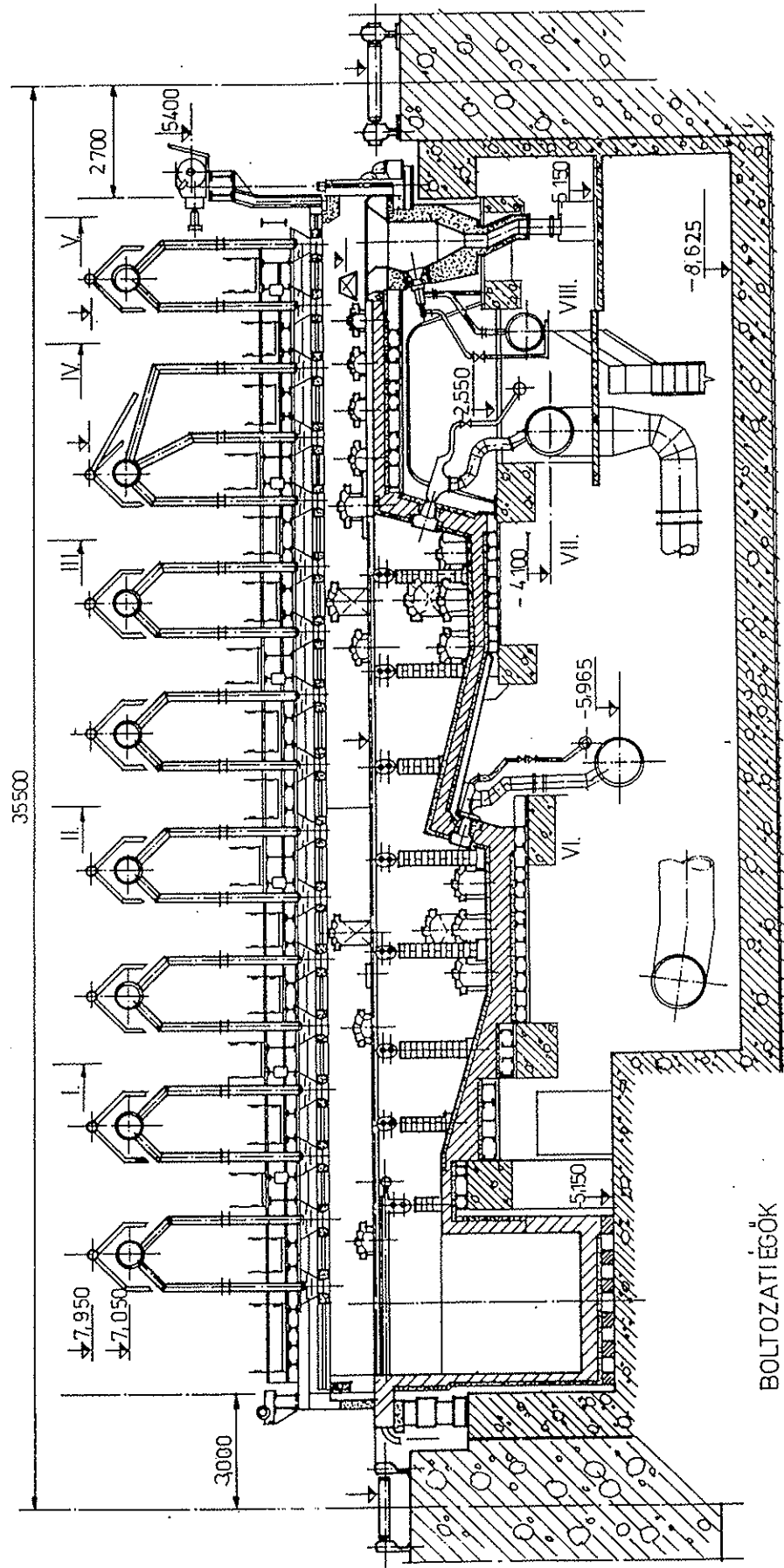
Az alsó zónák impulzus égői a bugák vastagság menti egyenletes átmelegedését biztosítják, a tűzterek kiépítése is ennek megfelelő (VI. és VII. zóna). Elsődleges cél a jelentős hőmennyiség bejuttatása, valamint a láng és a falazat megfelelő sugárzó képességének biztosítása.

A kemence minden zónájában mérik és szabályozzák a térhőmérsékletet, a bejuttatott tüzelőanyag és égési levegő mennyiségét ill. annak arányát. A folyamatos korszerűsítéseknek köszönhetően a kemence égő és tüzelőberendezéseire SIEMENS tüzelésvezérlő rendszert telepítettek 1995-ben. Az alkalmazott tüzelésvezérlő rendszer a 90-es évek színvonalának megfelelő, korszerű berendezés [47].

A tüzelésvezérlő rendszer folyamatosan ellenőrzi és szabályozza a vizsgált jellemzőket, kiépítésének megfelelően azonnali beavatkozásra képes, a jól kézben tartható tüzelésvezérlésnek köszönhetően az izzítási technológia fajlagos energiafelhasználása is javult.

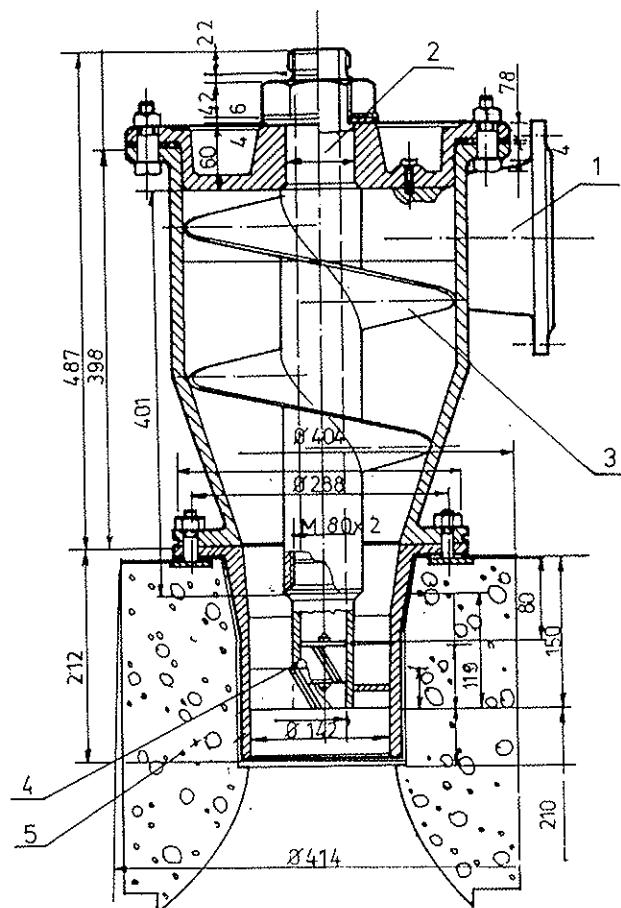
A kemence alsó és felső tűztereinek hőbevitelére közel azonos, az alsó tűztérben (VI. VII. zónákban) történik a tüzelőanyag 50-55%-ának, míg a felső zónákban (II.-V.) 45-50%-ának elégetése. A boltozati I. zónában nem történik tüzelőanyag bevezetés. Az alsó VIII. zóna hőbevitelére a kemence teljes hőfelhasználásának csak 2-3%-át éri el, így annak hatása jelentéktelen. A legintenzívebb hevítő zónák a felső II. és az alsó VI. zóna, a kemence tüzelőanyag felhasználásának közel 60-65%-a esik erre a két zónára. Ezen jellemzők a hevítési technológiát és az NO_x -képződést jelentősen meghatározzák.

Normál üzemmenet mellett az alsó zónákban közel két-két és félszer nagyobb mennyiségű NO_x keletkezik, mint a felső zónákban. Ezért az NO_x -emisszió csökkentő technológiák alkalmazásánál az alsó zónákra kell elsősorban összpontosítani a figyelmet [48, 49, 50].

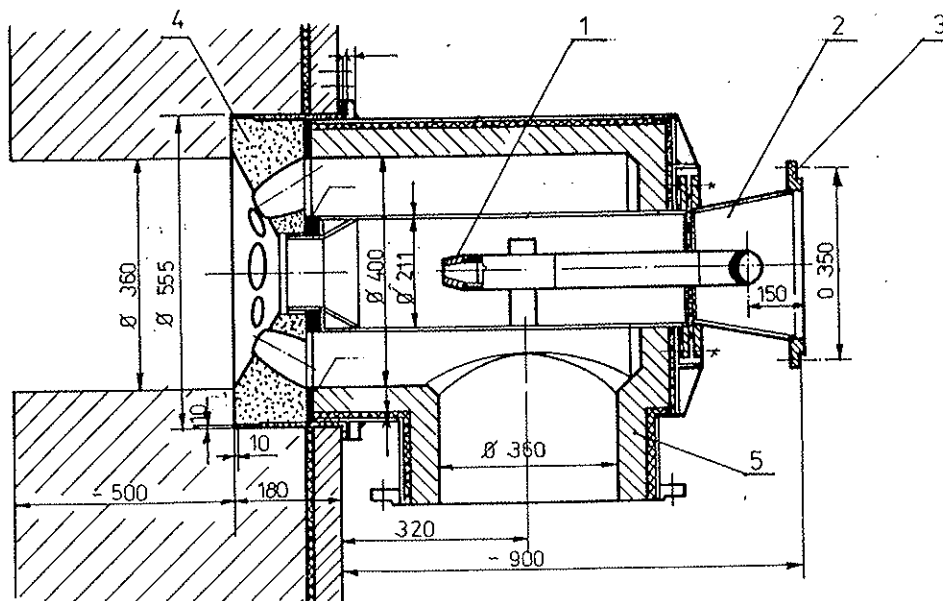


2. ábra A Dunaferr Acélművek Kft. Meleghengermű II. sz. tolókemencéje

- 1 levegőcsatlakozás
- 2 gázcsatlakozás
- 3 perdítő elem
- 4 gázfúvóka
- 5 kemence falazat



- 1 földgáz fúvóka
- 2 kevertgáz csatlakozócsonk
- 3 zárókarima
- 4 levegőcsatlakozó csonk
- 5 levegőperdítő tűzálló idom



3. ábra Tolókemence égője

A kemence égő és tüzelő berendezéseinek jelentős módosításokat hajtottak végre 1998-ban, majd 1999 július – augusztusában a szokásos nyári leállások alkalmával. Megkezdődött a boltozati égők átépítése. Saját fejlesztésű laposlángú égőket építettek be a kemence II. zónájába. Itt az elsődleges cél a zajemisszió csökkentése volt, üzemi tapasztalatok alapján ezen sajátfejlesztésű boltozati égők beváltak, ezért a 2000-es évi nagyjavítások alkalmával további zónák átépítése is megtörtént. Vizsgálataim a felső zónákra nem terjedtek ki.

Az alsó zónákban (VI., VII.) is jelentős módosításokat hajtottak végre. Megvalósult a növelt impulzusú égők melletti gázbefúvatás (szekunder gázbevezetés), továbbá az égőn belüli szekunder levegő bevezetés lehetősége is. Így számos primer NO_x -kibocsátást csökkentő technológia alkalmazása biztosított (4/a., 4/b. ábra) (fotómelléklet 5., 6. kép) [51, 52, 53].

Az eszközölt átépítéseknek, fejlesztéseknek köszönhetően adódott lehetőségünk a szakaszos tüzeléssel, osztott gázbevezetéssel és befolyásolt légfelesleggel történő mérések kivitelezésére az alsó zónákban.

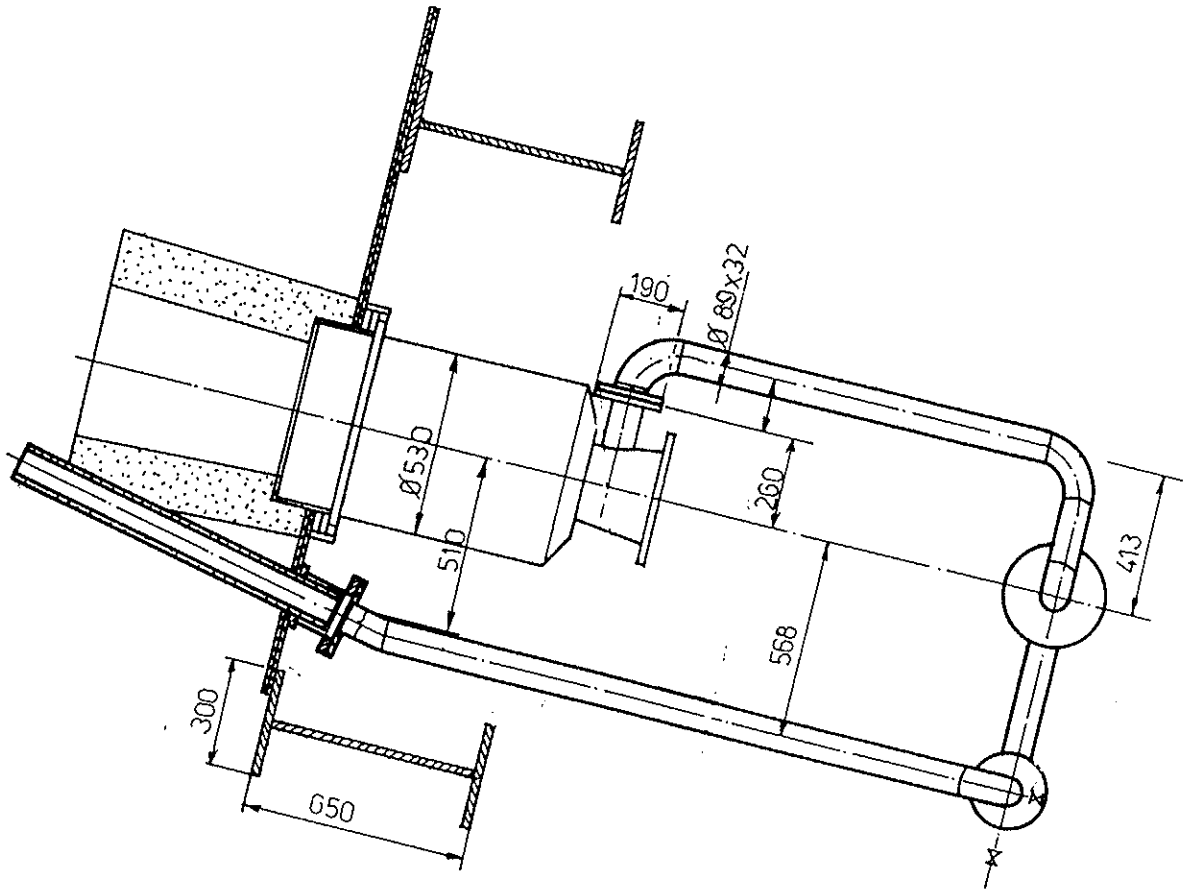
4.2 Vizsgált és befolyásolt jellemzők

A vizsgált és befolyásolt jellemzők meghatározása előtt részletesen tanulmányoztam a kemence technológiáját, a kemencén korábban végrehajtott korszerűsítéseket, az égető- és a tüzelőberendezéseken alkalmazható lehetőségeket.

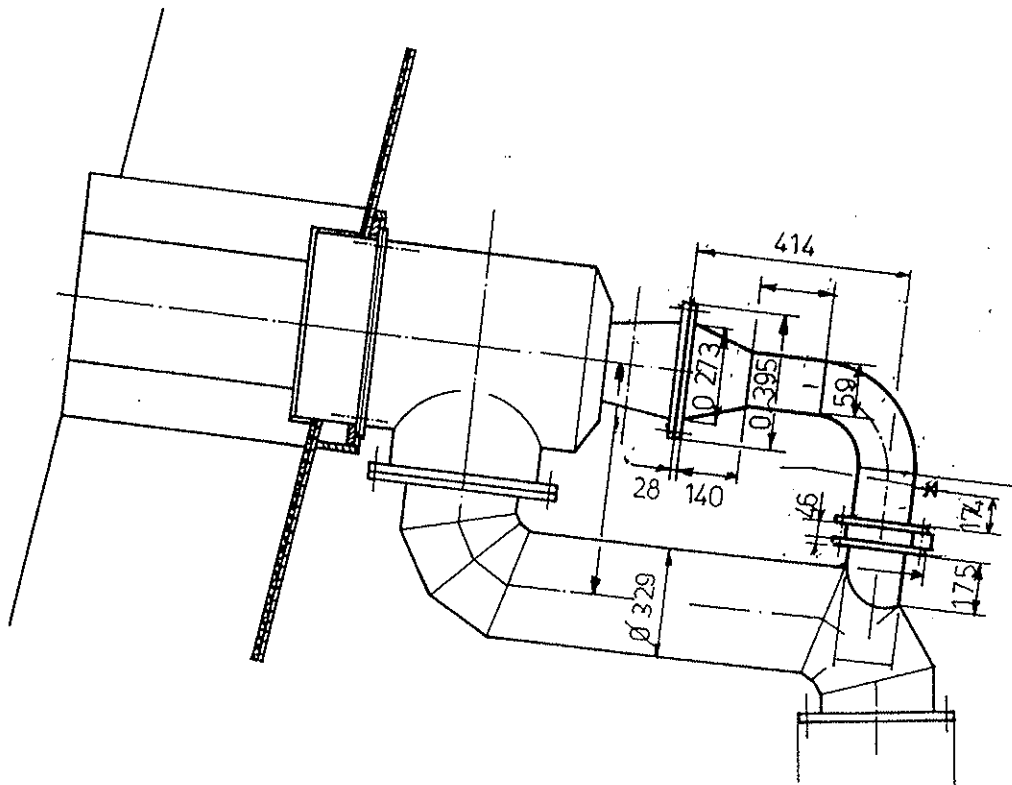
Számos szakértői vélemény, tanulmány és kísérleti jelentés tett javaslatot különböző módosításokra, a pontos célok és a várható eredmények megjelölésével [54, 55]. Sándor Péter doktori disszertációjában [56] vizsgálta a földgázról kamragázra történő átállás energetikai és környezetvédelmi vonatkozásait. Munkájában értékes mérési eredményeket tett közzé a kemence üzemével kapcsolatban. Vizsgálatai jó támpontokat adtak az üzemi kísérletek, a mérési terv elkészítéséhez, kivitelezéséhez. Ugyancsak hasznos információkat és értékes adatokat találtam Wopera Lászlóné kandidátusi disszertációjában is [57].

A DV II. sz. tolókemencénél alkalmazott technológiai paramétereket összevettem nemzetközi adatokkal és más hazai kemencék jellemzőivel. Megállapítható, hogy az alkalmazott technológia számos egyedi megoldást tartalmaz. Ennek oka a tüzelőanyag fajtájával és az alkalmazott hevítési technológiával magyarázható [58].

A tüzelőanyag fajtája, kémiai összetétele az égési sebességet, a láng sugárzókéességét befolyásolja, ezáltal jelentős hatást gyakorol a kemencetér sugárzási-, áramlási és hőátadási viszonyaira. A bugák felszínének



4/a. ábra SP4-D impulzuségő primer és szekunder gáz rendszere



4/b. ábra SP4-D impulzuségő primer és szekunder levegő rendszere

hőmérséklete és a füstgáz összetétele (tűztératmoszféra) a bugák oxidálódására és dekarbonizációjára gyakorol további jelentős hatást.

Nemzetközi gyakorlatnak megfelelően ezen kemencék tüzelőanyagai lehetnek tüzelőolaj, PB gáz, földgáz, vagy az integrált acélgyártás technológiája során képződő kokszkemencegáz, más nevén kamragáz, esetleg kohógáz, vagy ezen tüzelőanyagok valamilyen arányú keveréke [54].

Az esetek többségében az acélizzító kemencék tüzelőanyaga földgáz, a hazánkban működő toló- és léptetőgerendás kemencék is földgáz üzeműek, ez alól kivételt képeznek a Dunaferri vállalatcsoport meleghengerművében működő tolókemencék, melyek tüzelőanyaga kamragáz.

A vállalatcsoport a 90-es években szisztematikus energiaracionalizálási programot hajtott végre [60], a program keretében történt a tolókemencék földgázzal a kokszolóműben termelt kamragázra való átállítása. Természetesen kamragáz ellátási zavarok esetén a kemencék technológiája, égető és tüzelőrendszerei továbbra is képesek földgázüzemre vagy kamra- és földgáz keverékkel történő működésre is.

A félüzemi (laboratóriumi) méréseim során tüzelőanyagként földgáz és kamragáz hatását is vizsgáltam, üzemi méréseim során a tolókemence 100%-ban kamragázzal üzemelt, így földgázüzemű mérések kivitelezésére nem adódott lehetőség.

Az acél képlékeny melegalakításának hőmérséklete, így az izzító kemencék technológiai hőmérséklete is adott, természetesen ez a technológiai hőmérséklet a kemence tűzterének hosszmeteszete mentén, az előmelegítő, a hevítő és a hőkiegyenlítő zónákban változhat. Az alkalmazott térhőmérséklet 1150-1300 °C. A tűztér egyes zónáiban természetesen ezek a tartományok jóval szűkebbek. Az általam vizsgált tartományokat az alábbi értékhatárok jellemzik: 1150-1200 °C, 1200-1250 °C, 1250-1300 °C.

A tolókemence egészére alkalmazott légfelesleg értéke $\lambda=1,2-1,3$, ami magasabb mint más hasonló kemencéknél alkalmazott acélizzító technológia levegőtényezője. Ennek oka a hőhasznosító rekuperátorok védelme, erről részletesen a kemence technológiai utasításai adnak tájékoztatást [58].

A félüzemi laboratóriumi vizsgálati tartományt ezért kiszélesítettem: a DV II. sz. tolókemence technológiai paramétereinek vizsgálata mellett, más hasonló izzító kemence paramétereit is figyelembe vettem; így $\lambda= 1,05; 1,1; 1,2; 1,3$ értékek, sőt egyes mérési soroknál $\lambda=0,9$ és $\lambda=1,4$ levegőtényező hatását is vizsgáltam. A "λ" értékek a kemence "teljes", összesített levegőtényezőjére vonatkoznak (4. táblázat).

4. táblázat. A fűlüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok beállításai

**A LABORATÓRIUMI KÍSÉRLETI MÉRÉSEK SORÁN VIZSGALT JELLEMZŐK
(A KÍSÉRLETI MÉRÉSEK BEÁLLÍTÁSAI)**

O ₂ (tf%) száraz füstgáz	-	0	1.1	2.1	2.9	3.8	4.5	5.3	6.4
Levegőtényező λ=	0.9	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.4

FÖLDGÁZÜZEMŰ KÍSÉRLETI MÉRÉSEK

Átlagos földgázösszetétel (MOL/Tigáz): (tf%) CH₄ 90.4, C₂H₆ 2.2, C₃H₈ 0.94, C₄H₁₀ 0.65, C₅H₁₂ 0.26, C₆H₁₄ 0.01, N₂ 2.67, CO₂ 2.87

MÉRÉSEK ÁLLANDÓ HŐTERHELÉS MELLETT

1150–1200 °C		X	X			X			X
1200–1250 °C		X	X			X			X
1250–1300 °C		X	X			X			X

MÉRÉSEK NÖVELT HŐTERHELÉS MELLETT

1150–1200 °C		X	X			X			X
1200–1250 °C	X		X			X			X
1250–1300 °C		X	X			X			X

SZINTETIKUS KAMRAGAZÜZEMŰ KÍSÉRLETI MÉRÉSEK

Gázösszetétel (SIAD Hungarogáz): (tf%) H₂ 59.9, CH₄ 29.0, CO 8.5, CO₂ 2.5

MÉRÉSEK ÁLLANDÓ HŐTERHELÉS MELLETT

1200–1300 °C			X			X			X
--------------	--	--	---	--	--	---	--	--	---

4.3 A félüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok ismertetése

Vizsgálataimat 1998 decemberében előzetes mérési sorozattal kezdtem, majd részletes vizsgálataimat 1999 május – augusztusában végeztem a Miskolci Egyetem Tüzeléstani Tsz. MTA Nagyhőmérsékletű Folyamatok Kutatócsoport Laboratóriumában.

A laboratóriumi mérések elsődleges célja, hogy az acélipari tolókemencék technológiai paraméterei (térhőmérséklete, kemenceatmoszférája) mellett kísérleti úton határozzam meg a szakaszos tüzeléssel, késleltetett tüzelőanyag és égési levegő bevezetéssel (az újra- illetve utóégetéssel) elérhető NO_x -emisszió csökkentés mértékét.

A laboratóriumi vizsgálatok során az ipari berendezések esetében amúgy bonyolult kemenceüzem paraméterei jól kézben tarthatóak. A befolyásolt tényezők külön-külön változtathatók, ennek megfelelően hatásuk is külön-külön vizsgálható. A félüzemi (laboratóriumi) kísérletek eredményei alapján határozhatók meg az üzemi vizsgálatok paraméterei.

A DV II. sz. tolókemence alsó tűzterének átépítése következtében mód van a tüzelőanyag primer (égő) oldali és szekunder gázfúvókán közvetlen a lángfront utáni befúvatásra, valamint az égési levegő primer és szekunder égőn belüli megosztására is, továbbá szekunder égési levegő bejuttatható még a lehuzat, a távozó füstgáz irányába eső tűztérzónák többlet levegő bevitelével is.

Ennek megfelelően építettük ki a hengeres félüzemi kísérleti kemence tűztér módosításait is. Az ABC égő lángfrontja után pozícionálva a szekunder gázbefúvatást, majd a szekunder égési levegő bevezetést a kaloriméter zóna elején biztosítottuk. Ezzel a megoldással a tolókemencék alsó tűztér zónáinak azon esetét modelleztük, ahol a szekunder égési levegő a lehuzat irányába eső zónák többlet égési levegő bevitelével biztosított (4.3.1.1 fejezet).

A szekunder gáz és égési levegő bevezetés helye jelentősen befolyásolhatja a tűztér áramlási és sebességi viszonyait. Ezért a pontos kiépítés várható hatását mérnöki közelítő számítások útján ellenőriztem. Meg kell állapítani azonban azt a tényt, hogy az ipari berendezés hőteljesítménye folyamatosan és jelentősen változik, ennek következtében ugyancsak folyamatosan és jelentősen változnak a tűztér áramlási- és sebességi viszonyai is. Ezért a tolókemencék tűzterének áramlási viszonyai nagy pontossággal nem, csak közelítőleg modellezhetők félüzemi (laboratóriumi) körülmények között.

4.3.1 Kísérleti berendezés ismertetése

4.3.1.1 A félüzemi kísérleti kemence kialakítása

A kísérleti berendezés hengeres tűzterű kemence, a fekvő tűztér tengelye megegyezik az égő tengelyével. Az égő a kemence homlokfalára szerelt. A kemence (5. ábra) (fotómelléklet 1. kép) [60] acéllemez köpenyébe szálás szigetelő és tűzálló anyagból készült falazatot építettek be. A falazat belső rétege iszapolt szálás tűzállóanyag hengerekből készült. A tűzállófal ilyen kiképzése a kis hőkapacitás miatt gyors hőmérsékletkiegyenlítődést biztosít. A kemence falhőmérséklete a hőterhelés változtatása esetén 5-7 min alatt ismét egyensúlyba került, ami lehetővé tette a mérések holtidejének csökkenését.

Az égéstermékek a hengeres kemencetérből a kemence tengelyével azonos tengelyű kaloriméter térbe jutnak. Itt vízhűtésű acélcső hűti a füstgázt, ami a kaloriméter tér végén a füstgázelszívó rendszerbe jut.

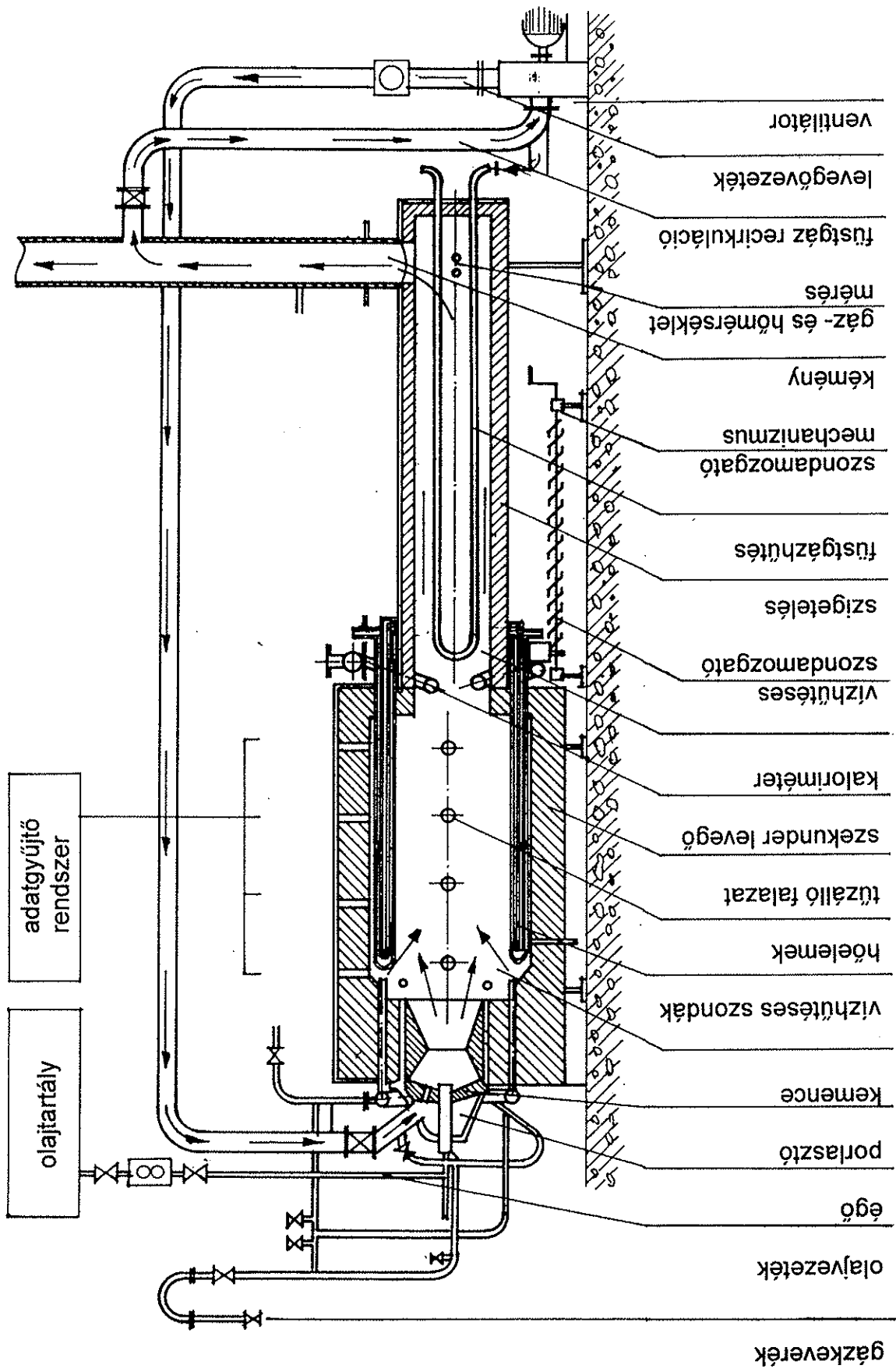
A kemencetér hőmérséklete adott hőterhelés mellett vízhűtéses szondák betolásával szabályozható. A 6 db. zártvégű (cső a csőben kiépítésű) hőálló acélcső, vízrendszere gyűrű alakban helyezkedik el a kaloriméter tér körül és a kemence végfalán kiképzett nyílásokon át jutnak a csövek a kemencetérbe.

A kemencetér hosszában öt helyen PtRh-Pt hőelemekkel mértük a térhőmérsékletet és a füstgázhőmérsékletet. Az égőtől számított második síkban három, különböző vastagságú hőelemet használtunk, hogy a hőelemek hőszugárzásának hatását a 0 vastagságú elemre való extrapolálással kiszűrhető legyen.

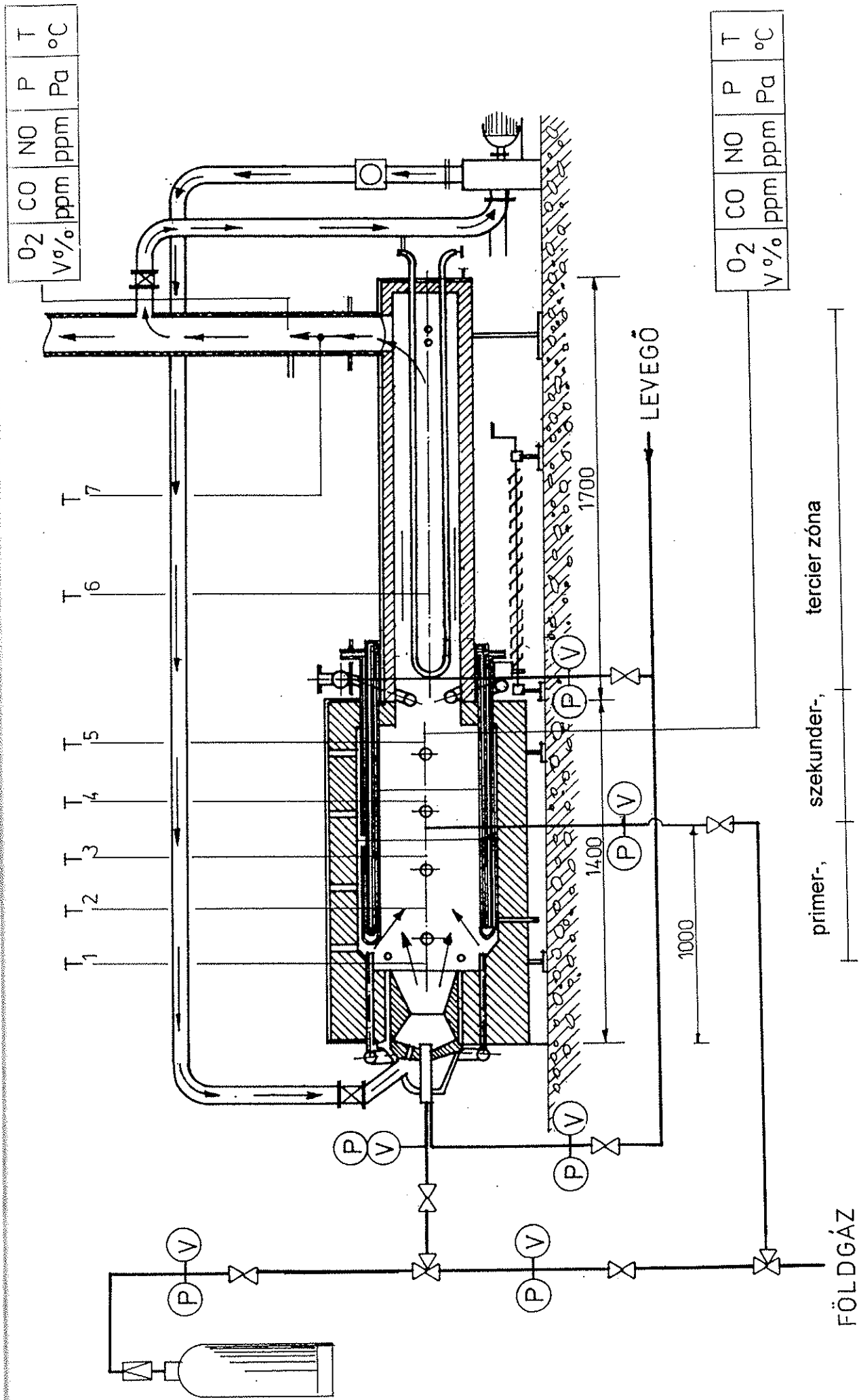
A kemence tűzterét igényeinknek megfelelően három zónára osztottuk, hogy kivitelezhetőek legyenek a szakaszos tüzelés (több fokozatú tüzelőanyag és égési levegő bevezetés) beállításai. Ennek megfelelően a fekvő hengeres tűzteret két részre, primer zónára –az égőtől a szekundergáz bevezetéséig terjedő részre–, ill. a szekunder, újraégető (átmeneti redukáló) zónára osztottuk, mely a szekundergáz bevezetéstől a kaloriméter rész kezdetéig terjedt. A szekunder zónában történik a szekunder gáz bevezetése egy hőálló acélcsövön keresztül. A terciér (kiegészítő) zóna a tulajdonképpeni kaloriméter rész, itt történik a szekunder levegő bevezetése (6. ábra) (fotómelléklet 2. kép). Vizsgálataim során a kísérleti kemence ezen kialakítását alkalmaztam.

4.3.1.2 A kemence szabályozása, mérő és adatgyűjtő rendszere

Méréseim során a szabályozással szemben támasztott elsődleges követelmények, hogy a zónák tüzelőanyag és égési levegő ellátását, annak mennyiségét gyorsan és pontosan tudjuk mérni és szabályozni.



5. ábra A félüzemi (laboratóriumi) kísérleti kemence kialakítása



6. ábra A fűzési (laboratóriumi) kísérleti kemence mérő- és adatgyűjtő rendszere

A kemence már kiépített primer levegő ellátó rendszerén nem változtattunk. A terciér zóna szekunder levegő bevezetését teljesen leválasztottuk, önálló ventilátorral és szabályozással láttuk el. A szekunder (átmeneti redukáló) zóna gázbevezetését is önálló hálózati csatlakozással és szabályozással oldottuk meg, így szolgáltuk ki az újraégető eljárás három zónáját.

Primer zóna szabályozása:

- Levegőellátó ventilátor
- Gázbevezetés kisnyomású hálózatról
- Gázmenyiség szabályozószelep
- Gáztérfogatáram-mérő
- Gáznyomás-mérő
- Levegőszabályozó-szelep
- Levegőtérfogatáram-mérő
- Levegőnyomás-mérő

Szekunder "újraégető" zóna szabályozása:

- Gázbevezetés kisnyomású hálózatról
- Gázszabályozó-szelep
- Gáztérfogatáram-mérő
- Gáznyomás-mérő

Terciér "kiégető" zóna szabályozása:

- Levegőellátó ventilátor II.
- Levegőszabályozó-szelep
- Levegőtérfogatáram-mérő
- Levegőnyomás-mérő

A hőmérsékletet a kísérleti kemence tengelyébe helyezett PtRh-Pt hőelemekkel mértük, melyek adatait mérési adatgyűjtő segítségével PC-n regisztráltuk.

Ezen kívül mértük és regisztráltuk a zónákba bejutatott tüzelőanyag és égési levegő mennyiségét. A gyors vizuális áttekinthetőség érdekében rotamétereket is beépítettünk, közvetlenül a bevezető csomópontok (ill, égő betáplálás) elé, a levegő- és a gázvezetékekbe.

A távozó füstgáz alkotóinak (NO_x , O_2 , CO , CO_2) meghatározására, a füstgáz csatornába épített mintavevő csöveken keresztül NO_x elemzésre chemoluminescens elven működő, a Thermal Environmental Instruments cég által gyártott elemző készüléket használtunk. A füstgáz oxigén- és széndioxidtartalmát JUNKALOR típusú elemző készülékkel mértük. Ezen műszerek a kísérleti mérések során állandó üzemben működtek. Adataikat vonalíron (NO_x elemző) és mérési adatgyűjtő rendszeren keresztül PC-n is regisztráltuk.

A távozó füstgáz CO' koncentrációját Delta 2000 MRU típusú hordozható füstgázelemzővel mértük, minden mérési beállítás esetén (szakaszos üzemben). Ugyancsak ezekkel a mérő műszerekkel mértük a különböző mérési beállítások során (szintén szakaszos üzemben) a szekunder zóna füstgáz alkotóit (NO_x', O₂', CO', CO₂').

4.3.2. Az alkalmazott NO_x -emisszió csökkentő eljárás ismertetése

Több mint negyven évvel ezelőtt elsőként Myerson [61] publikálta kutatási eredményeit, melyben ismertette, hogy a szénhidrogén gyökök jól és gyorsan reagálnak NO-dal. Ezen módszert, NO -emisszió csökkentésre elsőként Wendt [62, 63, 64] alkalmazta és nevezte el a több lépcsős, szakaszos tüzelést alkalmazó eljárást "reburning"-nek, újra- illetve utóégetésnek.

Az újraégető eljárás alkalmazása során a tűzteret legalább három vagy annál több zónára oszthatjuk:

- Az elsődleges "primer" zónában történik a tüzelőanyag közel 70-90%-ának elégetése és természetesen ezáltal a hőbevitel is ebben a zónában a legjelentősebb. A tüzelés során normál, a gáztüzelésnek, ill. az alkalmazott technológiának megfelelő levegőtényezőt alkalmazunk.
- Az újraégető "reburning" (szekunder) zónába juttatjuk a tüzelőanyag, 10-30%-át, ezáltal átmeneti redukáló atmoszférát hozunk létre. Itt redukáljuk az elsődleges zónában képződött NO jelentős részét. Fontos, hogy a tüzelőanyag befúvatásánál a lehetőségekhez mérten minél jobb keveredést próbáljunk elérni, hogy ezzel is javítsuk az újraégető zónában a NO redukció hatásfokát.
- A kiégető "burnout" (tercier) zónába égési levegőt juttatunk, mellyel megszüntetjük a redukáló atmoszférát. Ebben a zónában oxidáljuk az el nem égetett tüzelőanyag alkotókat, kedvezően befolyásoljuk a füstgázösszetételt, és javítjuk a rendszer hőtechnikai hatásfokát.

4.3.3 Földgázüzemű mérések

Földgáz tüzelőanyag alkalmazása mellett, két vizsgálati elv szerint hajtottuk végre méréseinket. Megkülönböztettünk ún. *állandó hőbevitelű, azaz hőntartó vizsgálati sorozatot*, ebben az esetben a kísérleti kemencébe bejuttatott földgáz mennyisége állandó volt, a primer és a szekunder bevezetés aránya változott.

Valamint megkülönböztettünk ún. *növelt hőbevitelű sorozatot*, ahol a primer zónába bejuttatott gáz mennyisége volt állandó és a szekunder gázbevezetés képezte a tulajdonképpeni többlet gáz- ill. hőbevitelt.

4.3.3.1 Állandó hőterhelés melletti vizsgálatok

A hőtartó mérések során a primer és a szekunder (újraégető) zónába bejuttatott összes földgázmennyiséget tartottuk állandó értéken, valamint a primer és a terciér (kiégető) zónába bejuttatott összes levegő mennyisége volt ugyancsak állandó. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a primer oldalon elvett gáz és levegő mennyiségét az újraégető ill. a kiégető zónába juttattuk vissza.

A vizsgált hőmérséklet tartományt, valamint az alkalmazott légfelesleget a 4.2 fejezetben közölt szempontoknak megfelelően vettük fel, a beállításokat részletesen a 4. táblázat tartalmazza.

A mérések során lépcsőzetesen haladtunk, $0,1 \text{ m}^3$ -ként csökkentettük a primer zónába juttatott gáz mennyiségét, majd ezt a mennyiséget vezettük "vissza" a szekunder "újraégető" zónába, így a szekunder oldalon az összes tüzelőanyag 5-30%-át juttattuk be.

A bejuttatott összes égési levegő mennyiségét az alkalmazott légfelesleg határozta meg. A mérések során a primer zónába bejuttatott égési levegő mennyiségét a $0,1 \text{ m}^3$ -ként csökkentett földgáz mennyiségének, ill. az alkalmazott levegőfelesleg arányának megfelelően csökkentettük, majd juttattuk "vissza" a terciér kiégető zónába. Az állandó hőbevitel melletti vizsgálatok elvét, a primer-, a szekunder- és a terciér zónába bevitt, illetve a már bent lévő tüzelőanyag és égési levegő mennyiségének megoszlását szemlélteti a 7. ábra egy tetszőlegesen kiválasztott mérési sorozat bemutatásával.

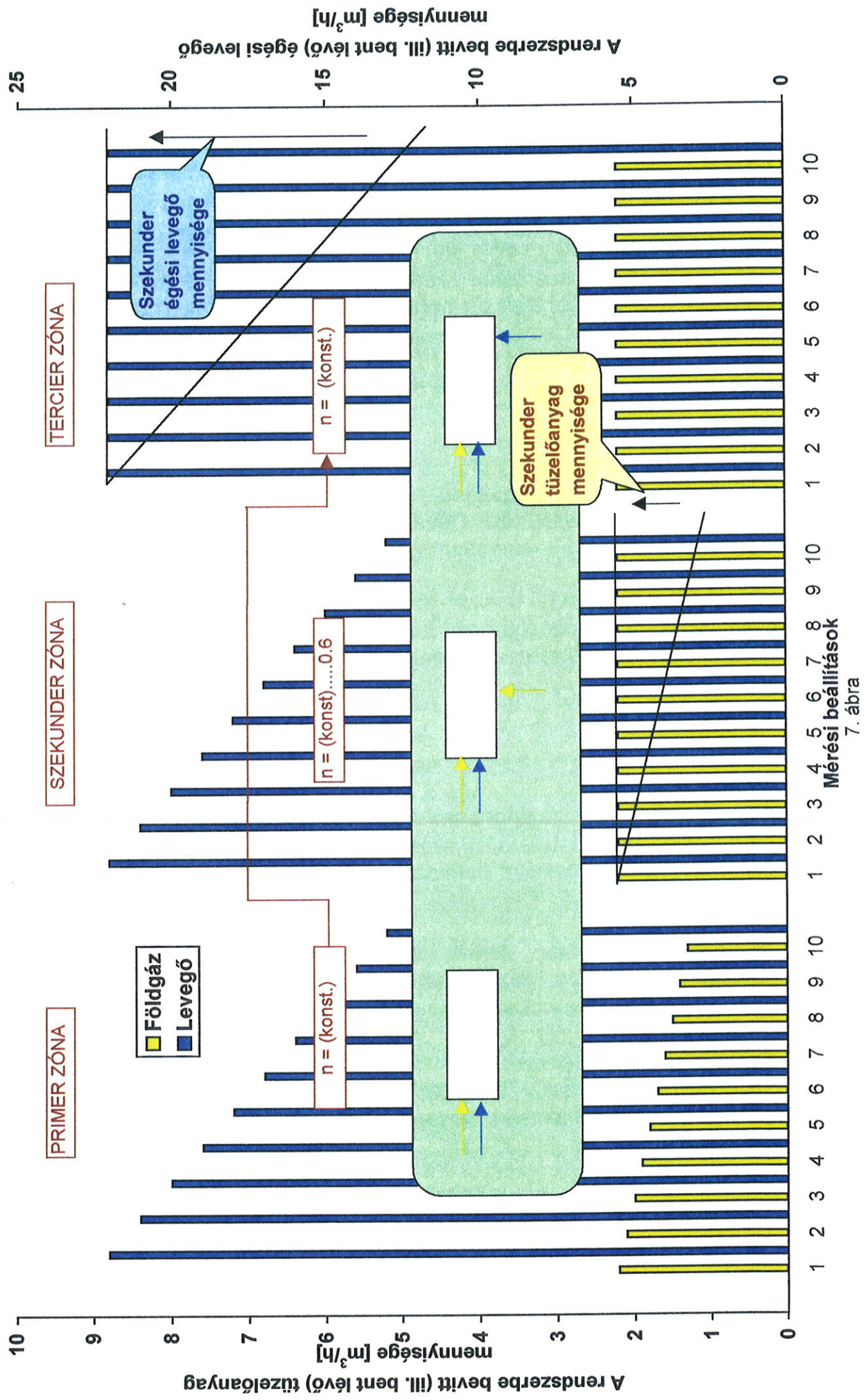
Mivel a mérések során a primer zóna gáz és levegő mennyiségét változtattuk egy bizonyos mérési sorozaton belül, ezért már a primer zóna nem stacioner voltából fakadóan is változhatott a képződött NO_x mennyisége. Ha minimálisan is, de változtak a primer zóna áramlási és sebességi viszonyai, a láng mérete, fizikai paramétere. A mérési sorozatokkal azonban nem változtattuk a bejuttatott összes hőmennyiséget, így a tüzelőberendezés fajlagos energia felhasználása változatlan volt. Üzemi, termelő berendezések esetén csak ez a vizsgálati szempont jöhet szóba.

A vizsgálatok során alkalmazott pontos beállításokat a melléklet (laboratóriumi vizsgálatok beállításai, mért és regisztrált jellemzők része) tartalmazza. Valamint a melléklet 1-7. ábrái szemléltetik a vizsgálatokkal elért NO_x -kibocsátás csökkentés mértékét.

4.3.3.2 Növelt hőterhelés melletti vizsgálatok

Ezen vizsgálati szempont szerint, a hőmérséklet tartományt, valamint az alkalmazott légfelesleget ugyancsak a 4.2 fejezetben közölt szempontoknak megfelelően vettem fel (4. táblázat). A mérési sorozatokban a primer zóna gáz és levegő mennyiségét a vizsgálatok során állandó értéken tartottuk.

NO_x KIBOCSÁTÁS CSÖKKENTÉS VIZSGÁLATA ÁLLANDÓ HŐBEVITEL MELLETT



A szekunder (átmeneti redukáló) zónába juttattuk a többlet tüzelőanyagot (mennyiségét $0,1 \text{ m}^3$ -ként lépcsőzetesen növelve), majd a tercier "kiégető" zónába a szekunder égési levegőt. Az égési levegő mennyiségét a szekunder zónába jutatott gáz mennyisége alapján (a rendszer egészére vonatkoztatott) légszeleppel értékek megfelelően szabályoztuk.

A növelt hőmennyiségű mérési sorozataink elsődleges célja, hogy stacioner primer zóna viszonyai esetén, (ami egyben állandó NO_x -koncentrációt is jelent a primer zónában) a kemence fajlagos hőfelhasználásának növelése (szekunder oldalon bejuttatott többlet tüzelőanyag és égési levegő mennyiség) mellett vizsgáljuk az újraégető eljárás NO_x -kibocsátást csökkentő hatását. A teljes kibocsátott mennyiség meghatározása esetén figyelembe kell venni, hogy a növelt hőbevitellel folyamatosan növekedett a rendszerbe bevitt tüzelőanyag mennyisége.

A növelt hőbevitelű vizsgálatok elvét, a változatlan primer-, valamint a befolyásolt szekunder- és tercier zónákba bejuttatott növelt tüzelőanyag és égési levegő mennyiségének megoszlását szemlélteti a 8. ábra egy tetszőlegesen kiválasztott mérési sorozat bemutatásával.

A vizsgálatok során alkalmazott pontos beállításokat ugyancsak a melléklet (a laboratóriumi vizsgálatok beállításai, mért és regisztrált jellemzők része) tartalmazza. A melléklet 8–14. ábrái szemléltetik részletesen a vizsgálatok során elért NO_x -kibocsátás csökkentés mértékét.

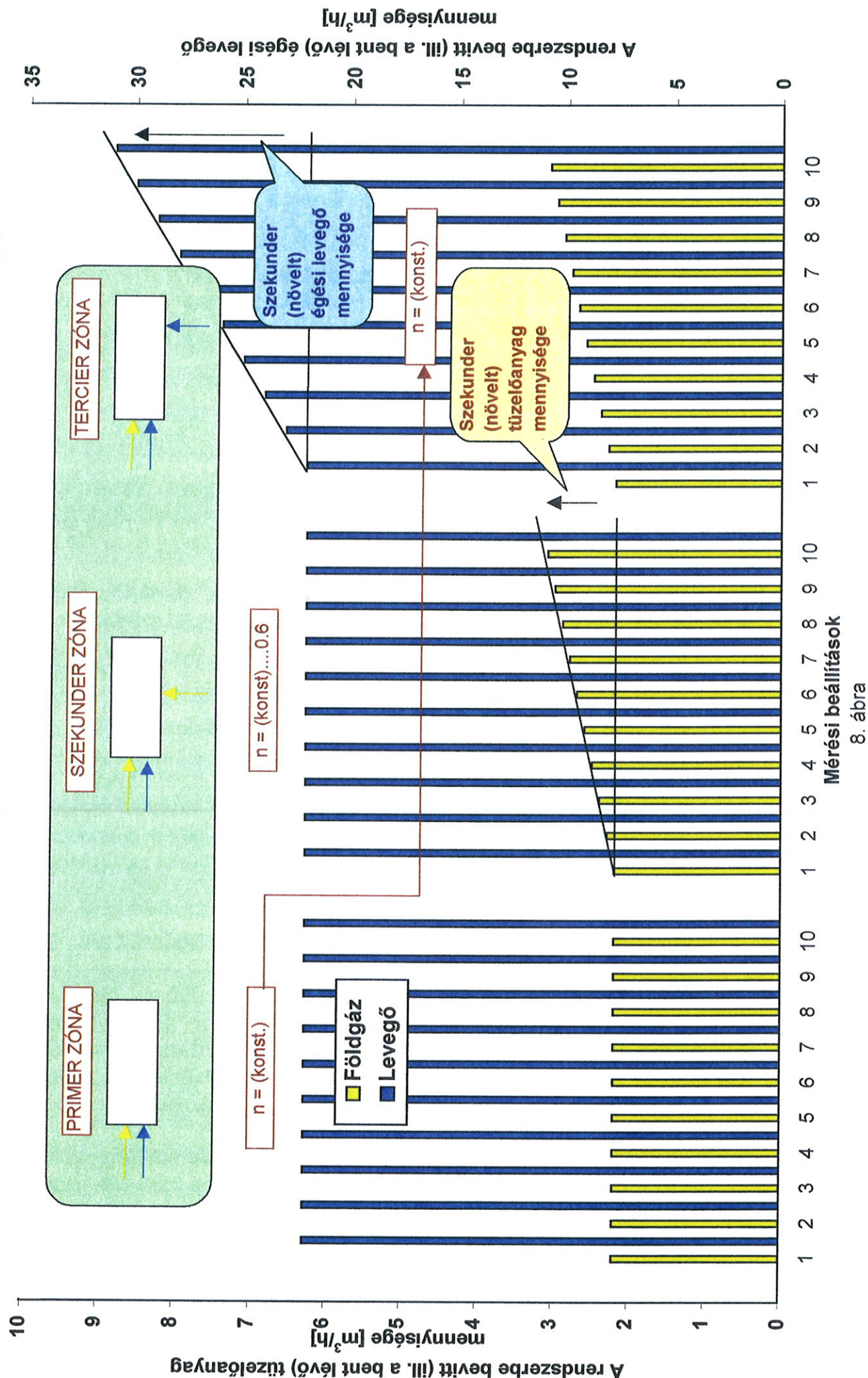
4.3.4 Szintetikus kamragázüzemű mérések

A DV II. sz. tolókemencénél alkalmazott kamragázból technikai okok miatt nem hozhattunk mintát. Ezért a kamragáz tüzeléstechnikai paramétereit befolyásoló alkotókból, szintetikus úton előállított műszaki laborgáz keveréket használtunk.

A palackos gázellátás jelentős költségei miatt, nem állt módomban a földgázüzemű mérések során alkalmazott valamennyi beállítást kísérleti úton kimérni. A vizsgálatok során a hőmérséklet tartományt ($1200\text{--}1300 \text{ }^\circ\text{C}$) értékhatárok, a levegőtényező értékét ($\lambda = 1,1; 1,2; 1,3; 1,4$) között tartottam (a megadott arányszámok a kemence "teljes" összesített levegőtényezőjét fejezik ki). Így a szintetikus kamragáz tüzelésű vizsgálatok a DV II. sz. tolókemence alsó izzító zónáiban alkalmazott technológia paramétereknek feleltek meg.

A vizsgálatok során a kísérleti kemence felfűtését földgázüzemben végeztük, csak a mérések idejére váltottunk kamragáz üzemmódra. Nem vizsgáltuk a növelt hőterhelés hatását sem, csak állandó tüzelőanyag bevitelű, hőntartó

NO_x KIBOCSÁTÁS CSÖKKENTÉS VIZSGÁLATA NÖVELT HŐBEVITEL MELLETT



sorozatokat vizsgáltunk, ipari alkalmazás esetén ugyanis csak ez valósítható meg. A vizsgálatok célja az elérhető NO_x -kibocsátás csökkentés mértékének meghatározása mellett a későbbi üzemi berendezésen végzett vizsgálatok előkészítése volt.

4.3.5 A vizsgált módszer NO_x -emissziót csökkentő hatása

A szakaszos tüzeléssel, osztott tüzelőanyag és égési levegő bevezetéssel elérhető NO_x -kibocsátás csökkentés hatásfokát jelentősen befolyásolják az eljárás különböző fázisában (zónáiban) alkalmazott tüzeléstechnikai paraméterek.

4.3.5.1 A "primer" zóna befolyása az eljárásra

Az alkalmazott levegőtényező jelentősen befolyásolja az "újraégető" eljárás hatásfokát. Ebben a zónában határozható meg a technológiai hőmérséklet és itt állítható be a füstgáz összetétel is.

A primer zónában nagy figyelmet kell szentelni a zónából kilépő füstgáz oxigéntartalmára. Az oxigénszintet a bejuttatott tüzelőanyag és égési levegő mennyiségével, ill. a füstgázmintából vett elemzéssel és újbóli szabályozással állíthatjuk be [65].

A megfelelően szabályozott oxigénkoncentrációval lehet beállítani a későbbi újraégető zónában "szabadon rendelkezésre álló" CH gyökök mennyiségét, és ezáltal elősegíteni az aktív nitrogén alkotók N_2 -vé történő redukcióját. Ugyanis ha a primer zónából távozó füstgáz oxigénkoncentrációja túl magas, akkor a NO redukciója csökken, a CH -gyökök elégnek anélkül, hogy NO -redukáló tulajdonságukat kifejthetnék.

4.3.5.2 Az "újraégető" szekunder zóna befolyása az eljárásra

Az újraégető zónába juttatott tüzelőanyag mennyisége, valamint a szekunder tüzelőanyag bejuttatásának módja, kulcsszerepet játszik az eljárás hatásfokára. A redukáló gáz gyors és megfelelő szintű keveredése az elsődleges zóna füstgázával különösképpen fontos, mert a tolókemence tűzterében való tartózkodási idő korlátozott.

A redukáló gáz mennyisége befolyásolja az "újraégető" eljárás hatásfokát és a kemence ill. az adott technológia gazdaságosságát is. A szükséges reakcióidőt biztosítanunk kell a rendelkezésre álló kemencetérben (tűztérben), és az alkalmazott izzítási technológia mellett. A reakcióidő jelentősen függ a helyi viszonyoktól: az oxigén koncentrációjától, és a redukáló CH -gyökök mennyiségétől.

Ebben a zónában az eljárás akkor a legeredményesebb, ha az alkalmazott technológia által "elbír" legmagasabb térhőmérsékleten és $\lambda = 0,7-0,9$ körüli levegőtényezővel üzemelünk [64, 65].

A "reburning" újraégető zónán belül a NO először HCN -né alakul az alábbiak szerint [63, 66, 67, 68]:



A HCN tovább bomlik:

• vagy NH_2 -né az alábbiak szerint:



• vagy N_2 -né az alábbiak szerint:



A NH_2 átalakul:

• vagy NH_3 az alábbiak szerint:



• vagy nitrogénné:



Ha a NO -koncentráció alacsony, akkor az NH_i visszaalakul NO -dá:



4.3.5.3 A "tercier" kiégető zóna befolyása az eljárásra

A kiégető zónával szemben támasztott fő követelmény, hogy a zónából kilépő füstgázban az elégetlen füstgázalkotók szintje minimális legyen, a CO -koncentráció nem haladhatja meg az előírt értéket (<100 ppm), további elvárás az is, hogy a zónában az utóégetés során csak minimálisan növekedjen a szekunder "újraégető" zónában lecsökkent NO_x -koncentrációja.

Természetesen, ehhez megfelelő égési levegő befúvatást, és hőmérsékletet kell biztosítani. A szekunder zónából jelentős mennyiségű aktív nitrogénalkotók (HCN, NO) kerülnek a kiégető zónába. Az égési levegőt bejuttatva az aktív nitrogénalkotók egy része N_2 -né alakul, azonban ezzel párhuzamosan az aktív nitrogénalkotók egy másik jelentős része NO_x -dá oxidálódhat.

4.3.6. A félüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok eredményei

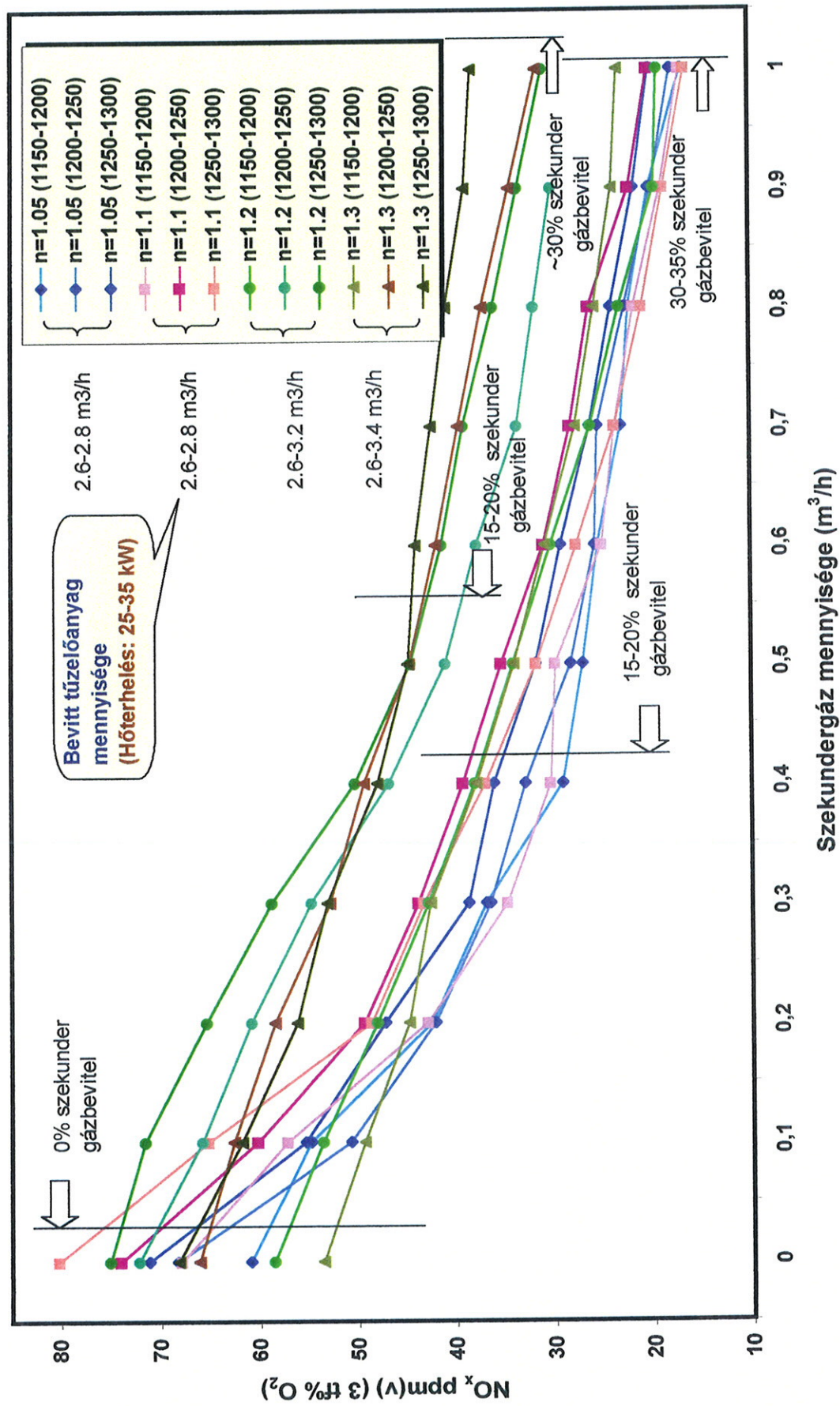
A laboratóriumi vizsgálatok alapján jelentős 60-70%-os, egyes beállítások mellett 80%-os NO_x -emisszió csökkentés is elérhető. A NO_x -kibocsátás csökkentés mértékére a legjelentősebb hatást a szekunder oldalon bejuttatott tüzelőanyag mennyisége gyakorolja. A földgázüzemű állandó hőbevitelű mérési sorozatok eredményeit összefoglalóan a 9. ábra szemlélteti, részleteiben a melléklet 1-7. ábrái.

Acélipari izzítókemencék munkatér-hőmérséklet tartományában (1150–1200 °C; 1200-1250 °C; 1250–1300 °C) végzett vizsgálatok alapján az eljárás NO_x -kibocsátás csökkentő hatása a magasabb hőmérséklet tartományokban jelentősebb. A primer és a szekunder (átmeneti redukáló) zóna vonatkozásában is a magasabb hőmérséklet értékek befolyásolják kedvezőbben az eljárás hatékonyságát.

A vizsgált hőmérséklet tartományokon belül, ha a légfelesleg értékét a tüzelőberendezés egészére vonatkoztatva értjük ($\lambda = 1,05; 1,1; 1,2; 1,3$), akkor a kisebb légfelesleg alkalmazása esetén a NO_x -kibocsátás tovább csökkenthető. A szekunder átmeneti redukáló zónák vonatkozásában a $\lambda = 0,7 - 0,9$ (ha a levegő tényező értékét a zóna vonatkozásában értjük) értékek alkalmazása esetén a legnagyobb arányú a NO_x -koncentráció csökkenés mértéke.

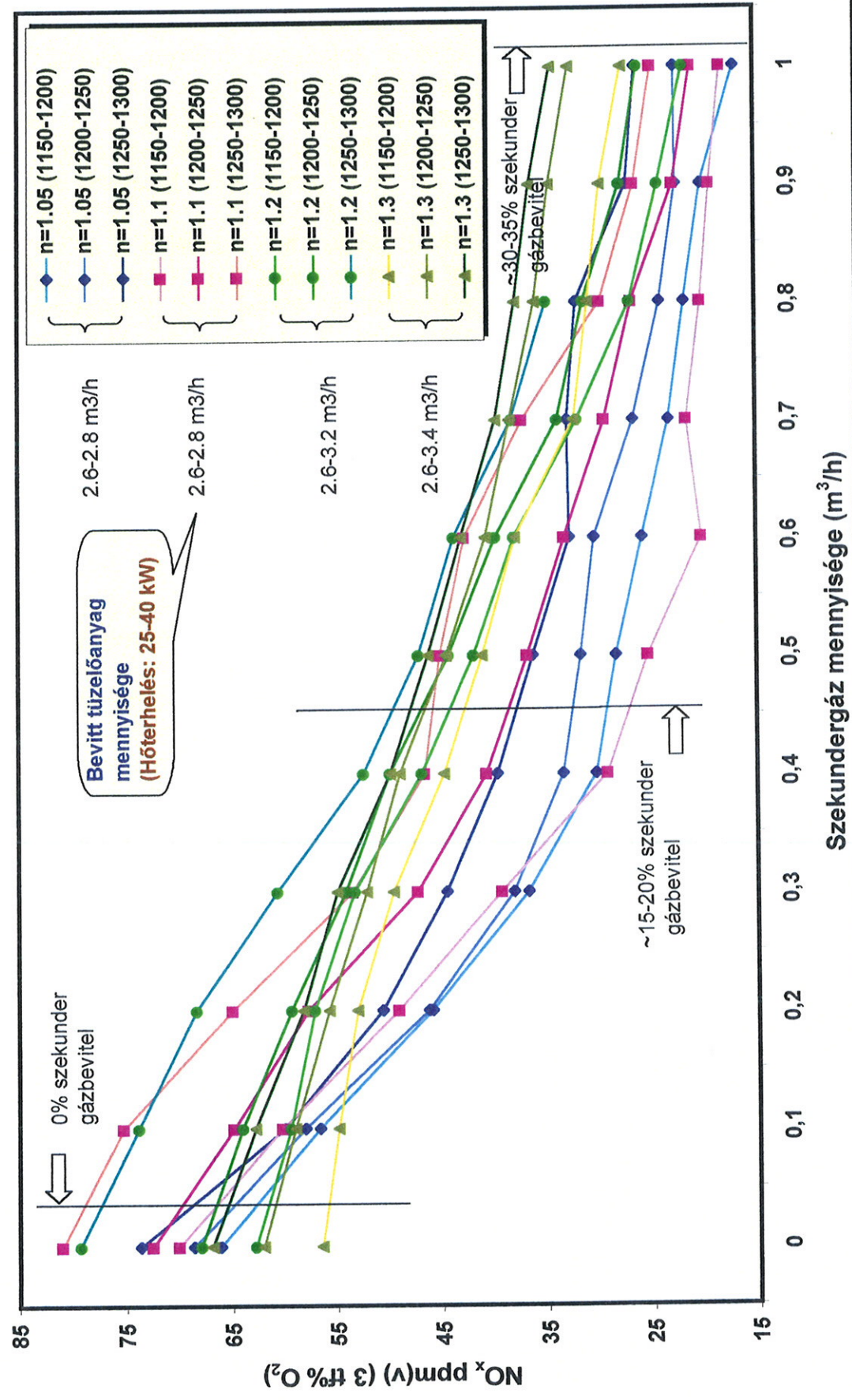
A redukáló zóna léghiányának további növelése ugyan kedvezően befolyásolja az eljárás NO_x -koncentráció csökkentő hatását, azonban a kemence egészére vonatkoztatott alacsonyabb légfelesleg értékek mellett, a jelentősen növelt szekunder tüzelőanyag bevitel esetén szénmonoxid, valamint kiégetlen szénhidrogén gyökök jelenhetnek meg a távozó füstgázban, ami csak többlet szekunder égési levegő bevitellel ellensúlyozható. A növelt szekunder égési levegő bevitel következtében, a kemence egészére vonatkoztatott légfelesleg értéke is növekszik. Ez eltérést jelent a technológiai elvárásoktól, továbbá a tüzelőberendezés fajlagos energiafelhasználását is kedvezőtlenül befolyásolhatja. Ezért a primer és a szekunder oldalon bejuttatott tüzelőanyag arányának megfelelő megválasztását, valamint a szekunder oldalon bejuttatható maximális mennyiséget a tüzelőberendezés és a technológia sajátossága szabja meg.

Földgázüzemű félüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok állandó hőbevitel mellett



9. ábra

Földgázüzemű félüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok növelt hőbevitel mellett



10. ábra

A hőntartó és a növelt hőbevitelű sorozatok vonatkozásában megállapítható, hogy a vizsgált hőmérséklet tartományokban, és az alkalmazott légfesleges értékek mellett a rendszerből távozó NO_x -koncentrációja hasonló értékeket mutat. A hőntartó mérési sorozatok esetén a csökkentett primer oldali tüzelőanyag és égési levegő beviteléből fakadó NO_x -koncentráció változása jelentéktelen. A földgázüzemű, növelt hőbevitelű mérési sorozatokkal elért NO_x -emisszió csökkentés eredményeit összefoglalóan a 10. ábra szemlélteti, részleteiben a melléklet 8-14. ábrái.

A földgáz és a szintetikus kamragáz üzemű vizsgálatok vonatkozásában megállapítható, hogy a gyorsabb égést és a magasabb láng hőmérsékletet biztosító kamragáz tüzelés esetén a képződött NO_x mennyisége 40-50%-kal nagyobb, mint földgáztüzelésnél. A magasabb (primer) NO_x értékek mellett arányában jelentősebb NO_x -kibocsátás csökkentés érhető el, így kamragáz tüzelés esetén az eljárás NO_x -kibocsátás csökkentő hatékonysága jelentősebb. A teljes NO_x -kibocsátás vonatkozásában, azonban a primer zónák lehetőségeihez mért minél alacsonyabb értéken tartása célszerű.

4.4 Üzemi vizsgálatok ismertetése

Üzemi vizsgálatainkat 1999 november – decemberében végeztük a Dunaferri Acélművek kft. Meleghengerművében üzemelő DV II. sz. tolókemencén.

Méréseink során a kemence folyamatos üzemben volt. Vizsgálataink ideje alatt a tolókemence kizárólag kamragázzal üzemelt, így más tüzelőanyag hatását nem állt módunkban vizsgálni. A termelő berendezés szigorú technológia paraméterein belül változtattuk a befolyásolt jellemzőket. A laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján, az ott legkedvezőbbnek bizonyult értékek figyelembevételével, határoztuk meg az üzemi vizsgálatunk során alkalmazott beállításokat.

4.4.1 Az üzemi vizsgálatok módszere

Vizsgálatainkat az alsó izzító zónákban végeztük, a felső zónák üzemét változatlanul hagytuk. A szakaszos tüzelés beállításait úgy értük el, hogy az alsó zónák (VI., VII. zónák) SPD-4 típusú impulzuségőinek gázfűvókáján csökkentettük a bejuttatott gáz mennyiséget (ami a primer gázmennyiséget képezte). A szekunder gázt az égők felett kiépített gázbefúvató csonkon keresztül juttattuk a tüztérbe (4/a. ábra) (fotómelléklet 5., 6. kép). A "szekunder" levegőt a lehuzati oldala felé eső zónák növelt levegőtényezőjével biztosítottuk.

A mérések során külön-külön, majd együttesen vizsgáltuk a VI., és a VII. zóna szekunder gázbevezetésének hatását a kemence NO_x kibocsátására. Az 5. táblázat szemlélteti az üzemi berendezésen végrehajtott vizsgálatok beállításait.

5. táblázat. Az üzemi vizsgálatok beállításai

A DV. II. sz. tolókemence (VI., VII.) alsó izzító zónáiban osztott tüzelőanyag bevezetéssel elérhető NO_x-emisszió csökkentés vizsgálata

A kamragáz átlagos összetétele: (tf%) H₂ 60.1, CH₄ 22.3, CO 8.7, CO₂ 2.5, C_nH_m 2.6, N₂ 3.2, O₂ 0.6

A 10-15%-os és a 35-40 %-os szekunder gázbevezetés arány vizsgálata során alkalmazott beállítások:

A vizsgálat során a tolókemence hőterhelése 40-240 GJ/h, összesített levegőtényezője $\lambda = 1,2-1,3$ (a VI. zóna levegőtényezője $\lambda = 1,2-1,3$; a VII. zóna levegőtényezője $\lambda = 0,7-0,9$)

Zóna száma:	Primer (égőn keresztüli) bevezetés		Szekunder (égőn kívüli) bevezetés	
	nyitott:	zárt:	nyitott:	zárt:
VI.	X			X
VII.	X			X
VI.	X			X
VII.	X		X	
VI.	X		X	
VII.	X		X	
VI.	X		X	
VII.	X			X
VI.	X			X
VII.	X			X

A 100%-os szekunder gázbevezetés arány vizsgálata során alkalmazott beállítások:

A vizsgálat során a tolókemence hőterhelése 40-240 GJ/h, összesített levegőtényezője $\lambda = 1,2-1,3$ (a VI. zóna levegőtényezője $\lambda = 1,2-1,3$; a VII. zóna levegőtényezője $\lambda = 0,7-0,9$)

Zóna száma:	Primer (égőn keresztüli) bevezetés		Szekunder (égőn kívüli) bevezetés	
	nyitott:	zárt:	nyitott:	zárt:
VI.	X			X
VII.	X			X
VI.	X		X	
VII.	X		X	
VI.	X			X
VII.		X	X	
VI.	X		X	
VII.		X	X	
VI.		X	X	
VII.	X		X	
VI.		X	X	
VII.	X			X
VI.	X		X	
VII.	X		X	
VI.	X			X
VII.	X			X

Az alkalmazott hevítési technológia szerint a kemencéből távozó füstgáz (száraz) O_2 -koncentrációja ~4-6 tf%, levegőtényezője $\lambda = \sim 1,2-1,3$ volt, a kemence üzemeltetése során még ennél magasabb értékek is előfordulhatnak. A magas O_2 -tartalomnak technológiai és rekuperátor védelmi okai vannak, ezt részletesen a tolókemence technológiai leírása tartalmazza [58].

Mérési programunk szerint a VII. izzító zóna levegőtényezőjét $\lambda = 0,7 - 0,9$ értékek mellett vettük fel és ezt osztottuk meg a primer (égőn keresztüli) és a szekunder (égőn kívüli) bevezetés között. A VI. izzító zóna levegőtényezője $\lambda = 1,2 - 1,3$ értéken üzemelt. Itt is megosztottuk a primer és a szekunder bevezetések között a tüzelőanyag mennyiségét.

A bevitt hőmennyiséget (tüzelőanyag mennyiséget) közvetlenül nem befolyásolhattuk, ugyanis az az áttolt izzítandó acélbugák mennyiségétől függ elsősorban, de változtathattuk a bevitel arányát a primer és a szekunder bevezetések között.

A tüzelőanyag megosztása során négy fokozatot (a szekunder gáz aránya 0%; ~10-15%; ~35-40%, és 100%) vizsgálhattunk. A 10-15%-os értéket úgy értük el, hogy megnyitottuk a szekunder gázbevezetés tolózárát úgy, hogy a tolózár és a biztonsági szelep közé ($d=30$ mm) szűkítő peremet építettünk be. A 35-40%-os szekunder bevezetést esetén torló és szűkítő elem nélkül nyitottuk meg a szekunder bevezetést. A 100%-os szekunder bevezetés során a szekunder vezeték teljes mértékben megnyitottuk és kizártuk az égő primer gázbevezetését. *A 100%-os szekunder gázbevezetés egyedülálló vizsgálati lehetőségeket adott, ugyanis ebben az esetben a lángot teljesen leszakítottuk az égőköről, az impulzus égők lángja a "klasszikus" formában nem létezett.*

Az alsó izzító zónákon belüli (direkt) mérésekre nem adódott lehetőségünk, ezért a kemencéből távozó füstgázból közvetlenül a lehuzat után és a rekuperátor előtti füstgázcsatornából vettük a füstgázmintát (fotómelléklet 4. kép), így kiküszöbölhettük a hígulásból fakadó pontatlanságokat, továbbá a rekuperátor esetleges zavaró hatását is.

4.4.2 Az üzemi vizsgálatok eredményei

Az üzemi vizsgálatok során a tolókemence alsó izzító zónáinak (a VI. és a VII. zónák) befolyásolásával alakítottuk ki a szakaszos tüzelés (késleltetett égés, újra- illetve utóégetés) különböző beállításait.

A VII. izzító zóna (zónára vonatkoztatott) $\lambda=0,7 - 0,9$ levegőtényezővel történő üzemeltetése, már eleve redukáló atmoszféra alkalmazását jelenti, ami a hevítési technológia ezen fázisában, az acélbuga izzítás szempontjából is kedvező. Ugyanis a zóna léghiánya a "reventes" izzítás feltételeinek kialakítását segíti. Vizsgálataink során a zóna hőteljesítménye, a technológiai

igényeknek megfelelően változott, a kemence teljes hőteljesítményének 7-15 %-a esett a VII.-es zónára. (Ez az alsó izzító zónák hőterhelésének 15-30%-a.)

A szekunder gázbevezetés 10-15%-os első fokozatának hatása minimálisan, de észlelhető volt a távozó füstgáz NO_x -koncentrációjának csökkenéséből. A 35-40%-os bevezetés hatása már egyértelmű a füstgáz elemzések adatai alapján. Itt meg kell jegyezni, hogy a NO_x -kibocsátást csökkentő hatás mértéke a szekundergáz mennyiségével, a zóna kemence egészére vonatkoztatott hőbevitel arányával állt szoros kapcsolatban.

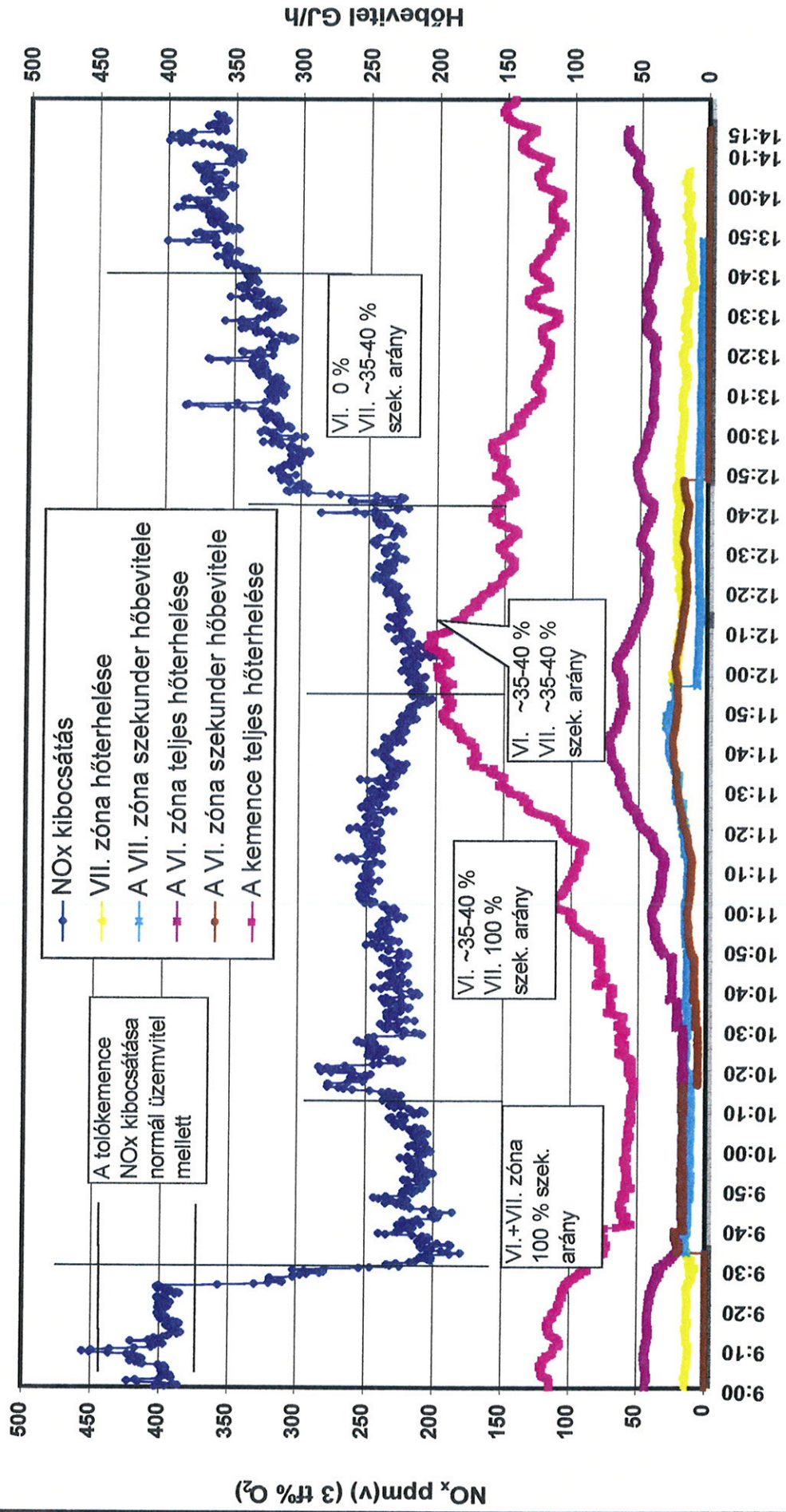
A VI. izzító zóna hőterhelése jelentősebb, a kemence összes hőbevitelének közel 35-40%-a esik erre a zónára. A zóna vizsgálata során a 10-15%-os szekunder gázbevezetés hatása ugyancsak minimális, ennek oka, hogy a zónára vonatkoztatott légfeszültség magas, $\lambda=1,2$; $1,3$ és ez az érték az alkalmazott hevítési technológia miatt nem módosítható. A 35-40%-os szekunder gázbevezetés hatása már egyértelműen kimutatható. A VI. zóna jelentős hőterheléséből fakadóan a zóna szekunder tüzelőanyag mennyisége domináns a kemence teljes NO_x -kibocsátás csökkentése szempontjából; ez a 4.5 fejezetben elvégzett számítások alapján is egyértelműen igazolható. A VI. és VII. zónák együttes hatásának vizsgálata alapján megállapítható, hogy a legjelentősebb NO_x -emissziót csökkentő hatás a zónák együttes növelt szekundergáz bevezetésével érhető el, miközben a nagyobb hőbevitelű zóna hatása a domináns.

A 100%-os szekunder gázbevezetés a vizsgálatok egy különleges csoportját képezte, ugyanis ebben az esetben, az alsó zónák impulzus égőinek lángját leszakítottuk az égőköről. A 100%-os szekunder gázbevezetéssel végzett vizsgálatokat a 11. ábra szemlélteti. A láng nélküli égési folyamatok szigorú felügyeletet igényelnek. A vizsgálatok előtt komoly aggodalmak merültek fel a biztonság vonatkozásában, valamint kérdéses volt, hogy teljes mértékben elégethető-e a szekunder oldalon bejuttatott tüzelőanyag.

A 100%-os tüzelőanyag bevezetéssel csak pár órás mérési sorozatot hajthattunk végre. A kapott eredmények alapján egyértelmű a kemence távozó füstgázában elért jelentős NO_x -emisszió csökkentő hatás, továbbá a tökéletlen égésre utaló alkotók sem maradtak a füstgázban.

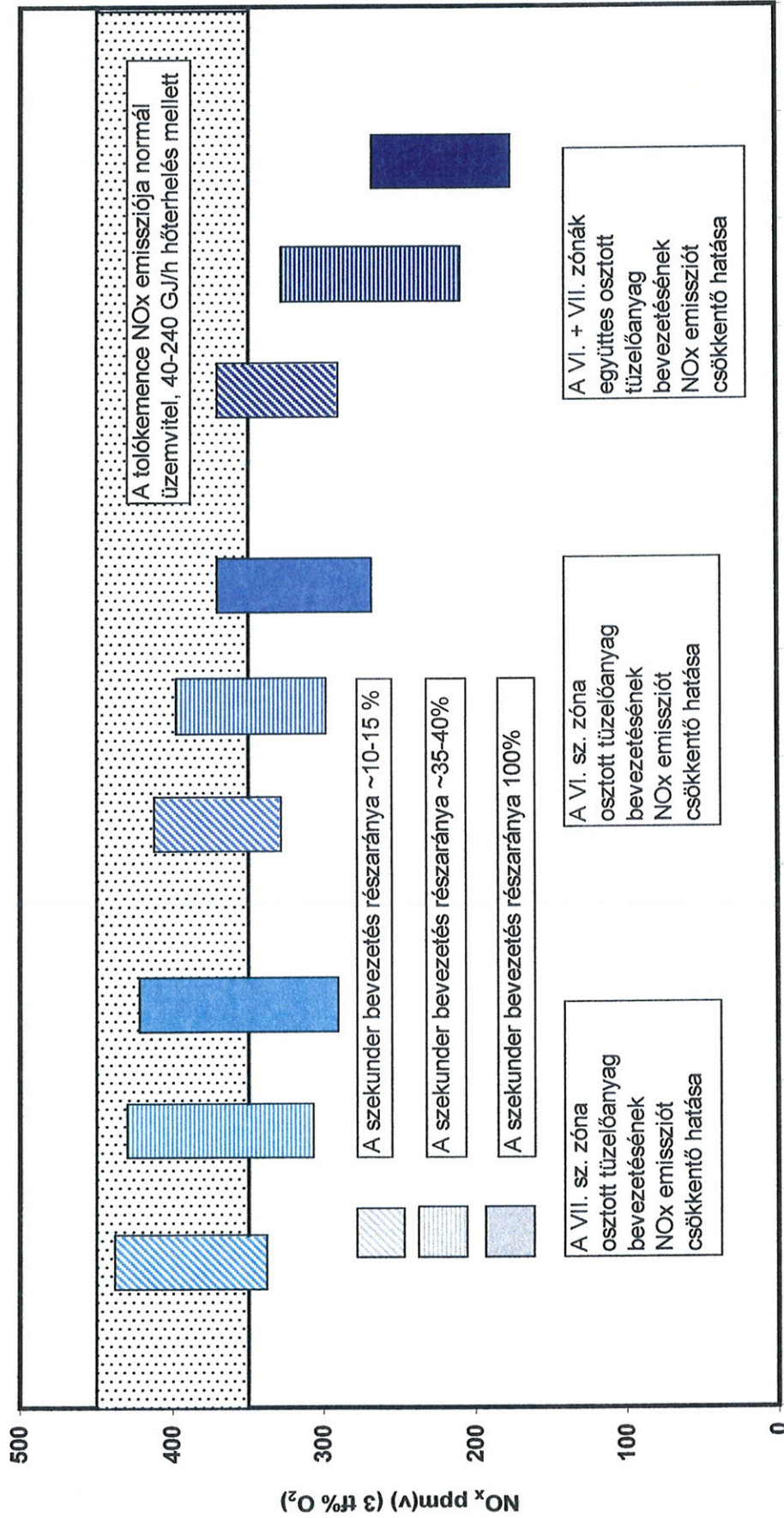
Figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a zónákba végzett direkt füstgázelemzésekre nem volt módunk, így a zónát elhagyó füstgáz összetételét sem tudtuk meghatározni. A lehuzat irányába eső VIII. zóna, valamint a felső zónák növelt levegőbevitel is közömbösíthette az esetlegesen a füstgázban maradt szénmonoxid és szénhidrogén gyököket. Az alsó zónák 100%-os szekundergáz bevezetés esetén a kemence egészére vonatkoztatva a szekunder oldalon történt tüzelőanyag bevitel aránya elérte a 45 – 55%-ot.

A DV II. tolokemence hőteljesítménye és NO_x emissziója



1999. december 13. (mérési nap programja)

A DV II. tolokemencén a VI. és VII. sz. zónák osztott tüzelőanyag bevezetésével elért NO_x emisszió csökkentés



A 2-3 órás vizsgálatok alapján nem állapíthatjuk meg egyértelműen, hogy a 100%-os szekunder gázbevezetés hogyan befolyásolja a kemencetér sugárzással történő hőátadását, az acélbuga izzítás határfokát, a kemence fajlagos energiafelhasználását.

A DV. II. sz. tolókemence alsó izzító zónáinak (VI., VII.) különböző arányú primer (égőn keresztüli) és szekunder (égőn kívüli) tüzelőanyag bevezetéssel elért NO_x -emisszió csökkentést összefoglalóan szemlélteti a 12. ábra.

4.5 Az üzemi és a félüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok eredményeinek kiértékelése

A mérések kiértékelése során alapvetően arra akartam választ kapni, hogy szekundergáz bevitellel, a vizsgált hőmérséklet tartományokban és az alkalmazott légfelesleg mellett, illetve ezen tényezők változtatásával milyen mértékben befolyásolható a rendszerből távozó NO_x mennyisége. Ennek megfelelően elsősorban olyan összefüggéseket kerestem, amelyek leírják a rendszerből távozó füstgáz NO_x -koncentrációját az alkalmazott módszernek megfelelő fő paraméterek: kemencetér hőmérséklete, bevitt teljes gáz mennyisége (hőmennyiség), bevitt szekundergáz mennyisége (hőmennyiség), az alkalmazott légfelesleg függvényében.

A kísérlet során a fenti fő jellemzők hatását volt mód reprodukálható pontossággal mérni. A kialakuló viszonyok részletesebb jellemzése érdekében erőfeszítéseket tettem a tüztér különböző zónáinak elkülönített vizsgálatára is, de a füstgáz mintavételezésnek gyakorlati nehézségei miatt ez a módszer nem vezetett numerikusan értékelhető eredményekre. Ezért a különböző beállításoknál a kemence egészére vonatkozó NO_x -emissziót tekintettem céljellelmezőként.

Kísérleteim a laboratóriumi és üzemi mérések két nagy csoportjába sorolhatóak. A laboratóriumi méréseket földgáz- és szintetikus kamragáz üzemű vizsgálatokra osztottam.

A mérési eredmények kiértékelése során a matematikai statisztika módszereit alkalmaztam. Mind a laboratóriumi, mind az üzemi mérések eredményeit regresszióanalízis és korrelációs számítás [69, 70, 71] segítségével értékeltem ki. Többváltozós, lineáris, másod-, illetve harmadfokú függvényekkel közelítettem a mérési eredményeket.

A kiértékelés során a számításokat a *Matlab 5.0* matematikai szoftvercsomaggal, illetve az *Office 2000 Excel* programjának segítségével végeztem.

A kiértékelés következő lépésekből állt:

- Függvényközelítés kiválasztása;
- Korrelációs számítás elvégzése, amely alapján pontosíthatóak a keresendő összefüggések;
- A regresszióanalízis elvégzése (az egyenletek paramétereinek meghatározása);
- A kapott egyenletek validálása.

A félüzemi (laboratóriumi) mérések során a képződött NO_x mennyiségére a legjelentősebb hatást az alábbi fizikai mennyiségek gyakorolták:

- T_k - kemencetér hőmérséklete, °C;
- Q_{szek} - szekunder hőbevitel (szekundergáz mennyisége), kW;
- Q_{telj} - teljes hőbevitel (bevitt teljes gáz mennyiség), kW;
- λ - a távozó füstgáz oxigéntartalmából számított levegőtényező (a tüzeléshez bevitt és a sztöchiometrikus levegő mennyiségének aránya).

Ezekkel a tényezőkkel alkottam függvényeket. A korrelációs számítás után a regresszióanalízis segítségével határoztam meg az NO_x -képződést leíró egyenleteket. A kapott egyenletek többváltozós, lineáris, másodfokú függvények. Az egyenletek két nagy csoportra oszthatók a földgázüzemű vizsgálatokat leíró (Yf1-8) függvényekre, illetve a szintetikus kamragáz tüzelésű vizsgálatokat leíró (Yk1-4) függvényekre.

A nyert összefüggéseket alkotó változók között korrelációs tényezőket határoztam meg, melyek alapján kimutatható, hogy milyen mértékű kapcsolat áll fent a vizsgált tényezők között.

Megállapítható, hogy földgázüzemű hőntartó mérési sorozatok esetén a keletkezett NO_x mennyiség és a bevezetett szekunder gázmennyiség között igen erős kapcsolat van ($r_{xy} = -0,97$); a negatív előjel azt mutatja, hogy a szekunder gázmennyiség növekedésével csökken a rendszerből távozó NO_x mennyisége.

A kemencetér hőmérséklet és a keletkezett NO_x mennyiség között szintén erős kapcsolat van ($r_{xy} = 0,87$); a pozitív előjel azt mutatja, hogy a magasabb hőmérséklet tartományokban a távozó füstgáz NO_x -koncentrációja magasabb.

A laboratóriumi növelt hőbevitelű sorozatok esetén a kemence szekunder tüzelőanyag és a képződött NO_x mennyisége között szintén erős kapcsolat áll fent ($r_{xy} = -0,91$); a negatív előjel azt mutatja, hogy a szekunder hőbevitel növekedése a NO_x -kibocsátás csökkenését eredményezi. A kemencetér hőmérséklet és a keletkezett NO_x mennyisége között ugyancsak erős kapcsolat van ($r_{xy} = 0,83$).

A szintetikus kamragáz tüzelésű vizsgálatok esetén a szekunder tüzelőanyag arány és a rendszerből távozó füstgáz NO_x -koncentrációja között a korelációs tényező ($r_{xy} = -0,97$).

A kapott függvények segítségével számítás útján is meghatároztam a képződő NO_x mennyiségét. Az ellenőrzés alapján a függvények pontossága 98%-os. A mért és a számítás útján meghatározott NO_x értékeket a melléklet 16-27. ábráin grafikusán is szemléltettem. Az értékek jól mutatják az egybeesést a regisztrált és számított értékek között.

A laboratóriumi mérésekből nyert összefüggések:

NO_x -képződésre vonatkozó egyenletek:

$$Yf_{1-8} = a_0 + \sum_{j=1}^6 a_j x_j,$$

$$Yk_{1-4} = a_0 + \sum_{j=1}^6 a_j x_j.$$

Ahol a független változók:

$X_1 = (T_k/1000)$	$X_3 = Q_{\text{szek}}$	$X_5 = Q_{\text{telj}}$
$X_2 = (X_1)^2$	$X_4 = (X_3)^2$	$X_6 = (X_5)^2$

A függő változók földgáz tüzelése esetén:

(Yf1) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.05}$	(Yf4) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.3}$	(Yf7) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.2}$
(Yf2) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.1}$	(Yf5) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.05}$	(Yf8) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.3}$
(Yf3) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.2}$	(Yf6) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.1}$	

A függő változók szintetikus kamragáz tüzelése esetén:

(Yk1) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.1}$	(Yk3) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.3}$
(Yk2) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.2}$	(Yk4) $[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.4}$

A laboratóriumi vizsgálatok során a NO_x -képződés az alábbi egyenletekkel írható le:

(A laboratóriumi vizsgálatok eredményei 1150 – 1300 °C kemencetér-hőmérséklet tartományban max. 100 Pa kemencetér nyomáson /normál atmoszférikus nyomás felett/, valamint a kísérleti kemence geometriai viszonyaira vonatkoznak.)

Földgáztüzelés (állandó hőbevitel mellett):

$$\begin{aligned} (Yf1) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.05} &= f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = 15487,73 \cdot (T_k/1000) \\ &- 6443,57 \cdot (T_k/1000)^2 - 15,9 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 0,93 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 \\ &- 12,86 \cdot (Q_{\text{telj}})^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Yf2) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.1} &= f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = 14026 \cdot (T_k/1000) \\ &- 5720 \cdot (T_k/1000)^2 - 15 \cdot (Q_{\text{szek}}) + (Q_{\text{szek}})^2 - 13 \cdot (Q_{\text{telj}})^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Yf3) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.2} &= f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = 7990,4 \cdot (T_k/1000) \\ &- 3353,3 \cdot (T_k/1000)^2 - 7,26 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 0,1 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 \\ &- 62,4 \cdot (Q_{\text{telj}})^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Yf4) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.3} &= f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = 1191,02 \cdot (T_k/1000) \\ &- 4841,7 \cdot (T_k/1000)^2 - 22,28 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 0,88 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 \\ &- 4,23 \cdot (Q_{\text{telj}})^2, \end{aligned}$$

ahol a független változók: T_k - kemencetér hőmérséklet, °C; Q_{telj} - bevitt teljes hőmennyiség, kW; Q_{szek} - bevitt szekunder hőmennyiség, kW.

Földgáztüzelés (növelt hőbevitel mellett):

$$\begin{aligned} (Yf5) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.05} &= f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = -2400,47 - 29,16 \cdot (T_k/1000) \\ &+ 3,96 \cdot (T_k/1000)^2 - 2433,1 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 963,3 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 \\ &+ 171,5 \cdot (Q_{\text{telj}}) + 3,56 \cdot (Q_{\text{telj}})^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Yf6) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.1} &= f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = -3825,13 - 30,16 \cdot (T_k/1000) \\ &+ 1,63 \cdot (T_k/1000)^2 - 2734,43 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 2451,13 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 \\ &+ 66,7 \cdot (Q_{\text{telj}}) - 1,16 \cdot (Q_{\text{telj}})^2, \end{aligned}$$

$$(Yf7) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.2} = f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = -3952,2 - 19,66 \cdot (T_k/1000) \\ + 5,13 \cdot (T_k/1000)^2 - 10045,3 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 4150,03 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 \\ + 71,56 \cdot (Q_{\text{telj}}) - 5,46 \cdot (Q_{\text{telj}})^2,$$

$$(Yf8) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.3} = f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = -5271,8 - 13,73 \cdot (T_k/1000) \\ + 3,13 \cdot (T_k/1000)^2 - 6031,6 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 2564,59 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 \\ + 137,75 \cdot (Q_{\text{telj}}) - 2,84 \cdot (Q_{\text{telj}})^2.$$

Szintetikus kamragáztüzelés (állandó hőbevitel mellett):

$$(Yk1) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.1} = f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = -4451,5 \cdot (T_k/1000) + \\ + 1679,4 \cdot (T_k/1000)^2 - 3,9 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 0,1 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 \\ + 234,4 \cdot (Q_{\text{telj}}) - 4,6 \cdot (Q_{\text{telj}})^2,$$

$$(Yk2) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.2} = f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = 10250 \cdot (T_k/1000) \\ - 3974 \cdot (T_k/1000)^2 - 16 \cdot (Q_{\text{szek}}) - 487 \cdot (Q_{\text{telj}}) + 9 \cdot (Q_{\text{telj}})^2,$$

$$(Yk3) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.3} = f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = -3955,7 \cdot (T_k/1000) \\ + 1646 \cdot (T_k/1000)^2 - 19,5 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 1,4 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 \\ + 191,7 \cdot (Q_{\text{telj}}) - 3,7 \cdot (Q_{\text{telj}})^2,$$

$$(Yk4) [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.4} = f(T_k, Q_{\text{szek}}, Q_{\text{telj}}, \lambda) = 29123 \cdot (T_k/1000) \\ - 11336 \cdot (T_k/1000)^2 - 14 \cdot (Q_{\text{szek}}) + (Q_{\text{szek}})^2 \\ - 1461 \cdot (Q_{\text{telj}}) + 29 \cdot (Q_{\text{telj}})^2.$$

A mért és a számítás útján meghatározott NO_x -koncentráció értékeit a melléklet 16-18. ábrái grafikusan is szemléltetik.

Az üzemi mérések kiértékelését három részre osztottam a bejuttatott szekundergáz mennyisége (Q_{szek}), valamint a bevezetés helye (zóna) szerint. Így meg lehet különböztetni külön a VI. zóna, a VII. zóna valamint együtt a VI. + VII. zóna hatását a bejuttatott szekundergáz mennyiségének függvényében. A vizsgálatok során az alábbi fizikai mennyiségek befolyásolták még jelentősen a képződött NO_x mennyiségét:

- Q_{teij} - a kemence összes hőbevitelle, $GJ \cdot h^{-1}$;
- λ_{VII} - VII. zónában alkalmazott légfelesleg;
- T_{VII} - VII. zóna hőmérséklete, $^{\circ}C$;
- λ_{VI} - VI. zónában alkalmazott légfelesleg;
- T_{VI} - VI. zóna hőmérséklete, $^{\circ}C$.

E tényezők között korrelációs együtthatókat határoztam meg. A korrelációs együtthatók alapján megállapítható, hogy az üzemi mérések kevésbé egyértelműek. A számított korrelációs együtthatók általában közepes, kapcsolatot mutatnak. Ennek oka, hogy ipari, termelő berendezés üzeme során végrehajtott mérésekről van szó. Üzem közben a berendezés teljes hőbevitelle a hengerlési ütem függvényében a tüzelésvezérlő rendszer beavatkozása folyamatosan változik, így folyamatosan változnak a kemencetér áramlási- és sebességi viszonyai, számos más zavaró tényező (leállások, esetleges hamis levegő, nyomásingadozások, ipari zaj stb.) is befolyásolhatja a vizsgált és befolyásolt jellemzőket.

A változókkal a regresszióanalízis segítségével három egyenletet (Y_{VI} , Y_{VII} , Y_{VI+VII}) határoztam meg. A kapott függvények segítségével számítás útján is meghatároztam a képződő NO_x mennyiségét. Az ellenőrzés alapján a függvények pontossága 95% feletti értéket adott, mely ipari berendezésen végrehajtott vizsgálatok esetén elfogadható. A mért és a számítás útján meghatározott NO_x -koncentráció értékeiket a melléklet 19-21. ábrái grafikusán is szemléltetik.

Az üzemi mérések alapján nyert összefüggések:

A vizsgált kamragáz tüzelésű tolókemence NO_x -képződésre vonatkozó egyenletek:

(Az eljárás kamragáz tüzelésű tolókemencén végzett üzemi vizsgálatai a DV II. sz. tolókemence izzító zónáinak $1150 - 1300$ $^{\circ}C$ hőmérséklet tartományára, max 500 Pa kemencetér nyomásra /normál atmoszférikus nyomás feletti/, valamint a tűztér adott geometriai kialakítására vonatkoznak.)

$$Y_{VI, VII, VI+VII} = b_0 + \sum_{j=1}^{14} b_j x_j$$

Ahol a független változók:

$$\begin{array}{lll}
 X_1 & = T_{VI} & X_6 & = (X_5)^2 & X_{11} & = (X_{10})^3 \\
 X_2 & = (X_1)^2 & X_7 & = \lambda_{VII} & X_{12} & = Q_{szek} \\
 X_3 & = \lambda_{VI} & X_8 & = (X_7)^2 & X_{13} & = (X_{12})^2 \\
 X_4 & = (X_3)^2 & X_9 & = Q_{telj} & X_{14} & = (X_{13})^3 \\
 X_5 & = T_{VII} & X_{10} & = (X_9)^2 & &
 \end{array}$$

A függő változók:

$$(Y_{VI}) \text{ [NO}_x \text{ 3\%O}_2\text{]} \quad (Y_{VII}) \text{ [NO}_x \text{ 3\%O}_2\text{]} \quad (Y_{VI+VII}) \text{ [NO}_x \text{ 3\%O}_2\text{]}$$

A vizsgált tolókemence alsó izzító zónáinak hatását a kemence teljes NO_x kibocsátására az alábbi egyenletekkel írható le:

$$\begin{aligned}
 (Y_{VI}) \text{ [NO}_x \text{ 3\%O}_2\text{]} &= f(T_{kVI}, Q_{szekVI}, Q_{kemtelj}, \lambda_{VI}) = 237,5 \cdot T_{kVI} \\
 &- 1,915 \cdot 10^{-1} \cdot (T_{kVI})^2 + 7043,3 \cdot \lambda_{VI} - 3725,7 \cdot (\lambda_{VI})^2 \\
 &- 194,7 \cdot Q_{teljkem} + 1,9 \cdot (Q_{teljkem})^2 + 1825,5 \cdot Q_{szekVI} \\
 &- 47 \cdot (Q_{szekVI})^2 + 0,5 \cdot (Q_{szekVI})^3,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (Y_{VII}) \text{ [NO}_x \text{ 3\%O}_2\text{]} &= f(T_{kVII}, Q_{szekVII}, Q_{kemtelj}, \lambda_{VII}) = 126,8 \cdot T_{kVII} \\
 &- 9,9 \cdot 10^{-2} \cdot (T_{kVII})^2 + 322,27 \cdot \lambda_{VII} - 221,67 \cdot (\lambda_{VII})^2 \\
 &+ 168,03 \cdot Q_{teljkem} - 2,24 \cdot (Q_{teljkem})^2 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot (Q_{teljkem})^3 \\
 &+ 331,863 \cdot Q_{szekVII} - 389,03 \cdot (Q_{szekVII})^2 + 146,3 \cdot (Q_{szekVII})^3,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (Y_{VI+VII}) \text{ [NO}_x \text{ 3\%O}_2\text{]} &= f(T_{kVI}, T_{kVII}, Q_{szekVI+VII}, Q_{kemtelj}, \lambda_{VI}, \lambda_{VII}) = 1 \cdot 10^{-2} \cdot T_{kVI} \\
 &+ 22,28 \cdot \lambda_{VI} - 3,72 \cdot (\lambda_{VI})^2 - 9 \cdot 10^{-3} \cdot T_{kVII} + 41,26 \cdot \lambda_{VII} \\
 &- 30,68 \cdot (\lambda_{VII})^2 - 1,77 \cdot Q_{teljkem} + 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot (Q_{teljkem})^2 \\
 &- 12,47 \cdot Q_{szekVI+VII} + 4,8 \cdot 10^{-1} \cdot (Q_{szekVI+VII})^2,
 \end{aligned}$$

ahol a független változók: T_{kVI} - a VI. zóna hőmérséklete, °C; T_{kVII} - a VII. zóna hőmérséklete, °C; Q_{teljkem} - a kemence teljes hőterhelése, GJ·h⁻¹; Q_{szekVI} - a VI. zóna szekunder hőbevétele, GJ·h⁻¹; Q_{szekVII} - a VII. zóna szekunder hőbevétele, GJ·h⁻¹; Q_{szekVI+VII}, pedig a VI. + VII. zóna együttes szekunder hőbevétele, GJ·h⁻¹.

5.0 Összefoglalás

A félüzemi (laboratóriumi) kísérleti eredmények, valamint az üzemi berendezésen végzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy acélizzító kemencék technológiai hőmérsékletén és kemenceatmoszféráján, az osztott tüzelőanyag és égési levegő bevezetés (a lassított égés, újra- illetve utóégetés) alkalmazása jelentős NO_x -emisszió csökkentést eredményez. A NO_x -emisszió csökkentés mértékére a legjelentősebb hatást a szekunder oldalon bejutatott tüzelőanyag mennyisége gyakorolja.

A földgáz- és a szintetikus kamragázüzemű laboratóriumi vizsgálatok során 60-70%-os, egyes beállítások mellett 80%-os, a vizsgált kamragáz tüzelésű tolokemencén ugyancsak jelentős, 40-50%-os NO_x -emisszió csökkentés érhető el.

A vizsgált hőmérséklet tartományokban (1150-1200 °C, 1200-1250 °C, 1250-1300 °C) megállapítható, hogy magasabb hőmérséklet esetén jelentősebb a NO_x -kibocsátás csökkentésének mértéke.

A vizsgált levegőtényezők mellett ($\lambda = 1,05 - 1,3$ ha a levegőtényezőt a kemence egészére vonatkozóan értjük) alacsonyabb levegőtényező esetén a NO_x -kibocsátás tovább csökkenthető.

Az osztott tüzelőanyag bevezetéssel kialakított átmeneti redukáló zónák vonatkozásában az eljárás hatékonysága szempontjából a $\lambda = 0,7...0,9$ (ha a levegő tényező értékét a zóna vonatkozásában értjük) értékek mellett érhető el a legjelentősebb arányú NO_x -emisszió csökkentés.

A földgáz és a szintetikus kamragáz üzemű félüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok során a gyorsabb égést és a magasabb láng hőmérsékletet biztosító kamragáz tüzelés esetén a képződött NO_x mennyisége 40-50%-kal nagyobb, mint földgáztüzelésnél. A magasabb primer (bázis) NO_x értékek mellett arányában jelentősebb NO_x -kibocsátás csökkentés érhető el. Kamragáz tüzelés esetén az eljárás NO_x -kibocsátás csökkentő hatékonysága jelentősebb. A teljes NO_x -kibocsátás vonatkozásában, a primer zónák lehetőségeihez mért minél alacsonyabb értéken tartása célszerű.

Az üzemi vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a tolokemence alsó izzító zónáinak vizsgálata során az eljárás hatékonyságára a szekunder oldalon (az égőn kívül) bejutatott tüzelőanyag mennyisége, valamint az egyes zónák hőterhelése gyakorolja a legjelentősebb hatást.

Az ipari alkalmazás vonatkozásában az égők és a kemence jelen állapotában a vizsgálatoknál alkalmazott 10-15%-os, illetve a 35-40%-os szekundergáz részarányal történő üzemelésnek technológiai, valamint üzembiztonsági akadályai nincsenek. A kemence üzembiztonsága és az elérhető NO_x -emisszió csökkentés mértékének figyelembevételével az alsó zónák 35-40%-

os szekunder gázbevezetéssel történő üzemeltetése a legelőnyösebb. A 100%-os szekunder tüzelőanyag bevezetés fokozottabb biztonsági elvárásai is megoldhatóak, de további vizsgálatokat kívánnak meg.

A kemence távozó füstgázában mért csökkent NO_x -emissziós értékek, kizárólag az alsó izzító zónákban végrehajtott módosítások eredményei. Így a zónákon belüli NO_x -koncentráció csökkentés aránya a kemencéből távozó füstgázban mért eredményeknél is jelentősebb. A kemence NO_x -kibocsátásának további csökkentése szempontjából a felső tűztér zónáiban ugyancsak alkalmazható szakaszos tüzelés (késleltetett égés, újra- illetve utóégetés) alkalmazásával további tartalékok vannak.

A VIZSGÁLATOKKAL NYERT TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Az acélizzító kemencék technológiai hőmérsékletén és kemencetér atmoszféráján a NO_x -emisszió csökkentés szempontjából a több-fokozatú tüzelés leghatékonyabb módja a gáztérfogatáram egy részének az égőtől elválasztva történő bevezetése.

- 1., Az NO_x -emisszió csökkentés mértékére a legjelentősebb hatást az égőn kívül bejuttatott tüzelőanyag térfogatáram hányada gyakorolja.

A félüzemi kísérleti kemencén végzett vizsgálataim alapján az alábbi megállapításokra jutottam:

- 2., 1150-1300 °C hőmérséklet tartományban, $\lambda = 1,05 - 1,3$ levegőtényező mellett (ha a megadott arányszámok a kemence teljes levegőtényezőjét fejezik ki) a kemence NO_x -emissziója 54-84 NO_x ppm(v) (3 tf% O_2) bázis értékekről 17-38 NO_x ppm(v) (3 tf% O_2)-re csökkenthető.

- A vizsgált hőmérséklet tartományban a szekunder tüzelőanyag-bevitel hatása magasabb hőmérsékleten jelentősebb NO_x -emisszió csökkentést eredményez.
- Kisebb levegőtényezők alkalmazása esetén a NO_x -kibocsátás mértéke tovább csökkenthető.
- A NO_x -emisszió csökkentést leíró függvények görbéinek meredeksége nagyobb az átmeneti redukáló zónák $\lambda = 0,7-0,9$ levegőtényező értékei mellett.

A rendszerből távozó füstgáz NO_x -koncentráció csökkenése [NO_x 3% O_2], ppm(v)-ben, száraz 3 tf % O_2 tartalmú füstgázra vonatkoztatva az alábbi függvényekkel írható le különböző levegőtényezők (λ) eseteire:

$$[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.05} = 15487,73 \cdot (T_k/1000) - 6443,57 \cdot (T_k/1000)^2 - 15,9 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 0,93 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 - 12,86 \cdot (Q_{\text{telj}})^2,$$

$$[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.1} = 14026 \cdot (T_k/1000) - 5720 \cdot (T_k/1000)^2 - 15 \cdot (Q_{\text{szek}}) + (Q_{\text{szek}})^2 - 13 \cdot (Q_{\text{telj}})^2,$$

$$[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.2} = 7990,4 \cdot (T_k/1000) - 3353,3 \cdot (T_k/1000)^2 - 7,26 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 0,1 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 - 62,4 \cdot (Q_{\text{telj}})^2,$$

$$[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.3} = 1191,02 \cdot (T_k/1000) - 4841,7 \cdot (T_k/1000)^2 + \\ + 22,28 \cdot (Q_{\text{szek}}) + 0,88 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 - 4,23 \cdot (Q_{\text{tejl}})^2,$$

ahol a független változók: T_k - kemencetér hőmérséklete, °C; Q_{tejl} - bevitt teljes hőmennyiség, kW; Q_{szek} - bevitt szekunder hőmennyiség, kW.

A szintetikus kamragázzal végzett félüzemi kísérleteim alapján az alábbi megállapítások tehetők:

3., A gyorsabb égést és a magasabb lánghőmérsékletet biztosító kamragáztüzelés esetén, a vizsgált hőmérséklet tartományban (1200-1300 °C) a kemence NO_x -emissziója 40-50% nagyobb mint földgáztüzelésnél. Az eljárással az NO_x -emisszió 99-118 NO_x ppm(v) (3 tf% O_2) bázis értékekről 17-38 NO_x ppm(v) (3 tf% O_2)-re csökkenthető.

– A vizsgált tüzelőanyagok vonatkozásában a magasabb primer (bázis) NO_x értékek mellett érhető el jelentősebb NO_x -emisszió csökkentés.

A távozó füstgáz NO_x -koncentrációja az alábbi függvényekkel írható le, különböző levegőtényezőkre vonatkozóan:

$$[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.1} = -4451,5 \cdot (T_k/1000) + 1679,4 \cdot (T_k/1000)^2 - 3,9 \cdot (Q_{\text{szek}}) + \\ + 0,1 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 + 234,4 \cdot (Q_{\text{tejl}}) - 4,6 \cdot (Q_{\text{tejl}})^2,$$

$$[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.2} = 10250 \cdot (T_k/1000) - 3974 \cdot (T_k/1000)^2 - 16 \cdot (Q_{\text{szek}}) - \\ - 487 \cdot (Q_{\text{tejl}}) + 9 \cdot (Q_{\text{tejl}})^2,$$

$$[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.3} = -3955,7 \cdot (T_k/1000) + 1646 \cdot (T_k/1000)^2 - 19,5 \cdot (Q_{\text{szek}}) + \\ + 1,4 \cdot (Q_{\text{szek}})^2 + 191,7 \cdot (Q_{\text{tejl}}) - 3,7 \cdot (Q_{\text{tejl}})^2,$$

$$[\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2]_{\lambda=1.4} = 29123 \cdot (T_k/1000) - 11336 \cdot (T_k/1000)^2 - 14 \cdot (Q_{\text{szek}}) + \\ + (Q_{\text{szek}})^2 - 1461 \cdot (Q_{\text{tejl}}) + 29 \cdot (Q_{\text{tejl}})^2.$$

A kamragáz tüzelésű tolókemencén végzett üzemi vizsgálatok alapján az alábbi megállapítások tehetők:

4., A tolókemence NO_x -emissziója 40-240 GJ/h hőterhelés mellett 350-450 NO_x ppm(v) (3 tf% O_2). Az alsó izzító zónákba történő 10-15 %-os szekunder gázbevezetéssel elérhető NO_x -emisszió csökkenés mértéke 15-20%, a 35-40%-os szekundergáz bevezetésnél 25-30%, 100%-os szekunder gázbevezetés esetén 45-50%.

- A NO_x -emisszió csökkentésének maximuma a VI. és a VII. zónák együttes 100%-os szekunder gázbevezetésével érhető el, a kemence teljes NO_x -kibocsátására a nagyobb hőbevitelű zóna hatása a meghatározó.
- Az elérhető NO_x -emisszió csökkentés mértéke és a kemence üzembiztonsága figyelembevételével a 35-40%-os szekunder gázbevezetés alkalmazása a legkedvezőbb.

A vizsgált tolókemence VI-os; VII-es zónájának, valamint a VI + VII-es zónák együttes, szekunder gázbevezetésének hatása alapján, a kemence NO_x -kibocsátása az alábbi függvényekkel írható le:

(A megállapítások eredményei a DV II. sz. tolókemence alsó izzító zónáinak 1150 – 1300 °C hőmérséklet tartományára, valamint a tűztér adott geometriai kialakítására vonatkoznak.)

A VI. zóna befolyásolásával:

$$\begin{aligned}
 [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2] &= 237,5 \cdot T_{\text{KVI}} - 1,915 \cdot 10^{-1} \cdot (T_{\text{KVI}})^2 + 7043,3 \cdot \lambda_{\text{VI}} - \\
 &- 3725,7 \cdot (\lambda_{\text{VI}})^2 - 194,7 \cdot Q_{\text{teljkem}} + 1,9 \cdot (Q_{\text{teljkem}})^2 + \\
 &+ 1825,5 \cdot Q_{\text{szekVI}} - 47 \cdot (Q_{\text{szekVI}})^2 + 0,5 \cdot (Q_{\text{szekVI}})^3,
 \end{aligned}$$

A VII. zóna befolyásolásával:

$$\begin{aligned}
 [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2] &= 126,8 \cdot T_{\text{KVII}} - 9,9 \cdot 10^{-2} \cdot (T_{\text{KVII}})^2 + 322,27 \cdot \lambda_{\text{VII}} - \\
 &- 221,67 \cdot (\lambda_{\text{VII}})^2 + 168,03 \cdot Q_{\text{teljkem}} - 2,24 \cdot (Q_{\text{teljkem}})^2 + \\
 &+ 5 \cdot 10^{-3} \cdot (Q_{\text{teljkem}})^3 + 331,863 \cdot Q_{\text{szekVII}} - \\
 &- 389,03 \cdot (Q_{\text{szekVII}})^2 + 146,3 \cdot (Q_{\text{szekVII}})^3,
 \end{aligned}$$

A VI. + VII. zóna együttes befolyásolásával:

$$\begin{aligned}
 [\text{NO}_x \text{ 3\%O}_2] &= 1 \cdot 10^{-2} \cdot T_{\text{KVI}} + 22,28 \cdot \lambda_{\text{VI}} - 3,72 \cdot (\lambda_{\text{VI}})^2 - 9 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{KVII}} + \\
 &+ 41,26 \cdot \lambda_{\text{VII}} - 30,68 \cdot (\lambda_{\text{VII}})^2 - 1,77 \cdot Q_{\text{teljkem}} + \\
 &+ 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot (Q_{\text{teljkem}})^2 - 12,47 \cdot Q_{\text{szekVI+VII}} + \\
 &+ 4,8 \cdot 10^{-1} \cdot (Q_{\text{szekVI+VII}})^2,
 \end{aligned}$$

ahol a független változók: T_{kVI} - a VI. zóna hőmérséklete, °C; T_{kVII} - a VII. zóna hőmérséklete, °C; $Q_{teljkem}$ - a kemence teljes hőterhelése, GJ·h⁻¹; Q_{szekVI} - a VI. zóna szekunder hőbevétele, GJ·h⁻¹; $Q_{szekVII}$ - a VII. zóna szekunder hőbevétele, GJ·h⁻¹; $Q_{szekVI+VII}$, pedig a VI. + VII. zóna együttes szekunder hőbevétele, GJ·h⁻¹.

A TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA

- 1., A vizsgálatok új eredményeket szolgáltatottak a primer NO_x -képződést csökkentő módszerekhez tartozó osztott tüzelés (késleltetett égés, újra- illetve utóégetés) hatékonyságára acélbuga izzítókemencék technológiai hőmérsékletén és tüztér-atmoszférája mellett.
- 2., Az eredmények alapján kidolgozott alkalmazással a vizsgált ipari berendezés NO_x -emissziója jelentősen csökkenthető.
- 3., A vizsgálatok eredményei új lehetőségeket és szempontokat adhatnak, más magas-hőmérsékletű technológiák tüzelő- és égető berendezéseiből származó NO_x -kibocsátás csökkentésére is.
- 4., A kutatómunka alapján készített nemzetközi és hazai publikációk, valamint az értekezés anyaga az egyetemi oktatást segítette, betekintést adva a hallgatóknak aktuális ipari problémával foglalkozó kísérletekbe, valamint a tananyagon túl mérési és vizsgálati módszerekbe.

Publikációim

A disszertációhoz kapcsolódó kutatómunkám eredményeit az alábbi publikációkban tettem közzé:

Németh., Sz.: *Examination of NO_x Formation in Pusher-Type Furnace*
The 5th International Scientific Conference "Energy Transformation in Industry". 12. –
13. Jun 1996. Technical University of Kosice, Slovakia p. 435–442

Németh., Sz.: *Velocity Measurement in Hot and Dusty Environment*
microCAD '98 International Computer Science Conference. 25. – 26. Febr. 1998.
University of Miskolc, Hungary p. 93-100

Németh., Sz.: *Fluidágyas Közeg Áramlási Viszonyainak Vizsgálata*
(Velocity Measurements Under Fluidized Bed Conditions)
Tüzeléstechnika '98 XXXIV. Ipari szeminárium Tudomány és Technika Háza,
Miskolc, Hungary p. 53–66

Németh., Sz.: *Reburning as a Promising Alternative to Reduce NO_x*
The 6th International Scientific Conference "Energy Transformations in Industry". 5. –
7. Oct. 1998. Technical University of Kosice, Herlany, Slovakia p. 127–133

Tardy., P.; Stefán., M.; Zimonyiné., Z.; Németh., Sz.: *A Magyar Vaskohászat*
Energiafelhasználása és Energiaköltségei
(Energy Consumption and Energy Costs of the Hungarian Iron Metallurgy)
VIII. Anyag-, Energia és Környezetvédelem a Vaskohászatban 1999. Szeptember 9-
10. Balatonszéplak, Hungary p. 1-12

Németh., Sz.: *Pilot Scale Measurements of NO_x Reduction by Gas Reburning at*
Temperatures of Reheating Furnaces
A Környezetvédelem Helyzete és Feladatai a Bányászatban és a Kohászatban
(konferencia és kiállítás) 1999. október 4-6. Balatonfüred, Hungary

Németh., Sz.: *NO_x Reduction by Direct Fuel Injection Method of Coke-oven Gas*
Fired Pusher-type Furnace
microCAD '2000 International Computer Science Conference 23. – 25. February
2000. University of Miskolc, Hungary, p. 91-97

Németh., Sz.: *NO_x -emisszió csökkentése osztott tüzeléssel acélipari*
izzítókemencéknél
(c. cikket a Bányászati és Kohászati Lapok publikációra elfogadta, azonban a
disszertáció benyújtásakor nyomtatott formában még nem jelent meg.)

Németh Sz.: *NO_x -emisszió csökkentése osztott tüzelőanyag és égési levegő*
bevezetéssel acélipari izzítókemencék technológia hőmérsékletén és
kemenceatmoszféráján.
(c. cikket az Energiagazdálkodás c. folyóirat publikációra elfogadta, azonban a
disszertáció benyújtásakor nyomtatott formában még nem jelent meg.)

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel és hálával tartozom mindazon személyeknek és intézményeknek, akik munkámat emberileg, szakmailag és anyagilag támogatták.

Az intézmények közül elsősorban a Miskolci Egyetem Hőenergiagazdálkodási Intézet, Tüzeléstani Tanszék valamint az Energiahasznosítási kihelyezett Tanszék oktatóinak és munkatársainak mondok köszönetet, ahol doktoranduszi tanulmányaimat folytattam.

Kutatómunkám tárgyi feltételeit a Tüzeléstani Tanszéken működő MTA Nagyhőmérsékletű Folyamatok Kutatócsoport, az OTKA 7451 kutatási projekt, valamint a Tüzeléstechnikai Kutató és Fejlesztő Rt. biztosította.

A kísérletek, vizsgálatok jelentős anyagi terhének túlnyomó részét a Dunaferri Energiaszolgáltató Kft. vállalta magára. Az üzemi mérések nem valósulhattak volna meg a Dunaferri Acélművek Kft. segítségével és engedélye nélkül.

A személyek felsorolásánál a listám ugyancsak hosszú lenne, ezért ezúton mondok köszönetet a felsorolt intézmények vezetőinek, valamint mindazon dolgozóinak, akik az eltelt hosszú évek során kutatómunkámat és erre a kutatómunkára épülő disszertációm elkészítését a kezdettől a beadás pillanatáig támogatták.

Jó szerencsét!

Miskolc-Egyetemváros, 2001. május 7.



Németh Szabolcs
okl. kohómérnök

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Woperáné Dr. Serédi Ágnes : (1991) SO_x és NO_x -emisszió csökkentése
Ethnica Kiadó, Debrecen, 1991.
- [2] Boschán Éva – Meggyes Attila: (1989) Az NO_x -emisszió és csökkentése
OMIKK Budapest, 1989.
- [3] M. Quinqueneau A.: (1992) Formation et reduction des NO_x emissions. Gas
de France. N° 92 3506. p. 21-42. decembere 1992.
- [4] Knelson.: Medizinische Grundlagen des Grenzwertes für NO₂ – Immissionen
in den USA. = VDI Berichte, No. 247. 1975 p. 58-64.
- [5] WHO: Health aspects related to indoor air quality, Copenhagen, 1979.
- [6] Mozer M. – Pálma Gy.: A környezetvédelem alapja.
Budapest, Tankönyvkiadó
- [7] Seinfeld J.H. (1986) Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution.
John Willey and Sons, New York.
- [8] Johnston H.S. (1992) Atmospheric Ozone.
Annu Rev Phys Chem 43:1
- [9] Hlosvay., L.: Tudományos értekezés, 1887.
Magyar Tudományos Akadémia
- [10] Б. Я. Зельдович, П. Я. Садовников, Д. А. Франк-Каменецкий,:
ОКИСЛЕНИЕ АЗОТА ПРИ ГОРЕНИИ
Издательство Академии НАУК СССР г. 1947 Москва, Ленинград.
- [11] Baulch., D. L.; Cox., A. M.; Just., T.; Kerr., J. A.; Pilling., M.; Troe., J.; Walker.,
R. W.; Warnatz., J. (1991) Compilation of rate data on C1/C2 Species
Oxidation.
J Phys Chem Ref Data 21:3
- [12] Bowman., C. T.: (1973) Kinetics of Nitric Oxide Formation in Combustion
Processes
14th Symposion (Int) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh. p
729-737.
- [13] Bradley., A. W.; Pasternack., L.: (1997) The Effect of Nitric Oxide on Premixed
Flames of CH₄, C₂H₆, C₂H₄, and C₂H₂
Combustion and Flame 111: 87-110 (October 1997)

- [14] Bíró., A. G. (1998) Effect of flame temperature on NO_x emission during natural gas firing
VII. International Scientific Conference on Combustion and Heat Techniques
University of Miskolc 1998 Hungary p. 25-39
- [15] Hill., S. C.; Smoot D. L.: (2000) Modeling of nitrogen oxides formation and destruction in combustion systems
Progress in Energy and Combustion Science v. 26 2000 p. 417-458.
- [16] Riedel., U.; Schmidt., R.; Warnatz., J.; (1992) Different levels of air dissociation chemistry and its coupling with flow models. In: Bertin., J. J.; Periaux., J.; Ballmann., J.; (eds), Advances in Hypersonics – Vol. 2: Modeling Hypersonic Flows. Birkhäuser. Boston
- [17] Warnatz., J. (1981) Concentration-, pressure-, and temperature dependence of the flame velocity in the hydrogen-oxygen-nitrogen mixtures.
Comb Sci Technol 26:203
- [18] Glarborg., P.: (1991) Reaction rate survey for Natural Gas Combustion. Nordic Gas Technology Centre. p. 132.
- [19] Warnatz., J.: (1996) Formation of nitrogen oxides in combustion processes, First European Conference on Small Burner Technology and Heating Equipment, Institute for Energy Technology (ETH) Zürich, 1. 1996 p. 7-19.
- [20] Magnussen., B. F.; Glarborg., P. : (1991) Development and Test of Reduced Chemical Kinetic Mechanism for Combustion of Methane.
Nordic Gas Technology Centre 1991 p. 132
- [21] Fenimore., C. P.: (1970) Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flames.
13th Symp (Int) Comb, The Combustion Institute, Pittsburgh. p 373-380.
- [22] Fenimore., C. P.: (1979) Studies of fuel-nitrogen in rich flame gases.
17th Symp (Int) Comb, The Combustion Institute, Pittsburgh. p 661
- [23] Bockhorn., H.; Chevalier., C.; Warnatz., J.; Weyrauch., V. (1991) Experimental Investigation and modeling of prompt NO formation in hydrocarbon flames.
In: Santoro., R. J.; Felske., J. D. (eds) HTVD-Vol 166, Heat transfer in fire and combustion systems, Book No. G00629-1991
- [24] Wolfrum., J. (1972) Bildung von Stickstoffoxiden bei der Verbrennung. Chemie Ingenieur Technik 44:656
- [25] Correa., S. M. (1992) A review of NO_x formation under gas-turbine combustion conditions.
Comb Sci. Technology 87:329

- [26] Dr. Meggyes Attila – Dr. Boschán Éva : (1998) Korszerű tüzeléstechnika reakciókinetikai problémái.
Budapest, Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár
- [27] Fenimore., C. P. (1976) Reaction of fuel nitrogen in rich flame gases.
Combustion and Flame 26. k. 1976. p. 249-256
- [28] Martin., G. (1983) Control technology for nitrogen oxide emission from stationary sources.
Organization for Economic Cooperation and Development. Paris, 1983.
- [29] Kasai., E.; Wu., S.; Sugiyama T.; Inaba., S.: (1992) Combustion Rate and NO Emission during Combustion of Coke Granules in Packed Beds
Journal of the Society of Materials Engineering for Resources of Japan Vol. 5 No. 8. p. 1005-1012
- [30] Kasai., E.; Wu., S; Sugiyama., T.; Omori., Y.; Inaba., S.: (1993) Emission of Nitric Monoxid During Combustion of Coke Granules in Packed Beds
Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics 1993 Volume 2 Proc. of the Third World Conf. on Exp. Heat Transf., Fluid Mechn. and Therm. Honolulu, Hawaii, USA. 31 Oct. – 5. Nov. 1993. p. 1065-1072
- [31] De Soete.: (1978) Mechanismes phisico-chimiques de formation et reduction de NO_x dans les flammes d'hydrocarbures.
R. Institut France du Petrole 33. k. 9/10 sz. p. 747-792
- [32] Beckervordersandforth., C. P.: (1989) Entwicklungsstand der NO_x – Minderungstechniken
Gas Wärme International. 38. Nr. 5. p. 283-292.
- [33] Holle., T. H.: (1985) Beitrag des Erdgas zur Umweltentlastung. Gaswärme International. 34. p. 297-389.
- [34] Kolb., T.; Jansohn., P.; Leuckel., W.: (1988) Reduction of NO_x Emission in Turbulent Combustion by Fuel Staging / Effects of Mixing and Stoichiometry in the Reduction Zone
22nd Symp (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh. p 1193-1203
- [35] Woperáné., S. Á.; Szepesi., É.; Sevcsik., M. (1999) A fokozatos gázelégetés hatása a NO_x képződésre
Energiagazdálkodás, XL. évf., 5. szám. p. 7-11
- [36] Wopera., Lászlóné. (1990) Ipari égők NO_x kibocsátásának csökkentése tüzelési eljárásokkal
Kutatási jelentés az Szm. 87-XVIII-5/90. sz. munkáról
- [37] Bíró., A. G.: (1995) Lángsebesség és NO képződés recirkulációs földgázlángokban
Energiagazdálkodás XXXVI. évf., 6. szám. P. 244-246

- [38] Kasai., E.; Xu., C.; Wu., S.; Cang., D.: (1997) Catalytic Performance of Several Metallic Oxides on the Elimination Reactions of NO
Journal of the Society of Materials Engineering for Resources of Japan Vol. 10 No. 1 Aug. 1997. p. 62-69
- [39] Beér., J. M.: (2000) Combustion technology developments in power generation in response to environmental challenges
Progress in energy and Combustion Science 26 2000 p. 301-327
- [40] Milani., A.: (1991) Low Nitrogen Oxide Combustion Technologies in Gas and Oil Fired Equipment
Environmental Control in the Steel Industry ENCOSTEEL World Conference Capter 3 / Air Pollution Control. p. 3-33
- [41] Harbeck., W.: (1992) Reducierung der NO_x – Emission eines Flachflammenbrenners
Gaswärme International. 41 1992 Heft 1 - Januar p. 34-39
- [42] Flamme., M.: (1992) Neuester Stand der NO_x – Minderungstechnik
Gaswärme International. 41 1992 Heft 10 – October p. 430-437
- [43] Az Üvegházhatású Gázok Kibocsátásának Csökkentése: Kyotói Jegyzőkönyv. (1997) Proceedings of the Kyoto Climate Change Conference
- [44] Van der Kooij., J.: (1998) NO_x emission abatement in EU power stations: result and response to the acidification strategy
Environmental Pollution, 102. Vol. S1 No. p. 677-683
- [45] Bowman., C. T.: (1992) Control of Combustion-generated Nitrogen Oxide Emissions: Technology Driven by Regulation
24th Symp (Int) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh. p 859-878.
- [46] BAT Recommendations EUROPEAN COMMISSION Directorate-General JRC (Joint Research Center) Institute for Prospective Technological Studies (Seville) Technologies for Sustainable Development European IPPC Bureau
- [47] Hartleb., F. (1995) SIEMENS Ofenautomatisierung Programmbeschreibung / Dokumentation
Forrás: Dunaferr Acélművek Kft.
- [48] Sándor., P.; Takács., I.: (1994) A NO_x képződés néhány sajátosága acélizzító kemencék gáztüzelésénél.
ME-DFK 25. Jubileumi Előadások. Dunaújváros, 1994.

- [49] Soroka., B.; Sándor., P. (1998) Simplified design method of efficiency's and NO_x yield evaluation at the industrial furnaces under replacement of type of combustible gas
VII. International Scientific Conference on Combustion and Heat Techniques
University of Miskolc 1998 Hungary p. 103-113
- [50] Németh., Sz. (1996) Examination of NO_x Formation in Pusher-Type Furnace
The 5th International Scientific Conference "Energy Transformation Industry".
12. – 13. Jun 1996. Technical University of Kosice, Slovakia. p. 435–442
- [51] Bíró., A. G.; Sándor., P. (1999) Dunaferri tolókemencék környezetvédelmi korszerűsítése
VIII. Anyag-, Energia és Környezetvédelem a Vaskohászatban c. konferencia
1999. Szeptember 9-10. Balatonszéplak, Hungary. p. 21-31
- [52] Bíró., A. G.; Sándor., P.: (2000) Modernization of pusher-type furnace in order to meet the requirements of environmental protection
5th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers 11-14 April 2000
Espinho-Porto, Portugal. Volume I Furnace Operation and Design p. 1-13
- [53] Sándor., P.; Szűcs., L.; Takács., I.; Bak., J.; Alpek., S.; Fülöp., J. (1999) VIII. Anyag-, Energia és Környezetvédelem a Vaskohászatban c. konferencia 1999. Szeptember 9-10. Balatonszéplak, Hungary. p. 39-51
- [54] Bíró., A. G. (1997) DUNAFERR tolókemencék tüzelési rendszerének korszerűsítése (Szakértői vélemény)
Forrás: Dunaferri Acélművek Kft.
(A szakértői vélemény felhasználása a szerző hozzájárulásával történt!)
- [55] Maczkó., M. (1996) A DUNAFERR Dunai Vasmű acélizzító tolókemencéi NO_x kibocsátásának vizsgálata (Szakértői vélemény)
Forrás: Dunaferri Acélművek Kft.
(A szakértői vélemény felhasználása a szerző hozzájárulásával történt!)
- [56] Sándor., P. (1995) Kohászati kemencék üzemi és környezetvédelmi optimalizálása
Doktori értekezés (Miskolci Egyetem KMK)
- [57] Wopera., Lászlóné. (1984) Izzítókemencék földgázlángjában képződő nitrogénoxidok tüzeléstechnikai módszerekkel történő csökkentése
Kandidátusi értekezés (Miskolci Egyetem KMK)
- [58] MHT 2. számú "Tolókemencék technológiai utasításai" c. kiadvány
Forrás: Dunaferri Acélművek Kft.
- [59] Sevcsik., M. (1998) Az ipar energiagazdálkodásának elemzése különös tekintettel a kohászati energiafelhasználásra a magyarországi gazdasági átalakulás időszakában
Doktori /Ph.D./ értekezés (Miskolci Egyetem KMK)

- [60] Bíró., A. G. (1996) NO_x emisszió csökkentése 900..1300 °C hőmérsékletű földgáztüzelésű kemencetereknél
OTKA T-7451 (kísérleti részjelentés)
- [61] Myerson., A.L.; Taylor., F.R.; Faunce., B.G. (1957)
6th Symposium on Combustion. The Combustion Institute, Pittsburgh. p. 154
- [62] Wendt., J.O.L.; Sternling., C.V.; Matovich., M.A. (1973)
14th Symposium on Combustion. The Combustion Institute, Pittsburgh. p. 897
- [63] Seeker., Wm. R. (1991) Design of Advanced Reburning Systems.
Proceedings of the Reburning Workshop, p. 53–100 Nordic Gas Technology Center, January 1991.
- [64] Németh., Sz. (1998) Reburning as a Promising Alternative to Reduce NO_x
The 6th International Scientific Conference "Energy Transformations in Industry". 5. – 7. okt. 1998. Technical University of Kosice, Herľany, Slovakia.
p. 127–133
- [65] Németh., Sz. (1999) Pilot Scale Measurements of NO_x Reduction by Gas Reburning at Temperatures of Reheating Furnaces
A Környezetvédelem Helyzete és Feladatai a Bányászatban és a Kohászatban (konferencia és kiállítás) 1999. október 4-6. Balatonfüred, Hungary.
- [66] Flament., P.; Martin., G. (1992) A Bench Scale Experimental Study on the Reduction of NO_x Emissions by Gas Reburning
Institut Français du Pétrole Publ. '92 p. 2–20
- [67] Yang., Y. B.; Gibbs., B. M.; Hampartsoumian., E.: (1998) An Investigation of NO Reduction by Coal Reburning
American Japanese Flame Research Committees International Symposium October 11-15, 1998. Maui, Hawaii. USA. (Session 10a. Boiler Emission Control II.)
- [68] Liu., H.; Gibbs., B. M.: (1998) Reduction of NO₂ Emission a Coal-Fired Circulating Fluidized Bed Combustor by Afterburning
American Japanese Flame Research Committees International Symposium October 11-15, 1998. Maui, Hawaii. USA. (Session 10a. Boiler Emission Control II.)
- [69] Using MATLAB (1996) The Language of Technical Computing (MathWorks Inc.)
- [70] William., J. Orvis : (1996) EXCEL for Scientists and Engineers
ISBN: 0-7821-1761-9
- [71] Bánhidi., L.; Oláh., M.; Kiss., M.; Rátkai., L.; Gyuricza., I.; Szecső., G. (1992)
Autómata mérnököknek
Egyetemi Tk. ISBN 963 18 4310 6

MELLÉKLETEK JEGYZÉKE:

- 1., Melléklet:** A félüzemi (laboratóriumi), valamint az üzemi vizsgálatok ábrái
- 2., Melléklet:** Fotómelléklet
- 3., Melléklet:** A félüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok mért és regisztrált jellemzői

1., MELLÉKLET

A félüzemi (laboratóriumi), valamint az üzemi vizsgálatok ábrái

Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett:

1. ábra Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett (1150-1200 °C)
2. ábra Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett (1200-1250 °C)
3. ábra Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett (1250-1300 °C)
4. ábra Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett
(n=1,05 hőmérséklet függése)
5. ábra Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett
(n=1,1 hőmérséklet függése)
6. ábra Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett
(n=1,2 hőmérséklet függése)
7. ábra Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett
(n=1,3 hőmérséklet függése)

Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett:

8. ábra Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett (1150-1200 °C)
9. ábra Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett (1200-1250 °C)
10. ábra Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett (1250-1300 °C)
11. ábra Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett
(n=1,05 hőmérséklet függése)
12. ábra Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett
(n=1,1 hőmérséklet függése)
13. ábra Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett
(n=1,2 hőmérséklet függése)
14. ábra Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett
(n=1,3 hőmérséklet függése)

Szintetikus kamragázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett:

15. ábra Szintetikus kamragázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett
(1200-1300 °C)

A laboratóriumi mérési eredmények ellenőrzése:

16. ábra Az (Yf1-Yf4) függvények ellenőrzése
NO_x képződés földgáztüzelésnél (állandó hőbevitel mellett)
17. ábra Az (Yf5-Yf8) függvények ellenőrzése NO_x képződés
földgáztüzelésnél (növelt hőbevitel mellett)

18. ábra Az (Y_{k1} - Y_{k4}) függvények ellenőrzése NO_x képződés szintetikus kamragáztüzelésnél (állandó hőbevitel mellett)

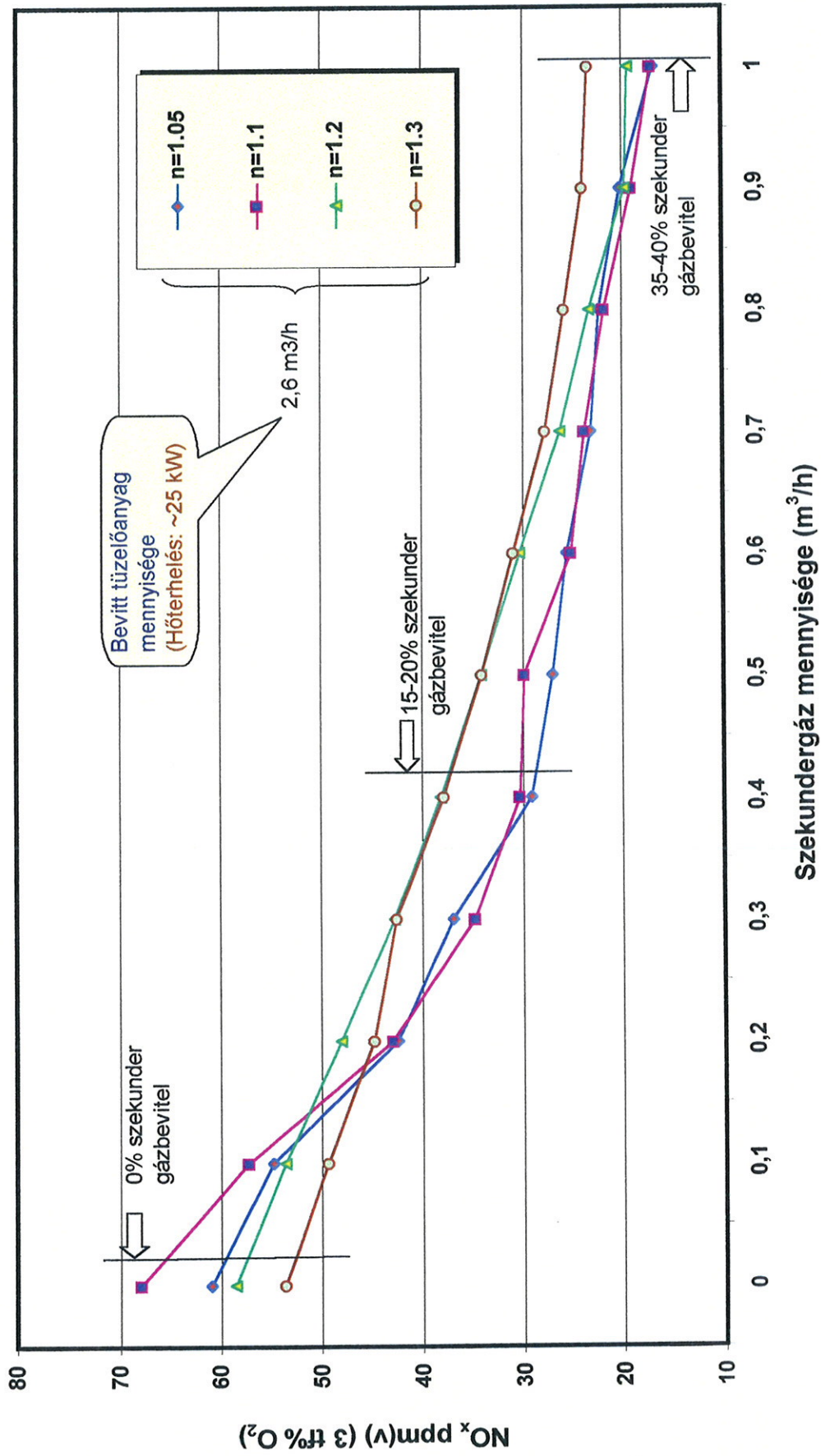
Az üzemi mérések eredményeinek ellenőrzése

19. ábra Az (Y_{VI}) függvény ellenőrzése

20. ábra Az (Y_{VII}) függvény ellenőrzése

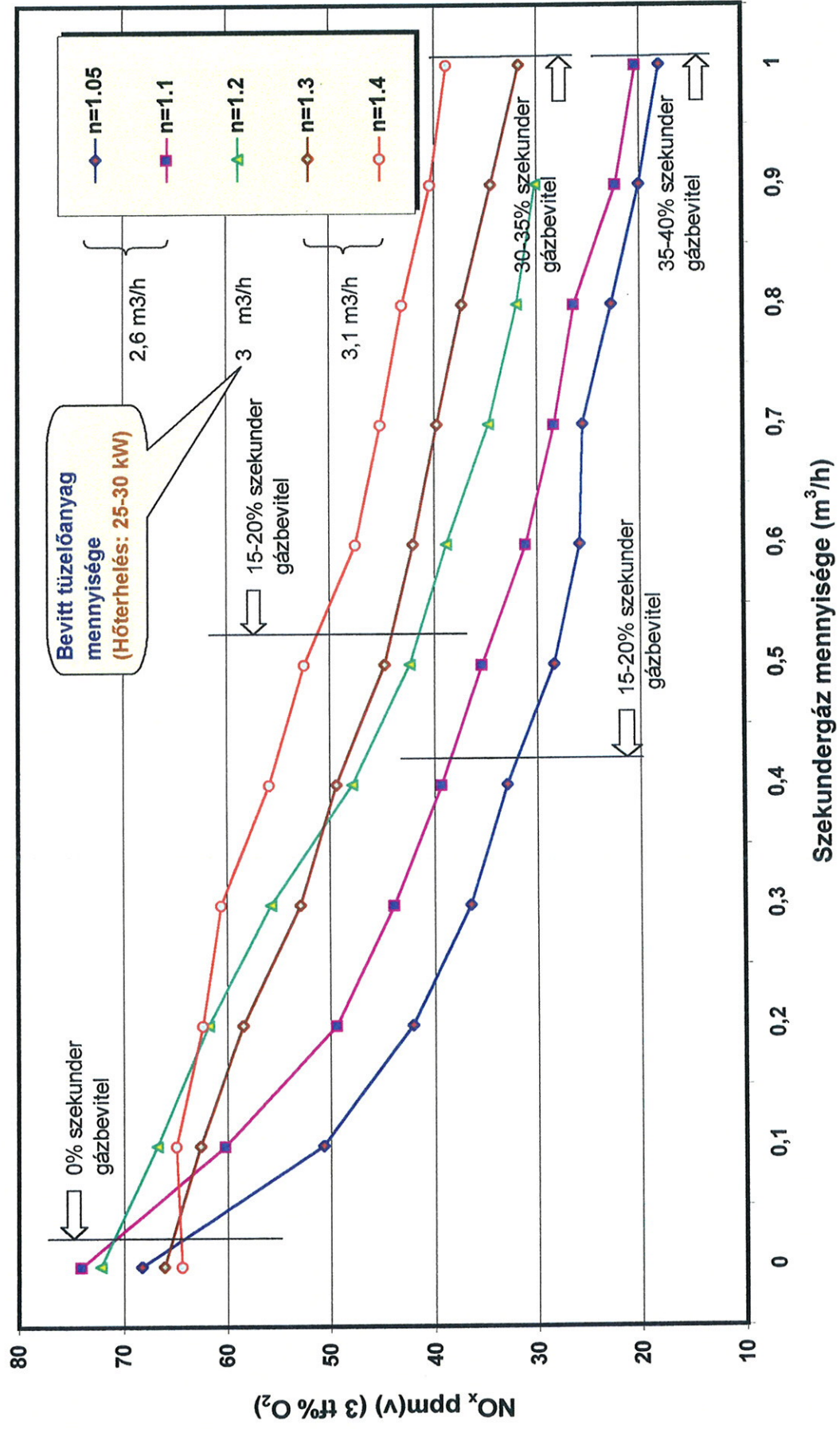
21. ábra Az (Y_{VI+VII}) függvény ellenőrzése

Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett (1150-1200 °C)



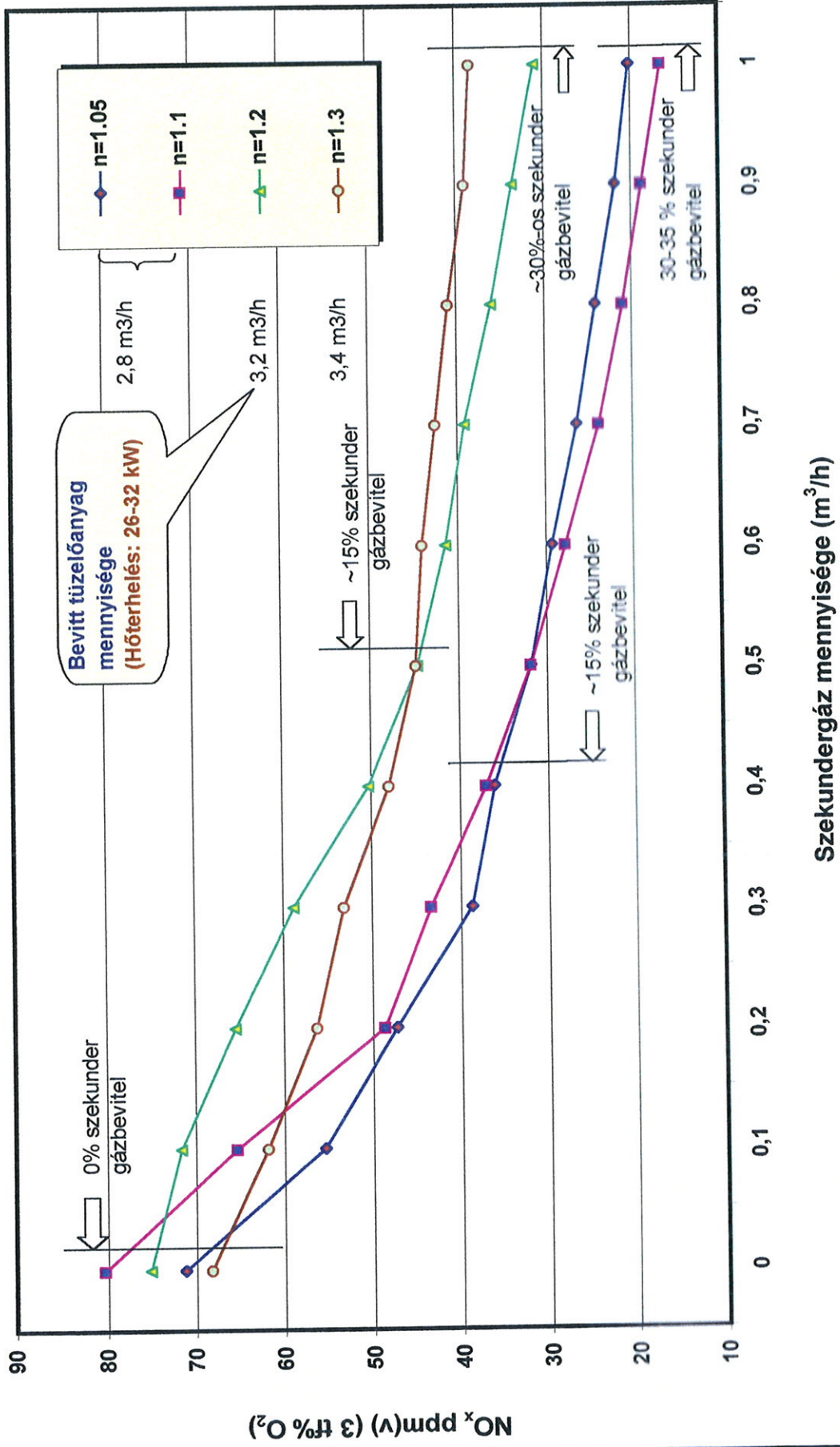
1. ábra

Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett (1200-1250 °C)

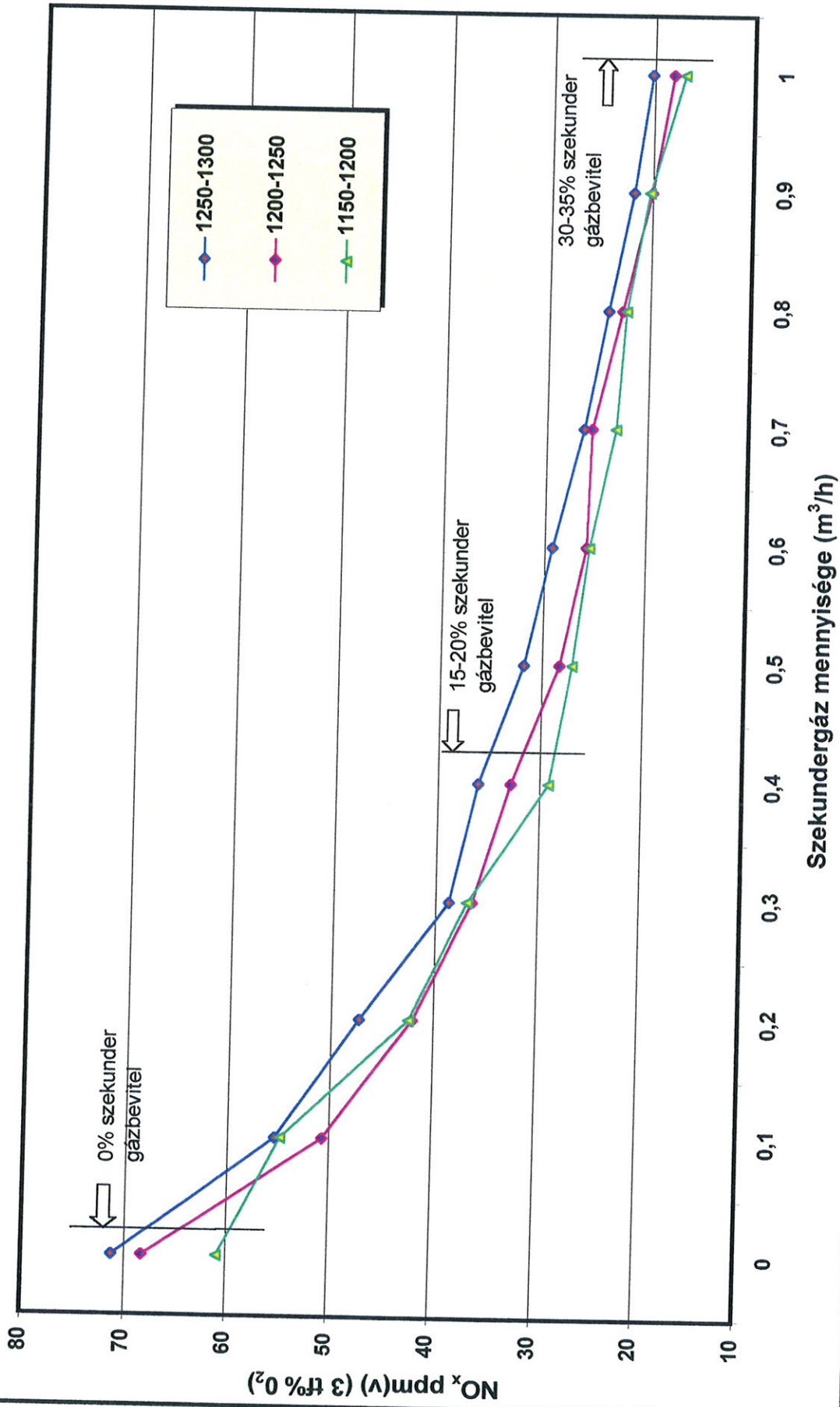


2. ábra

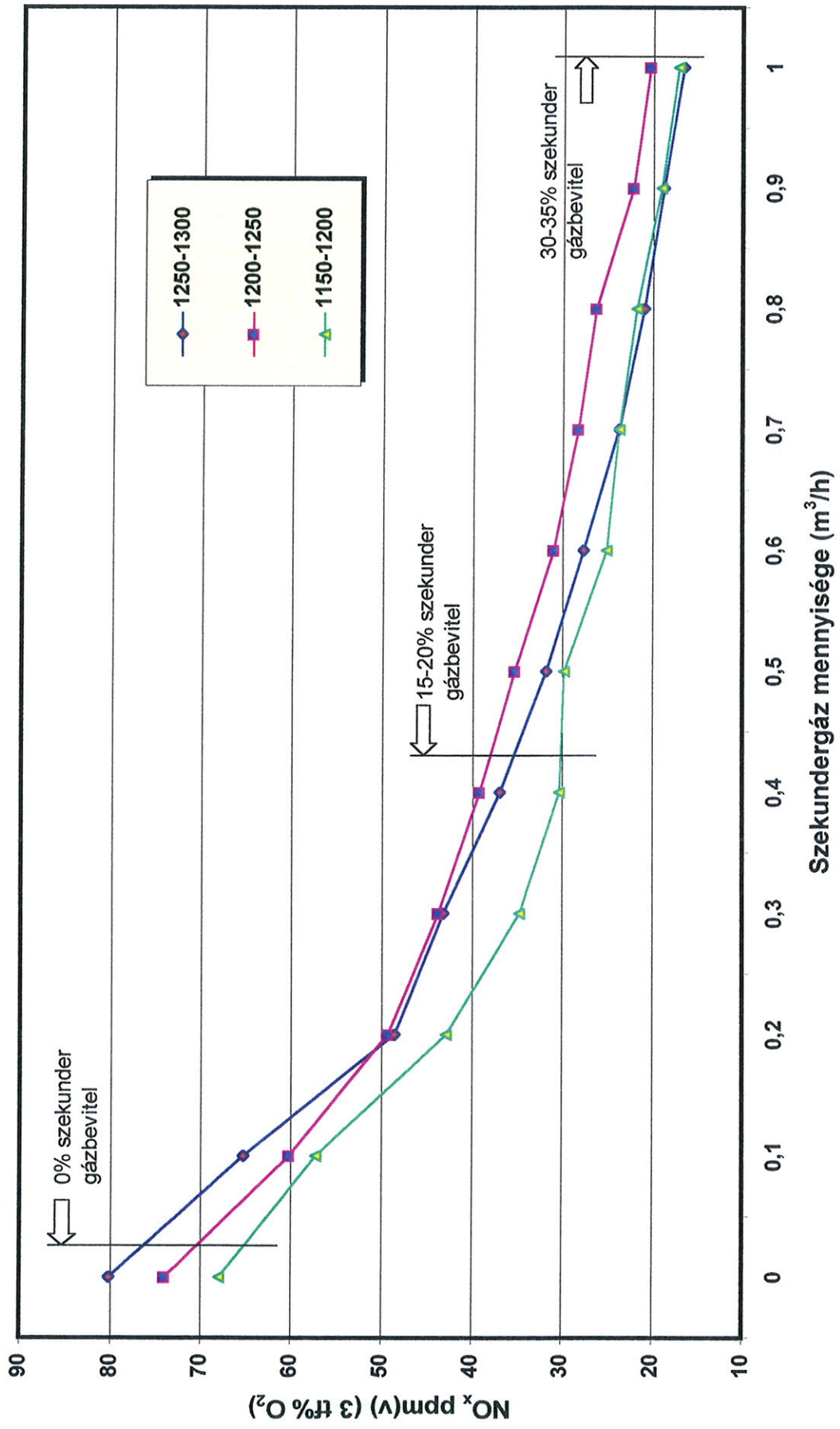
Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett (1250-1300 °C)



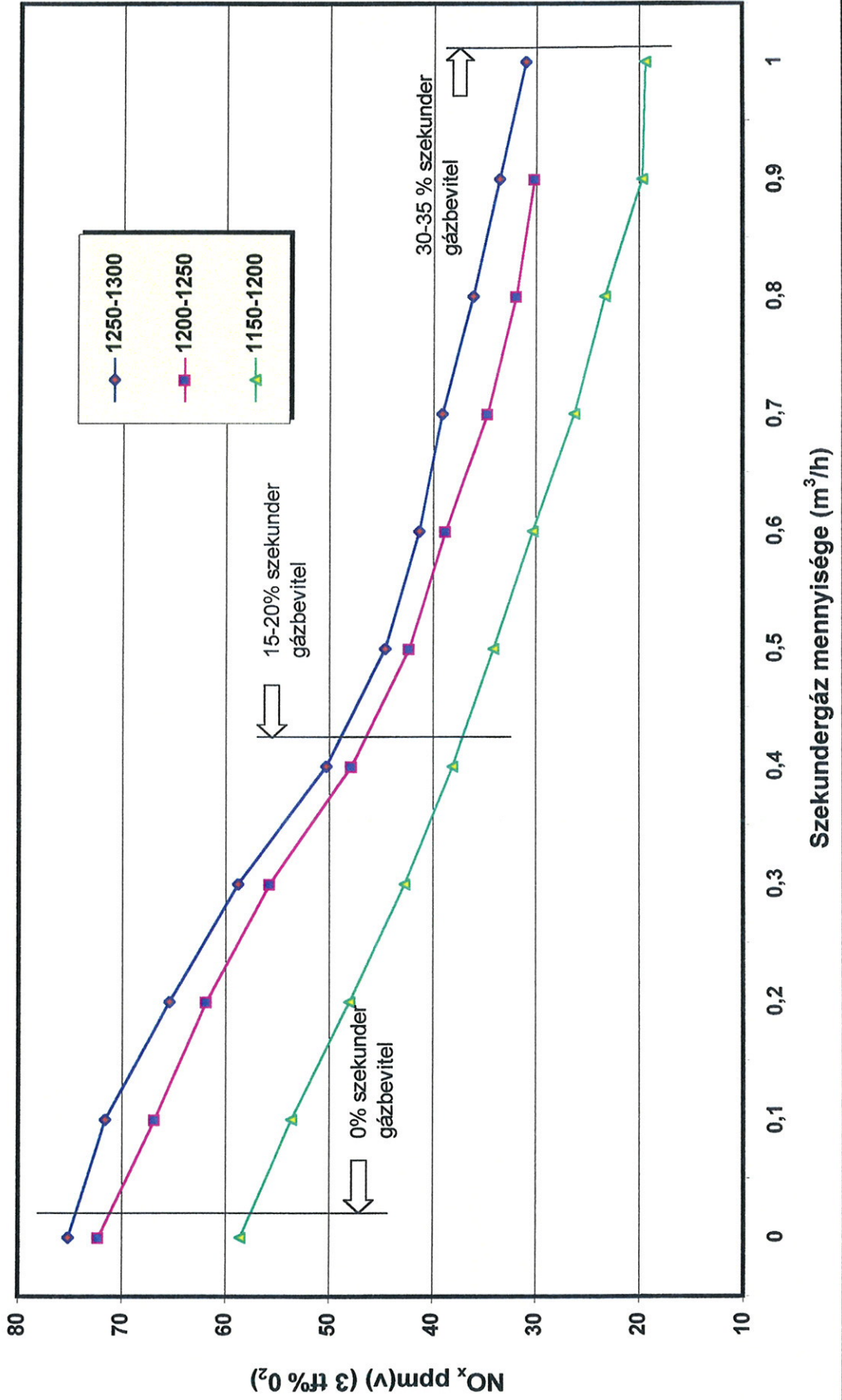
Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett ($n=1,05$ hőmérséklet függése)



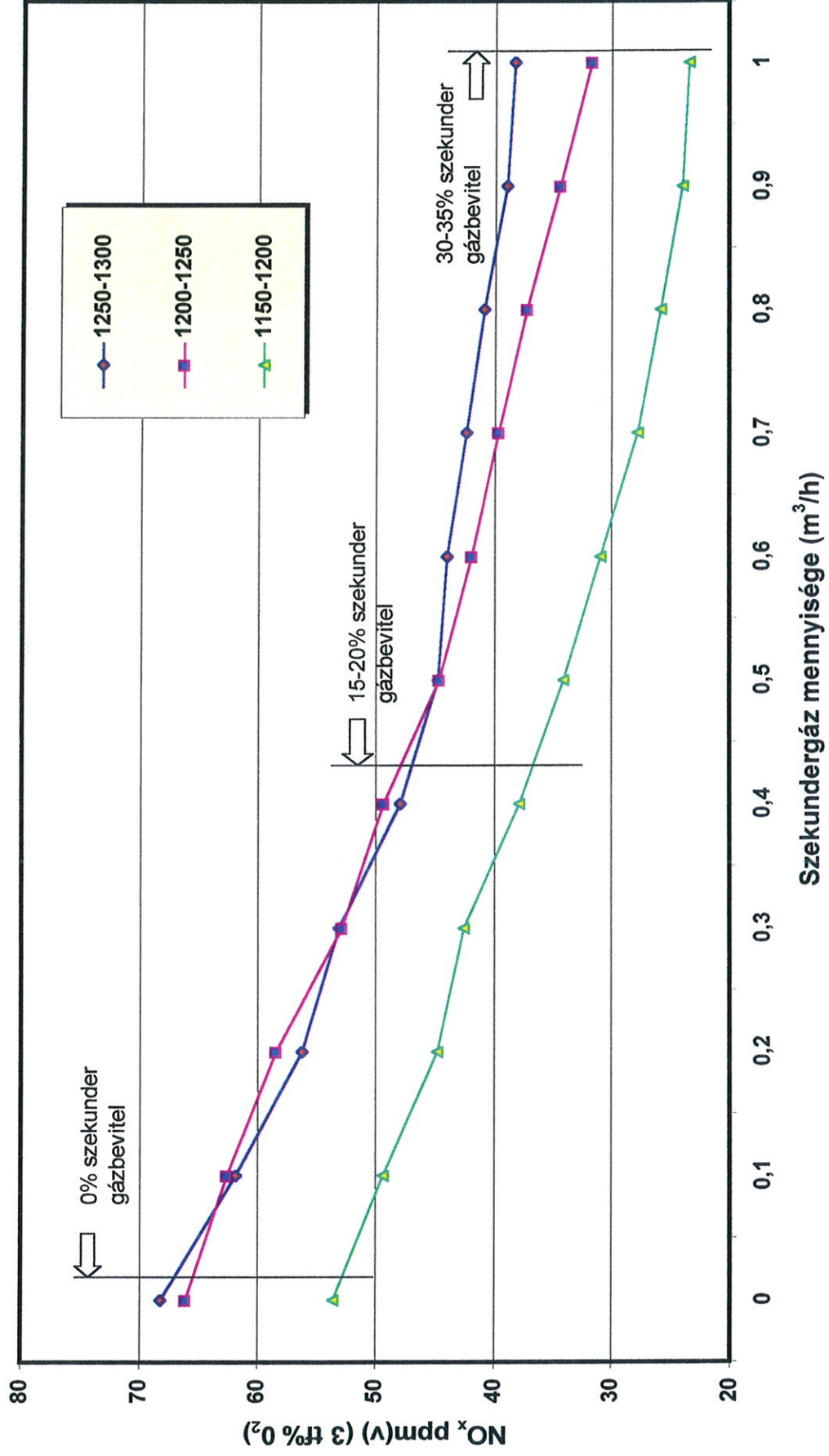
Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett (n=1,1 hőmérséklet függése)



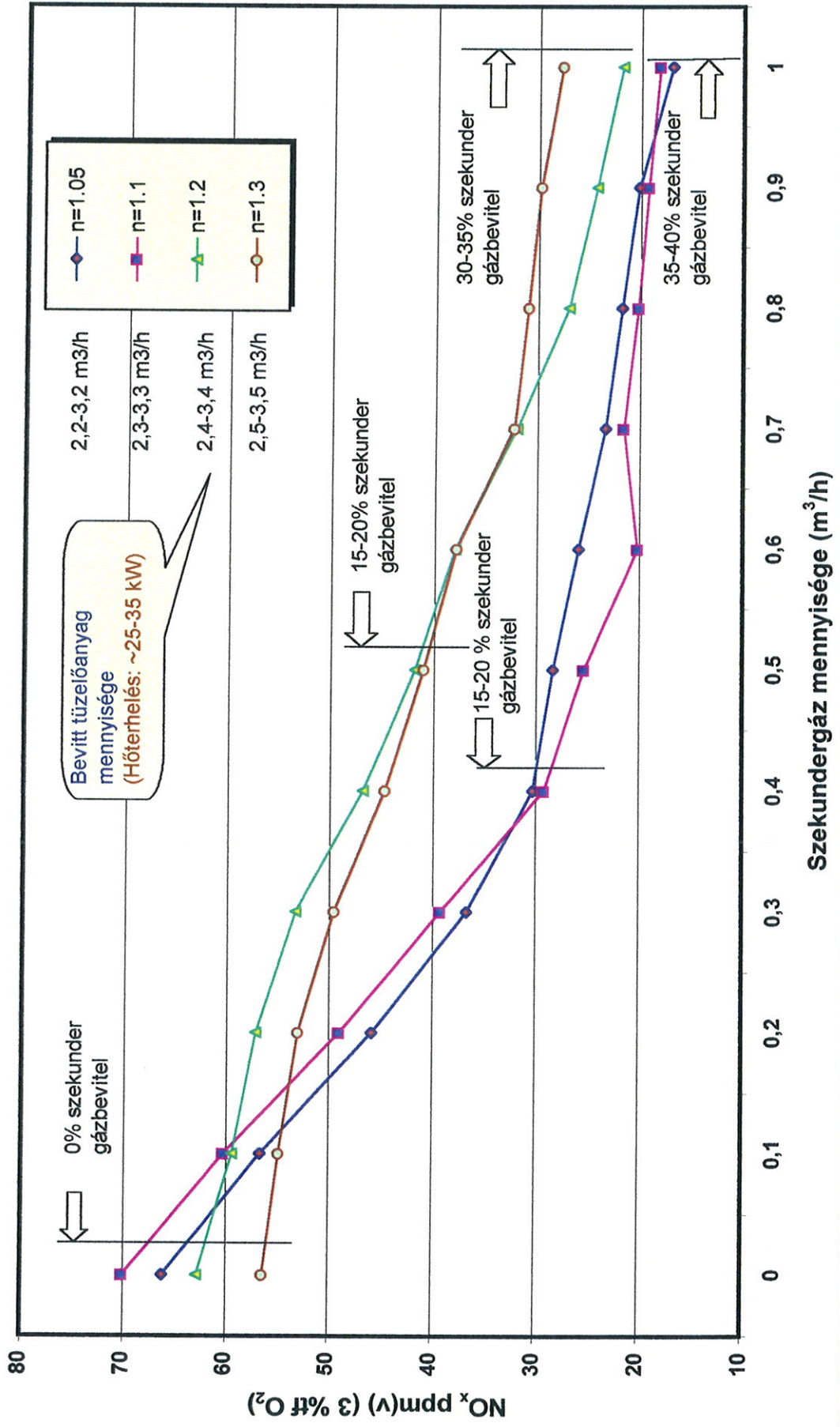
Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett ($n=1,2$ hőmérséklet függése)



Földgázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett ($n=1,3$ hőmérséklet függése)

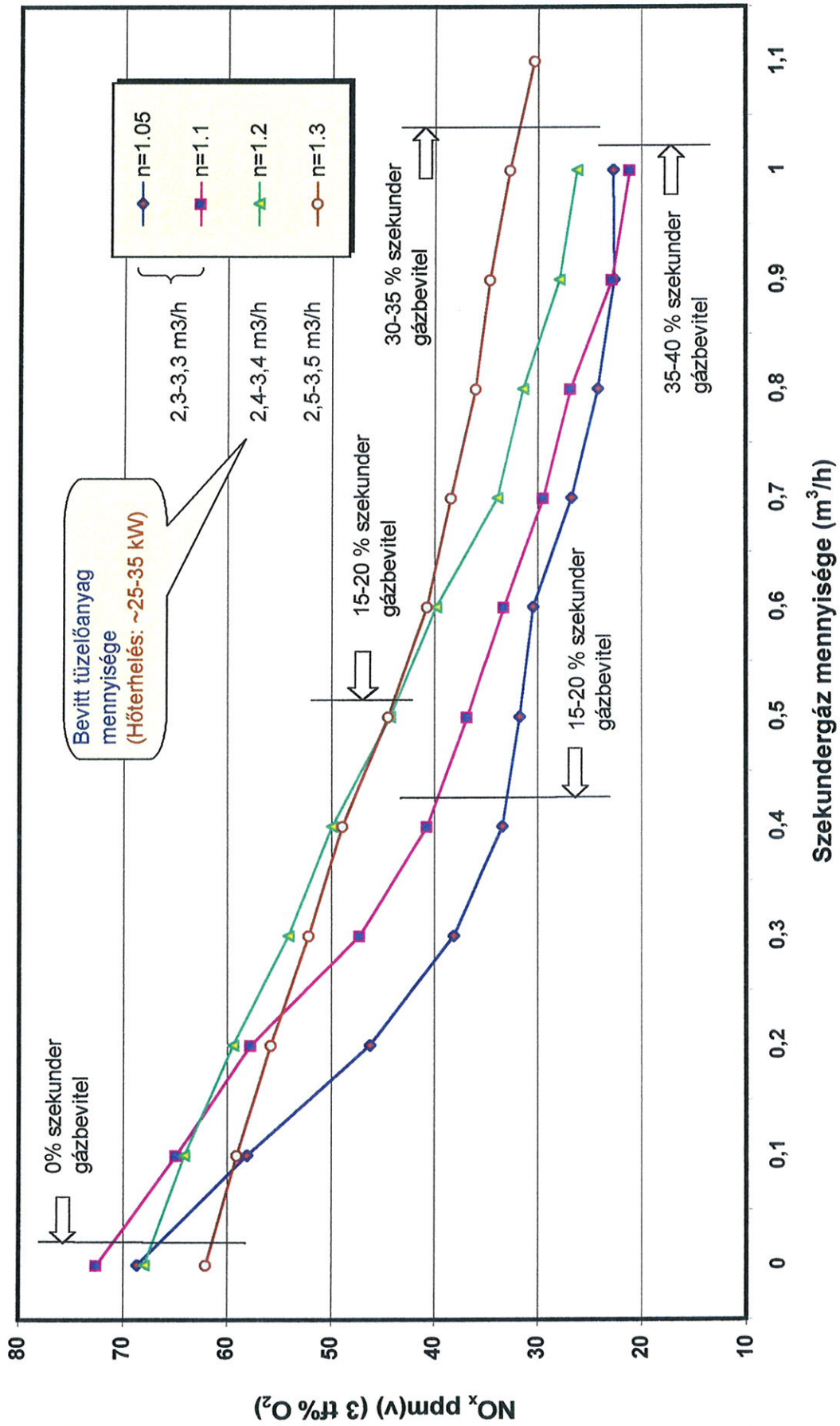


Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett (1150-1200 °C)

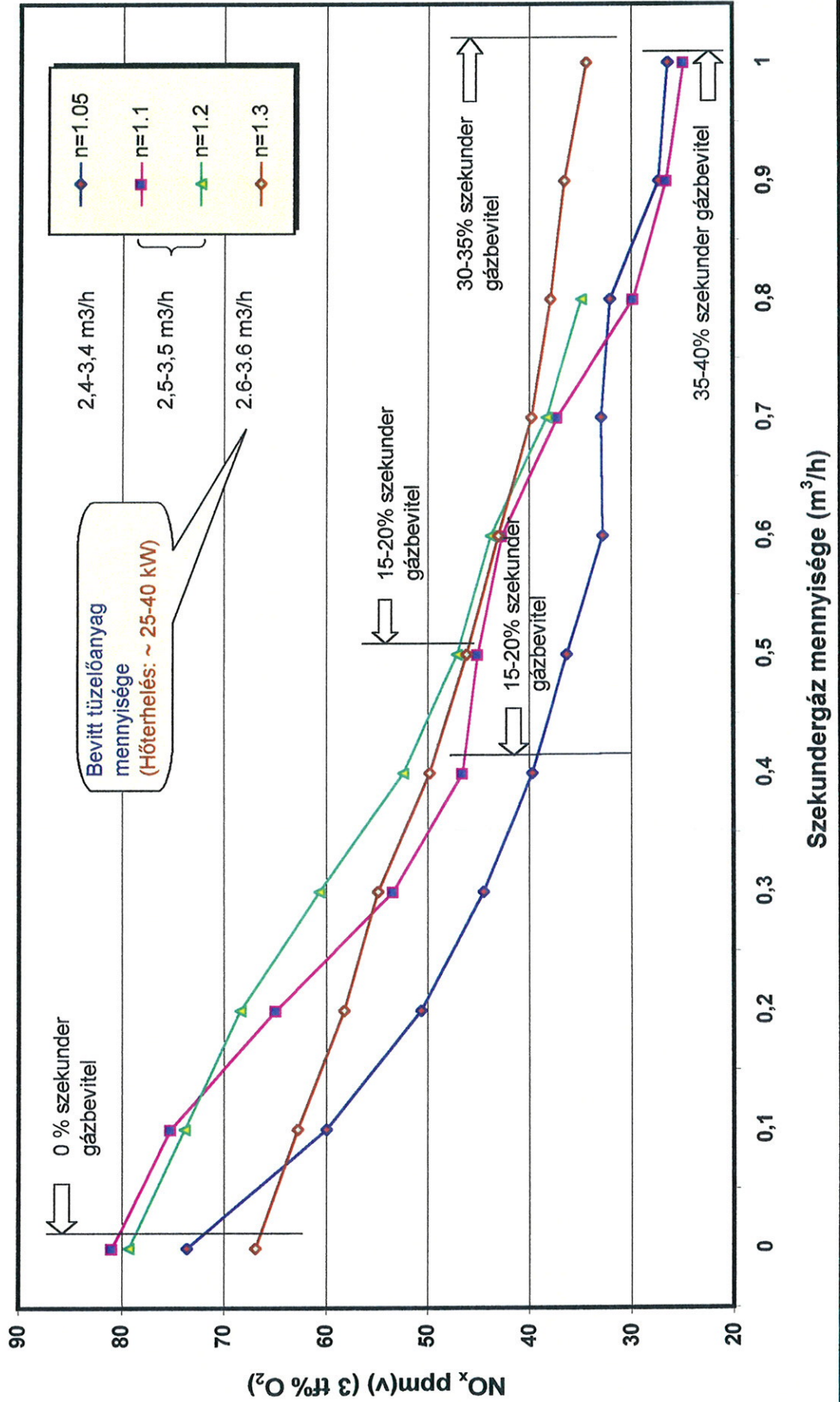


8. ábra

Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett (1200-1250 °C)

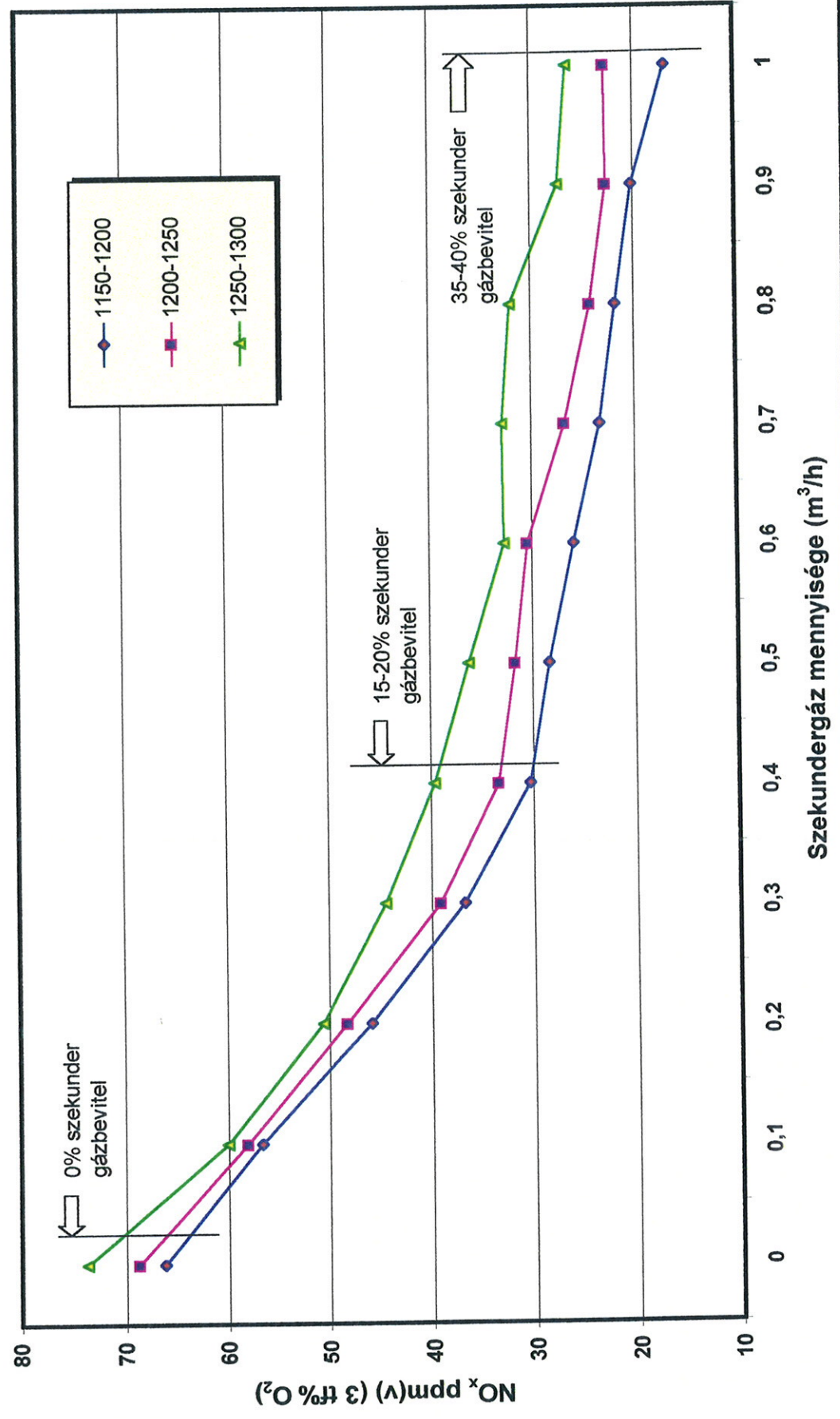


Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett (1250-1300 °C)

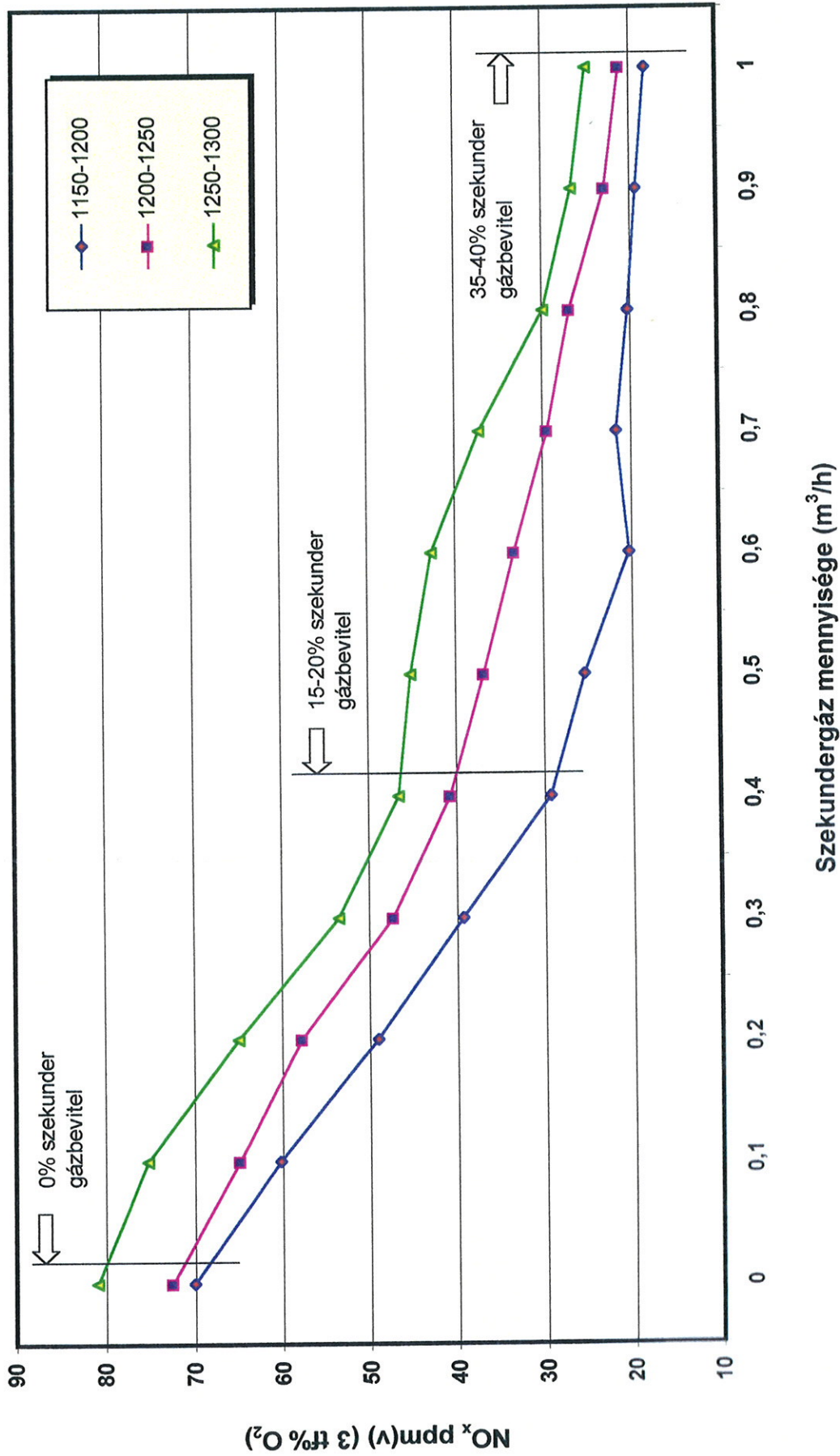


10. ábra

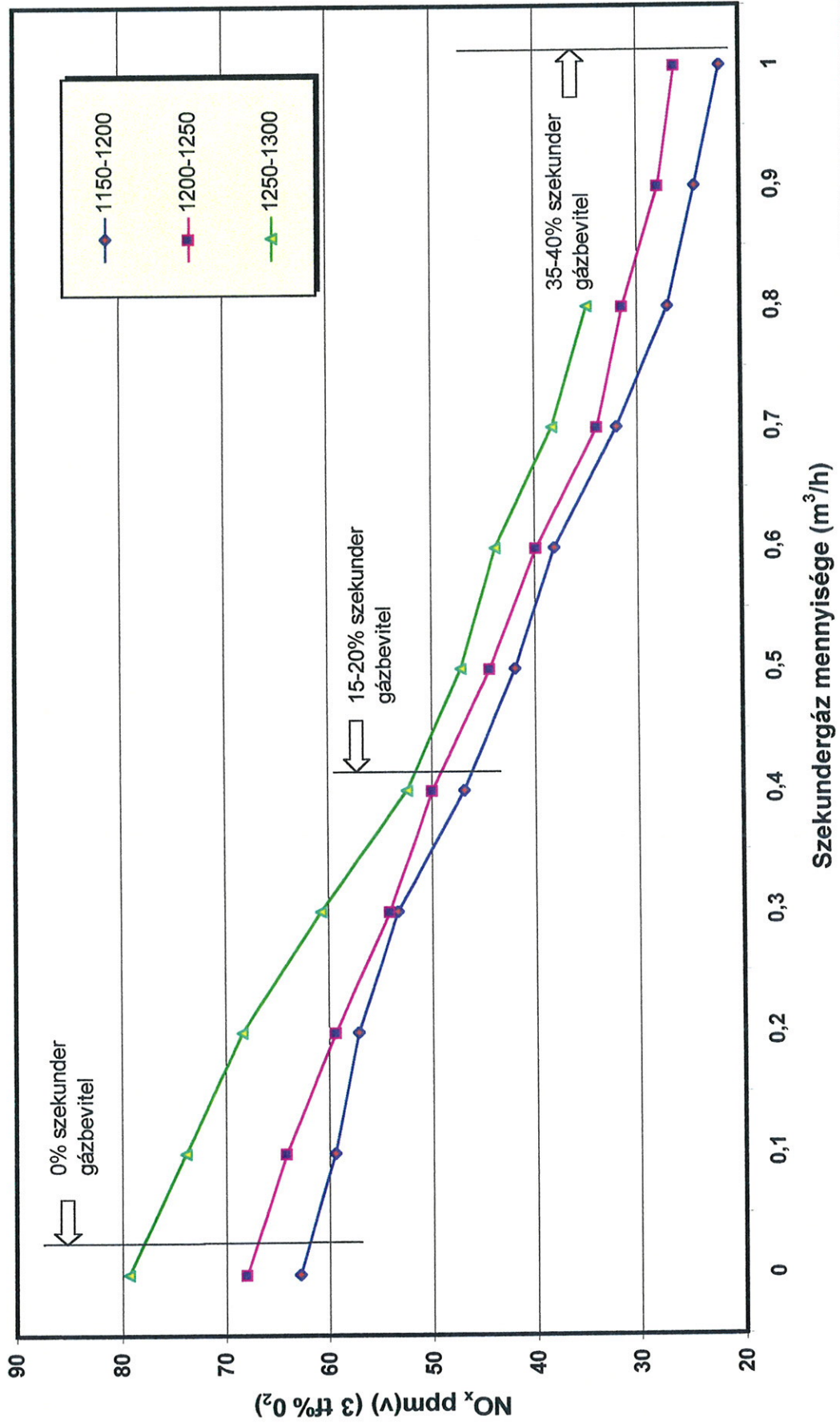
Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett (n=1,05 hőmérséklet függése)



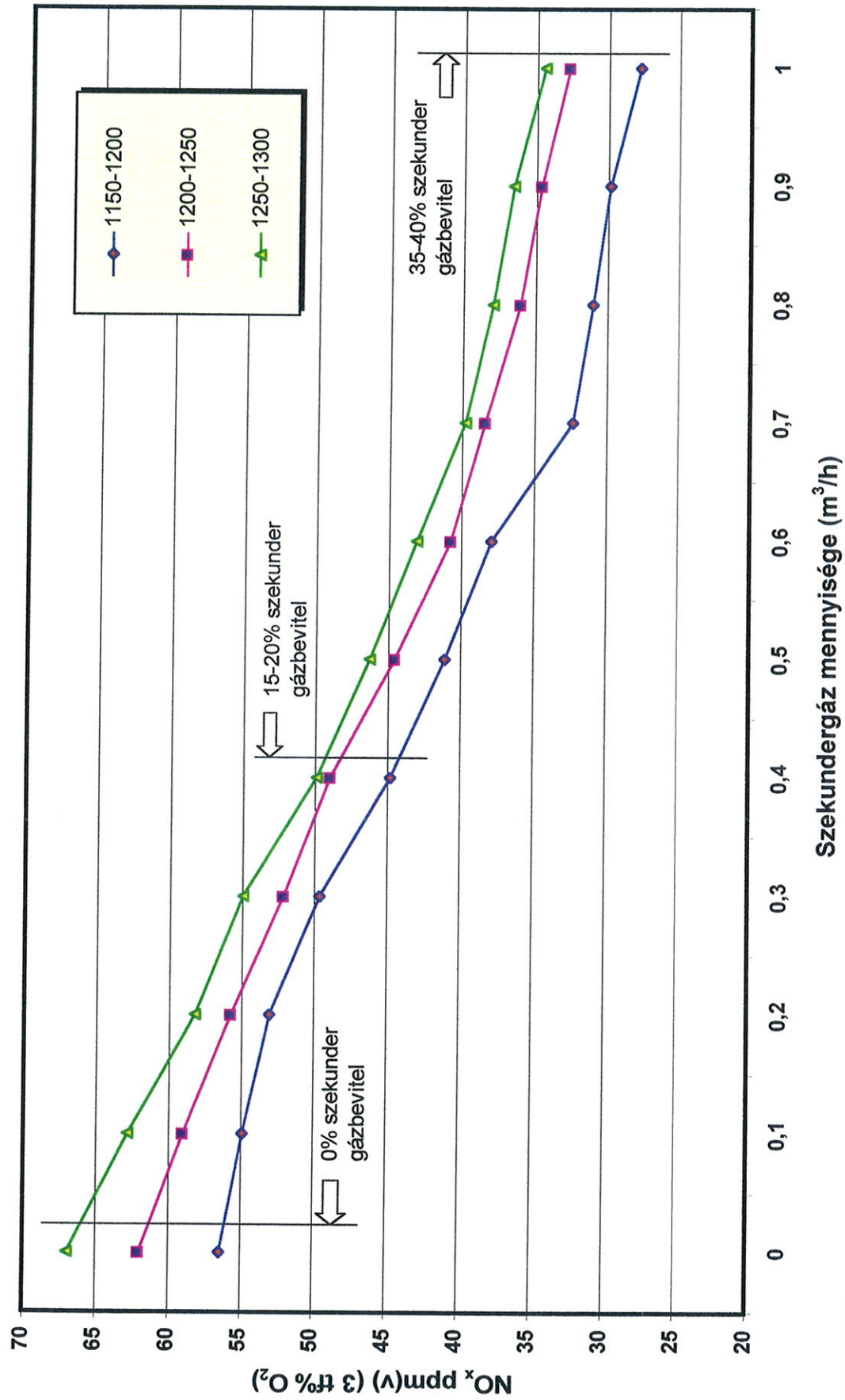
Földgázüzemű mérészek növelt hőbevitel mellett ($n=1,1$ hőmérséklet függése)



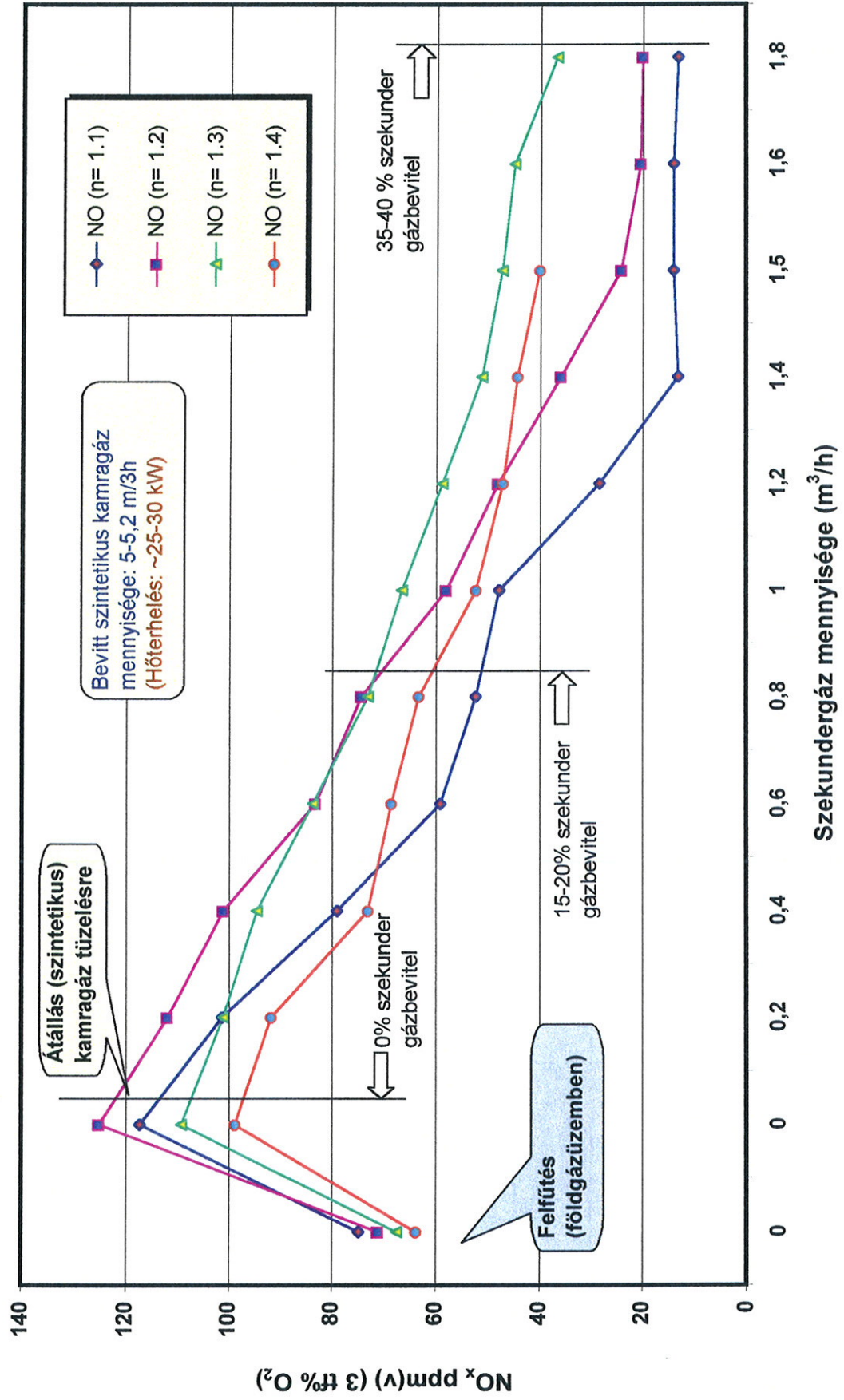
Földgázüzemű mérések mellett növelt hőbevitel mellett ($n=1,2$ hőmérséklet függése)



Földgázüzemű mérések növelt hőbevitel mellett (n=1,3 hőmérséklet függése)

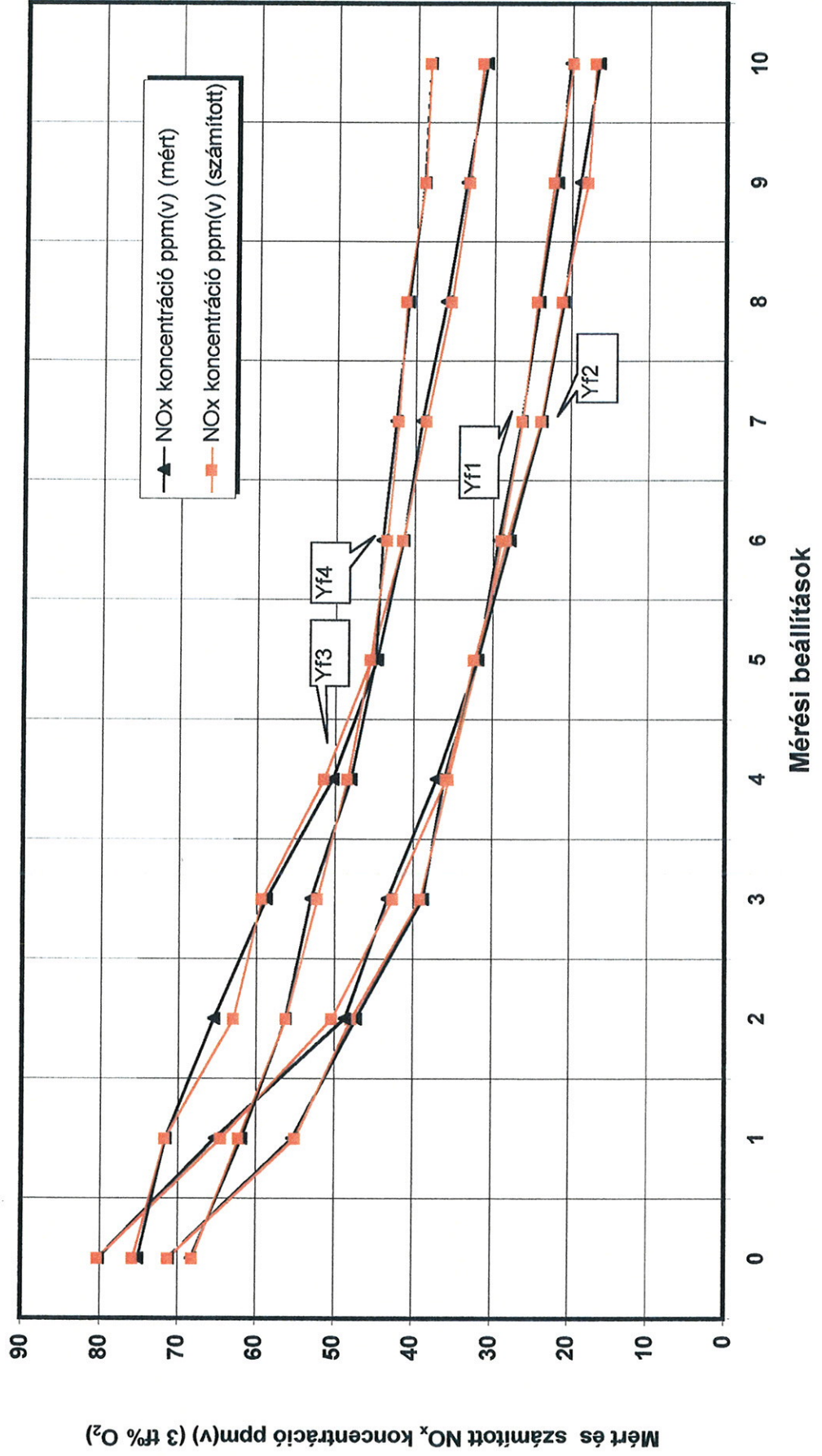


Szintetikus kamragázüzemű mérések állandó hőbevitel mellett (1200-1300 °C)

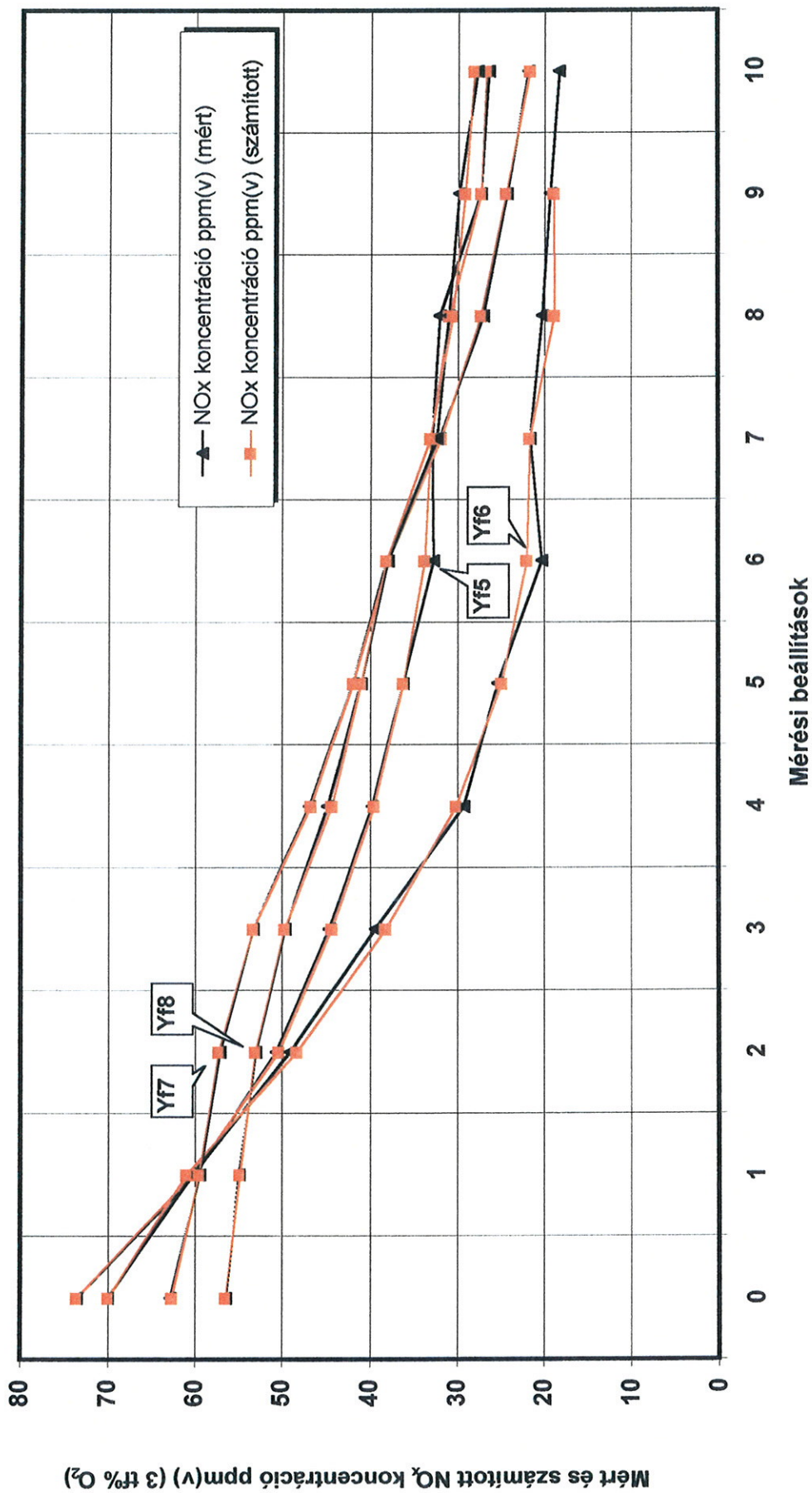


15. ábra

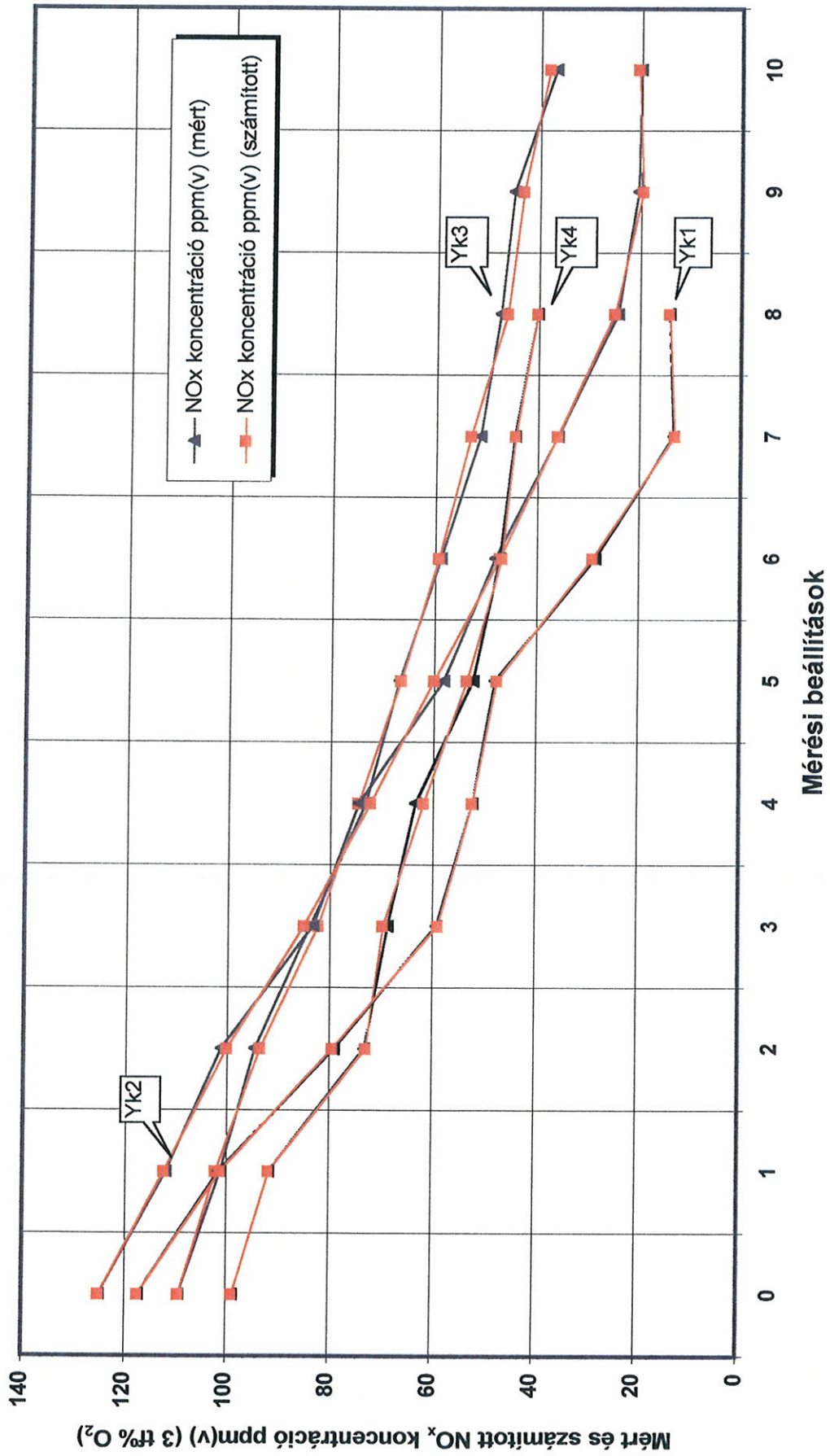
**Az (Yf1-Yf4) függvények ellenőrzése
NO_x-képződés földgázüzelésnél (állandó hőbevitel mellett)**



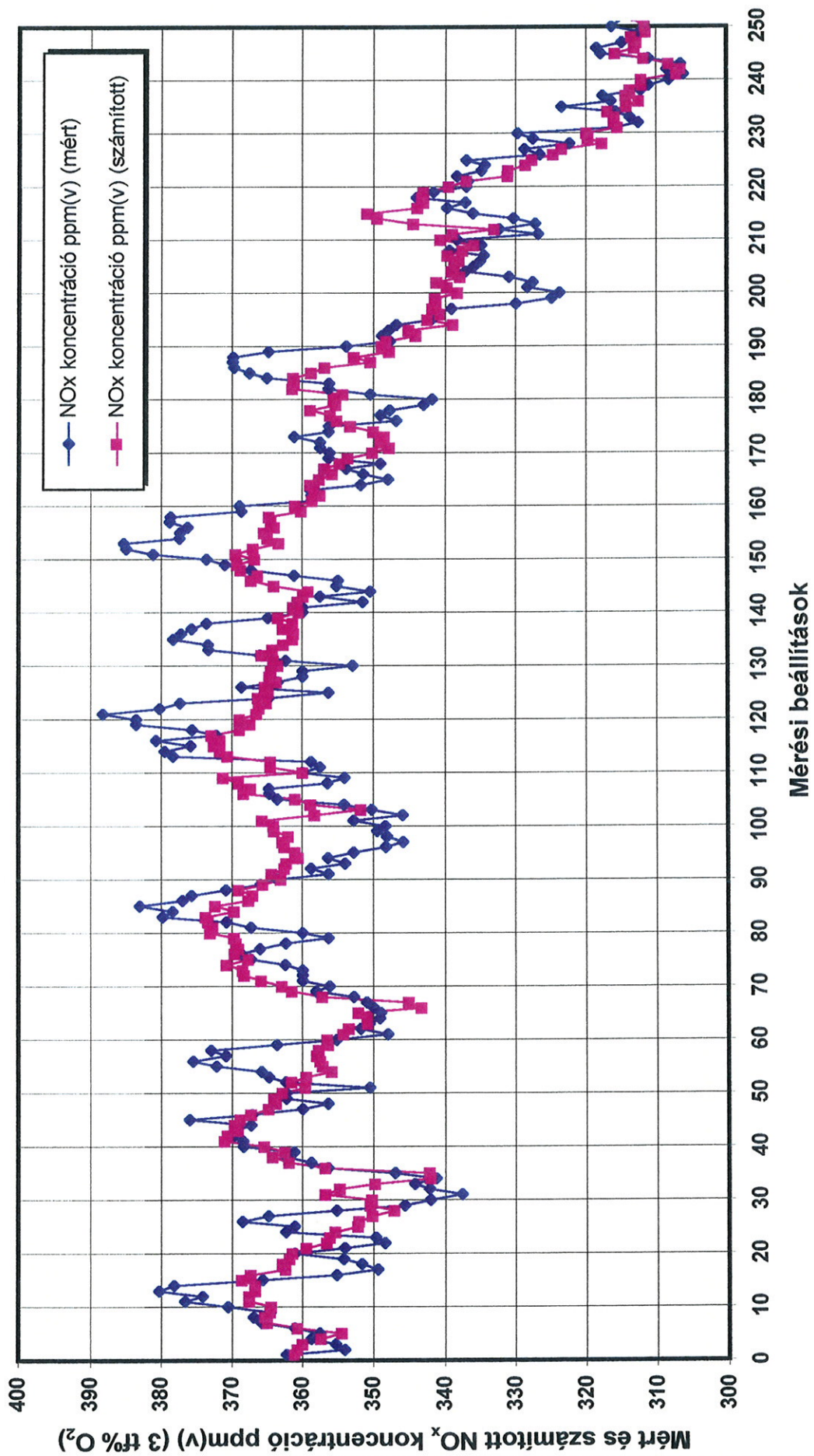
Az (Yf5-Yf8) függvények ellenőrzése
 NO_x -képződés földgázüzelésénél (növelt hőbevitel mellett)



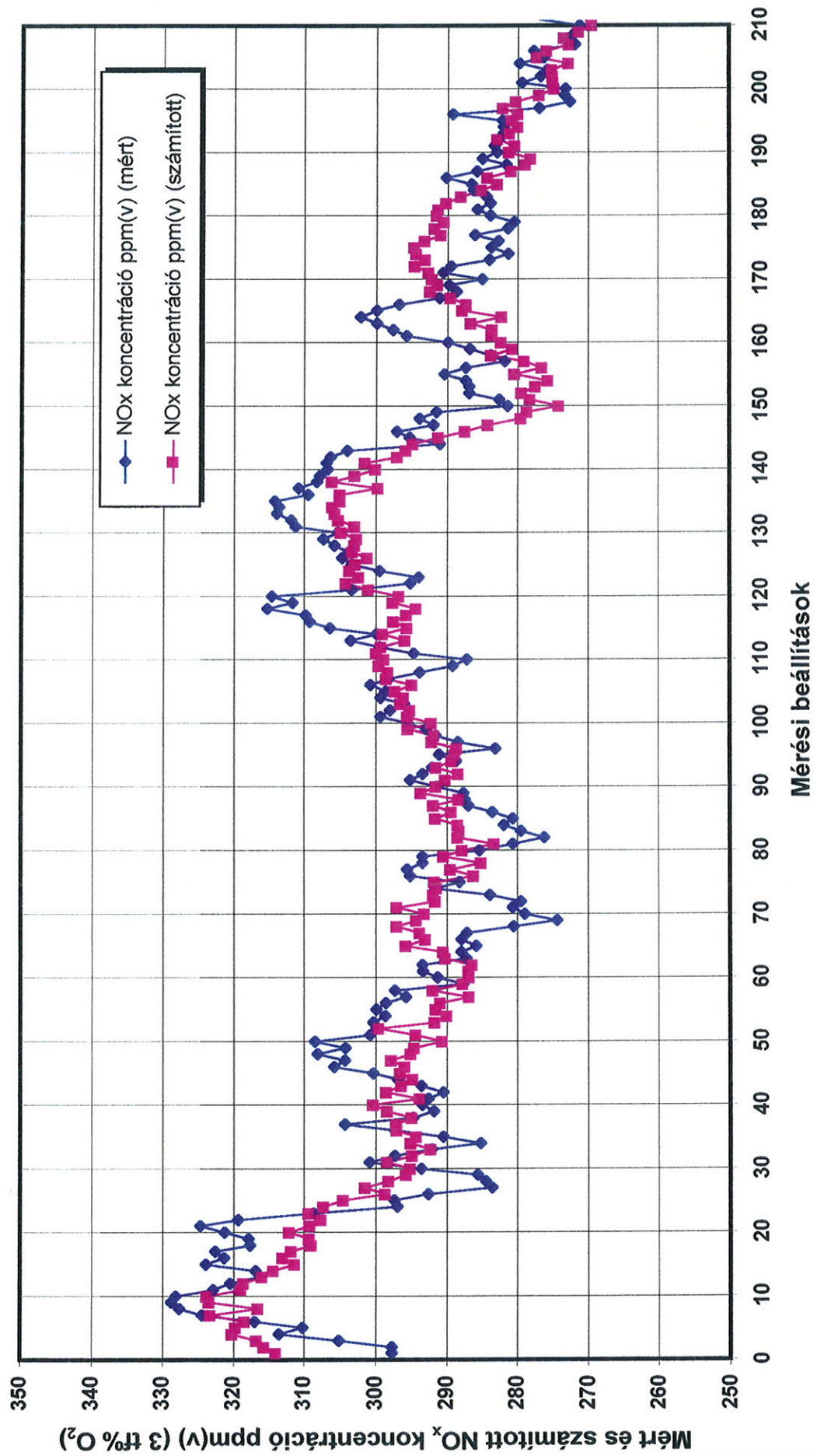
Az (Yk1-Yk4) függvények ellenőrzése
 NO_x -képződés szintetikus kamragázüzelésnél (állandó hőbevitel mellett)



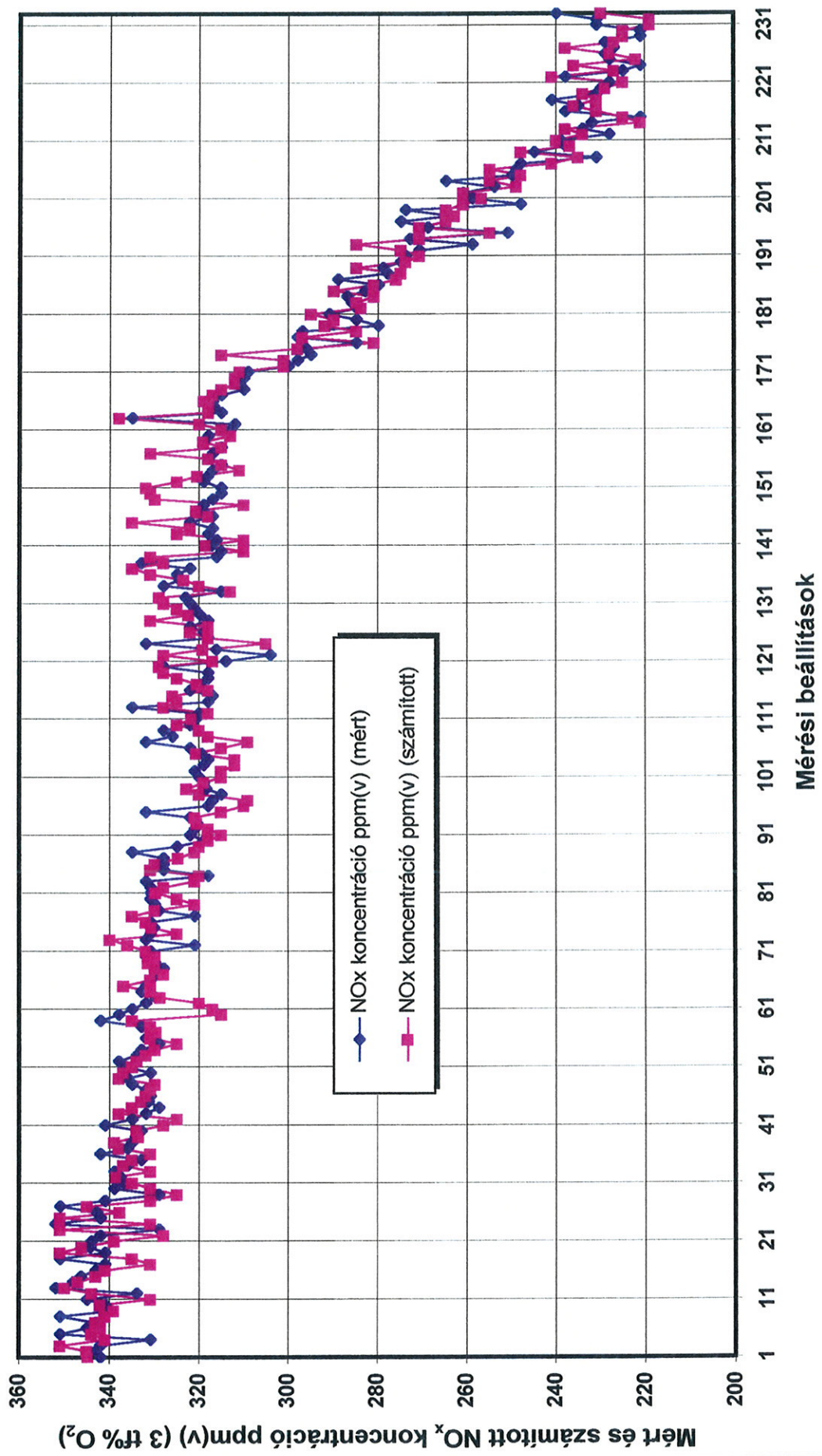
Az (Y_{vi}) függvény ellenőrzése



Az ($Y_{VII.}$) függvény ellenőrzése



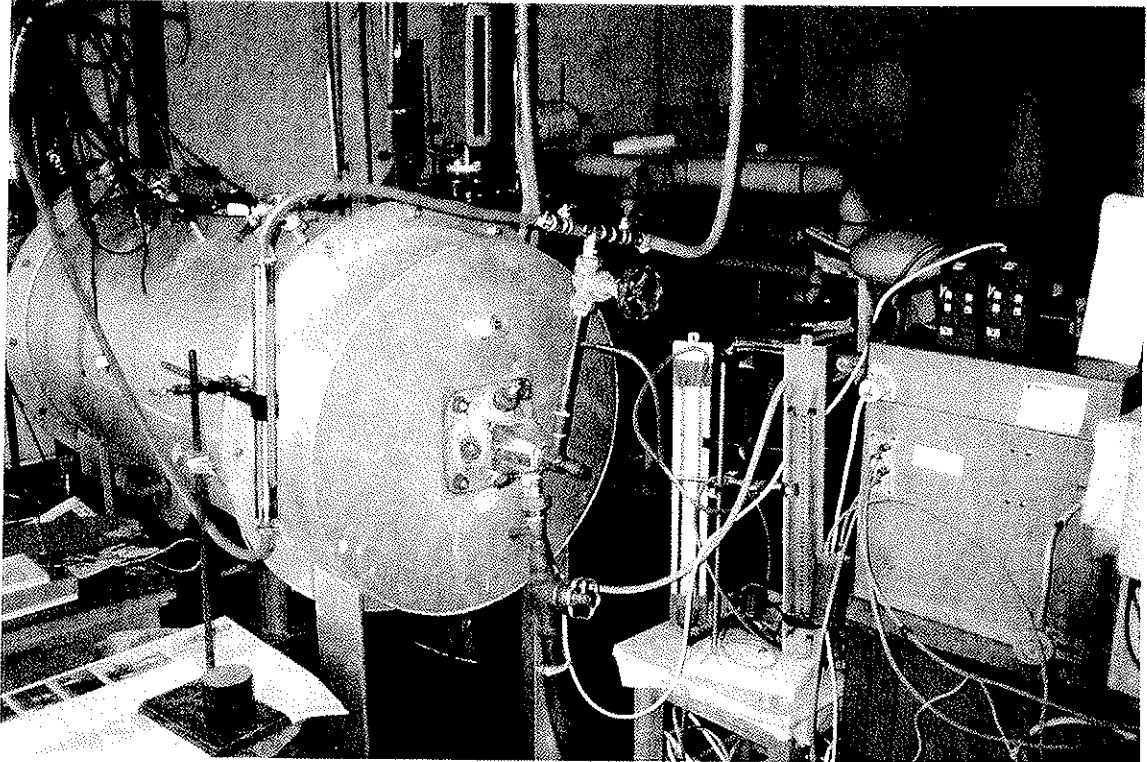
Az (Y_{VI.+VII.}) függvény ellenőrzése



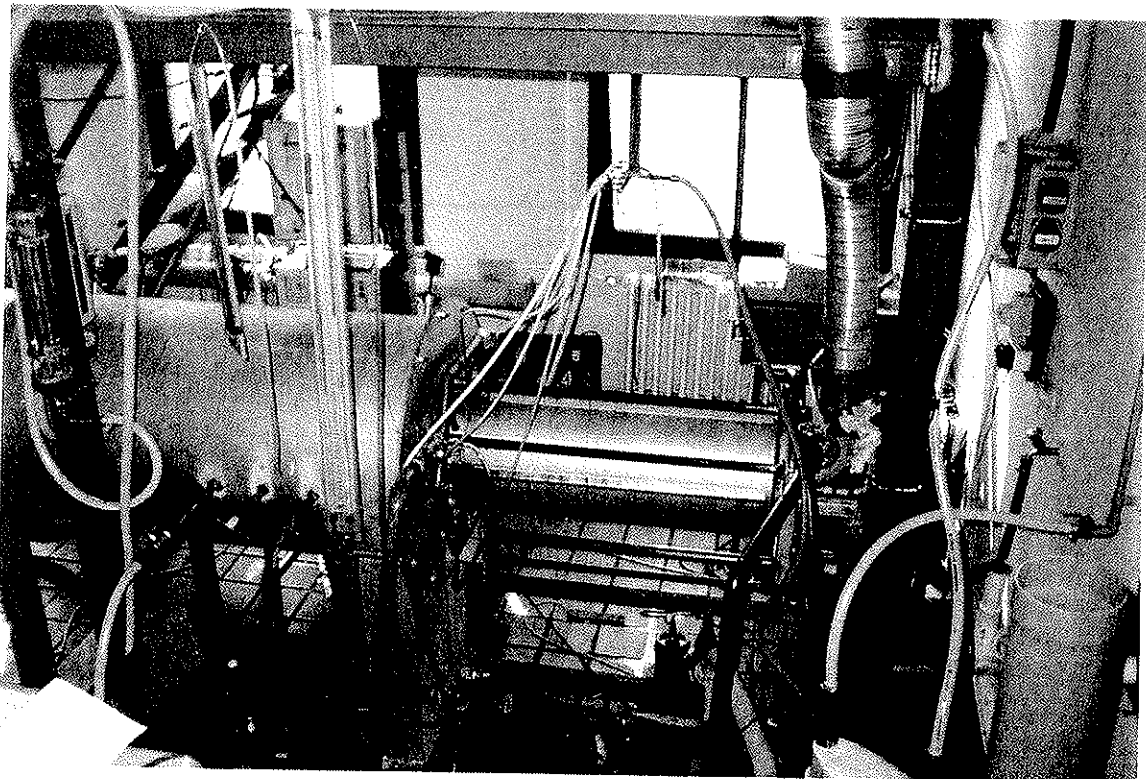
2., MELLÉKLET

Fotómelléklet

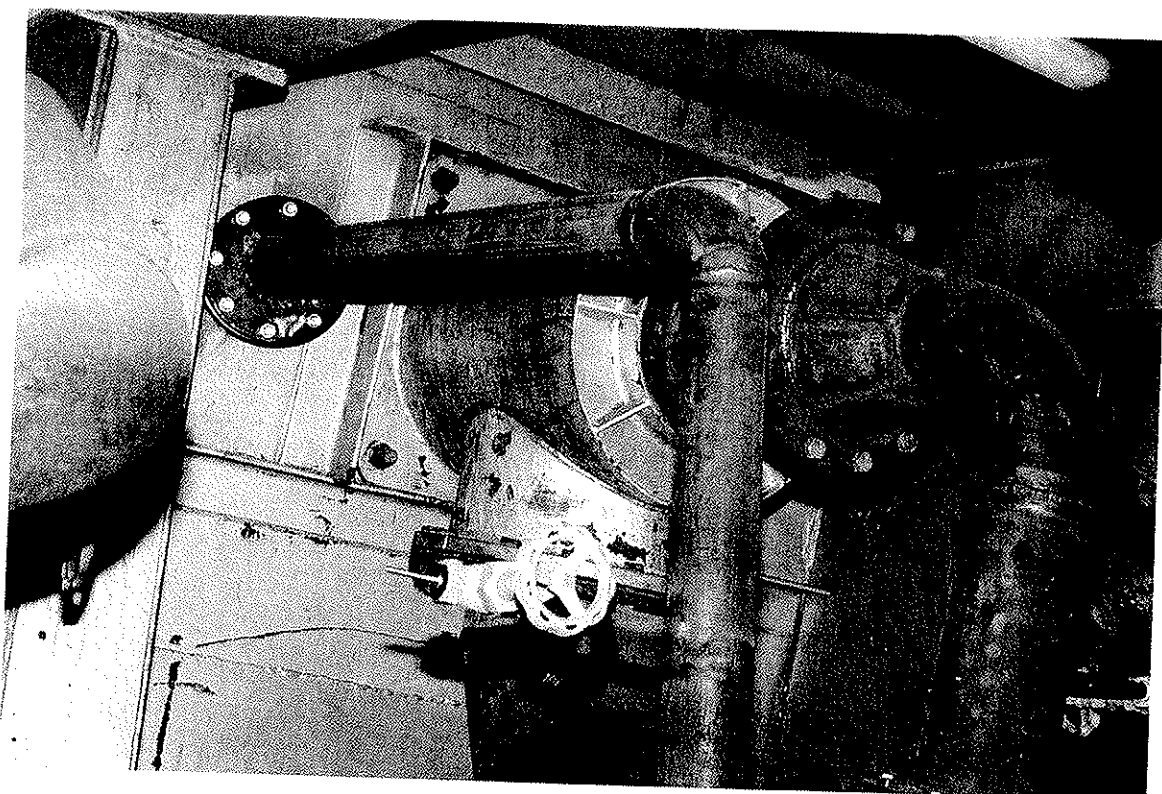
1. kép. Laboratóriumi kísérleti kemence, homlokzati képe
2. kép. Laboratóriumi kísérleti kemence, oldalnézeti képe
3. kép. A DV. II. sz. tolókemence kiadó oldala
4. kép. Füstgázelemzés (lehuzat után, a rekuperátor előtt)
5. kép. A DV. II. sz. tolókemence (VI. zóna 5. égő) szekundergáz bevezetése
6. kép. A DV. II. sz. tolókemence (VI. zóna 5. égő) szekundergáz bevezetése, a tűztér felől



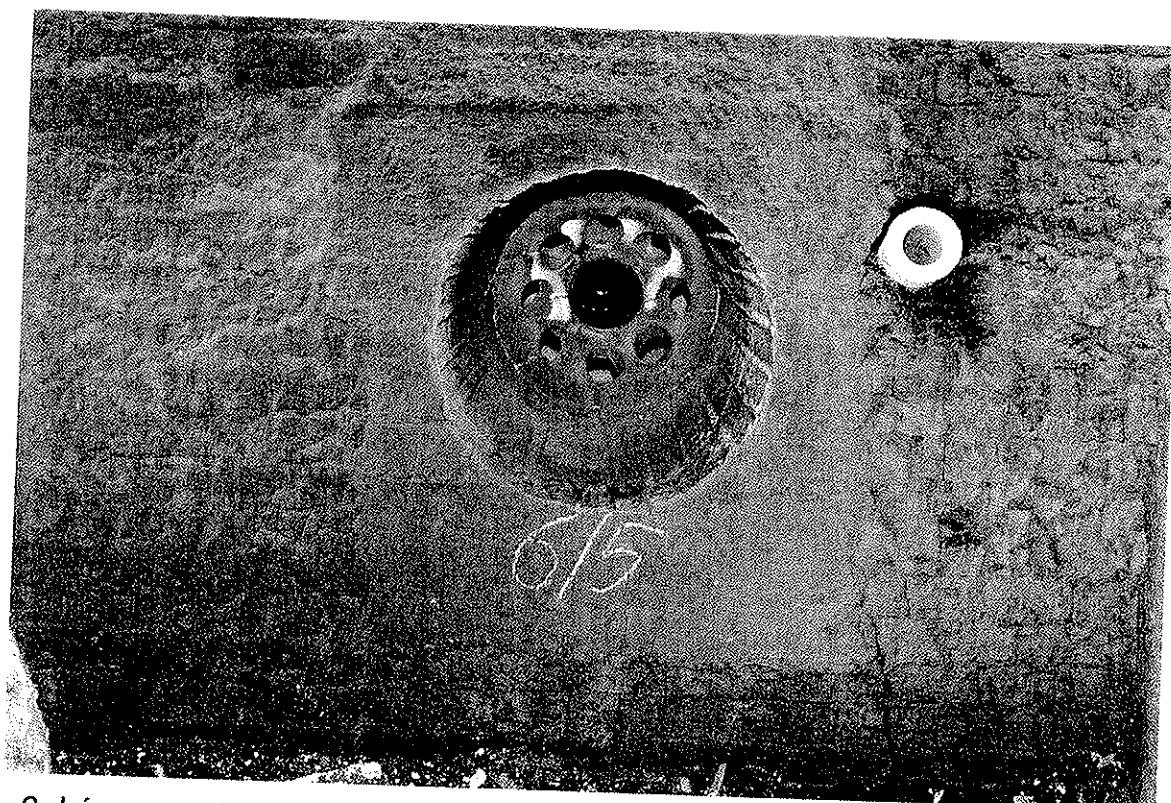
1. kép. Laboratóriumi kísérleti kemence, homlokzati képe



2. kép. Laboratóriumi kísérleti kemence, oldalnézeti képe



5. kép. A DV. II. sz. tolókemence (VI. zóna 5. égő) szekundergáz bevezetése



6. kép. A DV. II.sz. tolókemence (VI. zóna 5. égő) szekundergáz bevezetése, a tüztér felől

3., MELLÉKLET

A félüzemi (laboratóriumi) vizsgálatok beállításai, mért és regisztrált jellemzők:

REBURNING / Földgáz újraégetés laborlétesítmény

Hőmérséklet mérési sorozat

Dátum: 1999. június - július

Tüzelőanyag: földgáz / (Tűz, MOL)

(tf%) CH₄ 90.4, C₂H₆ 2.2, C₃H₈ 0.94, C₄H₁₀ 0.65, C₅H₁₂ 0.26,
C₆H₁₄ 0.01, N₂ 2.67, CO₂ 2.87

Kísérleti beállítások, mért és regisztrált jellemzők:

Mérési pontok:

1	Leolvasások ideje:	[h, min]
2	Égési lev. hőm. (környezeti hőm.):	[°C]
3	Levegő relatív nedvesség tartalma:	[%]

Bejuttatott mennyiségek:

4	V _{gáz 1} primer gáz:	[m ³ /h]
5	P _{gáz 1}	[Pa]
6	V _{lev 1} primer levegő	[m ³ /h]
7	P _{lev 1}	[Pa]
8	Primer zóna számított:	[l]

9	V _{gáz 2} szekunder gáz	[m ³ /h]
10	P _{gáz 2}	[Pa]
11	V _{lev 2} szekunder levegő	[m ³ /h]
12	P _{lev 2}	[Pa]
13	Szekunder zóna számított:	[l]

Kemencetérben mért hőm. adatok:

14	T ₁ hőelem	[°C]
15	T ₂ hőelem / bakia hőmér.	[°C]
16	T ₃ hőelem	[°C]
17	T ₄ hőelem	[°C]
18	T ₅ hőelem	[°C]
19	T ₆ hőelem / ábrázoló zóna oldal	[°C]

20	Szekunder gázszonda pozíciója:	[l]
21	Kemencetér hűtőszonda pozíciója:	[cm]
22	P _{kemencetérnyomás}	[Pa]

Fsg. elemzés szondával kem. térben: (reburning zóna)

23	O ₂	[tf%]
24	CO	[ppm]
25	CO ₂	[tf%]
26	NO _x mért	[ppm]
27	NO _x (3 1% O ₂)	[ppm]

Fsg. elemzés távozó fsg.-ban: (fsg. csatornában)

28	O ₂	[tf%]
29	CO	[ppm]
30	CO ₂	[tf%]
31	NO _x mért	[ppm]
32	NO _x (3 1% O ₂)	[ppm]

Kiértékeléshez használt főbb jellemzők:

33	Teljes bevitt hőteljesítmény:	[kW/h]
34	Teljes bevitt gáz mennyiség:	[m ³]
35	Teljes bevitt égési levegő mennyiség:	[m ³]
36	Levegő tényező számításal:	[l]
37	Levegő tényező fsg. elemzéssel:	[l]
38	NO _x mért	[ppm]
39	NO _x (3 1% O ₂)	[ppm]
40	NO _x (3 1% O ₂)	[mg/m ³]
41	NO _x emisszió (teljes mennyiség)	[mg]
42	NO _x kibocsátás/ bevitt hőteljesítmény:	[mg/kW]
43	NO _x csökkentés %-ban (kezelési lépés)	[%]
44	NO _x csökkentés %-ban (kezelési lépés)	[%]

REBURNING / Földgáz újraégetés laborkísérlet

Hőntartó mérési sorozat

Dátum: 1999.07.06

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{üzlet} = 1150-1200

n = 1.05

O_{2,uzlet} = 1.1

Fájl kód: reb2706

F_{érintkező}: 35.69 [MJ/m³]

F_{érintkező(O₂)}: 33.94 [MJ/m³]

L_{üzlet}: 9.5 [m³/m³]

F_{szigetelés}: 10.5 [m³/m³]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[t, min]	9:34	9:52	10:04	10:20	11:04	11:38	11:51	12:07	12:14	12:25	12:40
[°C]	29	30.5	30.8	31	32	31.5	32	33	32.5	33.1	32.3
[%]	62	57	57	55	53	48	48	47	47	46	44

[m ³ /h]	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2	1.9	1.8	1.7	1.6
[Pa]	770	740	660	640	610	620	540	490	470	420	390
[m ³ /h]	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
[Pa]	1400	1360	1250	1140	1180	1090		940	900	840	800
[l]	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
[Pa]	0	40	80	210	410	560	750	1220	1580	1870	2180
[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11
[Pa]	0	340	760	1340	2280	3500	5500	6700	8500	8900	9100
[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.20	1.18	1.17	1.16

[°C]	1278	1276	1272	1259	1264	1291	1270	1246	1234	1224	1206
[°C]	1178	1182	1178	1182	1182	1217	1199	1183	1170	1171	1158
[°C]	1115	1124	1125	1122	1129	1167	1162	1149	1145	1156	1144
[°C]	962	983	1005	915	990	1075	1051	1047	1049	1069	1079
[°C]	871	900	924	904	912	1036	988	897	992	1028	1037
[°C]	560	580	610	590	640	700	690	670	670	700	700

[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
[cm]	150	125	100	100	100	75	75	75	75	50	25
[Pa]	20	20	20	20	40	35	35	35	40	40	40

[tf%]	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[ppm]	1	535	2000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
[tf%]	11.6	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
[ppm]	68	56	52	43	41	38	37	35	33	33	31
[ppm]	61.2	48.0	44.6	36.9	35.1	32.6	31.7	30.0	28.3	28.3	26.6

Fix beépített műszerek

[tf%]	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	0.95	1	1.1	1.1	1.1	1.15
[ppm]	0	11	22	31	41	49	57	77	2000	4000	4000
[U%]	11.7	11.6	11.7	11.6	11.6	11.8	11.8	11.7	11.7	11.7	11.6
[ppm]	67.7	60.4	50.2	40.7	32.28	30.18	28.44	25.64	24.76	22.44	18.74
[ppm]	61.2	54.9	45.4	37.0	29.2	27.1	25.6	23.2	22.4	20.3	17.0

[kW/h]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
[m ³]	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
[m ³]	26	26.5	27	27	27	27	27	27	27	27	27
[l]	1.05	1.07	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
[l]	1.06	1.07	1.06	1.07	1.06	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
[ppm]	67.7	60.4	50.2	40.7	32.28	30.18	28.44	25.64	24.76	22.44	18.74
[ppm]	61.2	54.9	45.4	37.0	29.2	27.1	25.6	23.2	22.4	20.3	17.0
[mg/m ³]	125.5	112.6	93.1	75.9	59.9	55.5	52.5	47.5	45.9	41.6	34.8
[mg]	3427	3073	2541	2071	1634	1516	1432	1298	1253	1136	951
[mg/kW]	140	125	104	84	67	62	58	53	51	46	39
[%]	0	10.3	25.8	39.6	52.3	55.8	58.2	62.1	63.4	66.9	72.2
[%]	0	10.3	17.3	18.5	21.1	7.2	5.5	9.4	3.4	9.4	16.3

REBURNING / Földgáz újraégetés labor kísérletei

T_{labor} 1150-1200

F_{előégetés} 35.69 [MJ/m³]

Hőntartó mérési sorozat

n= 1.1

F_{előégetés(MOL)} 33.94 [MJ/m³]

Dátum: 1999.06.28

O_{2,ref} 2.1

L_{elő} 9.5 [m³/m³]

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

Fájl kód: reb2628

F_{sgó} 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,mín]	11:21	11:35	11:46	11:55	12:15	12:33	12:45	12:55	13:07	13:18	13:30
2	[°C]	26.5	27.5	28.1	28.1	27.5	29.5	29.5	29.5	31	30.5	29.5
3	[%]	55	50	51	51	46	43	42	42	41	40	44
4	[m ³ /h]	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2	1.9	1.8	1.7	1.6
5	[Pa]	740	690	660	590	550	530	460	430	390	340	290
6	[m ³ /h]	28	26.5	25	24	23	22	21	20	19	18	17
7	[Pa]	1410	1330	1280	1240	1180	1120	1020	960	950	900	880
8	[l]	1.13	1.12	1.10	1.10	1.10	1.10	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	30	60	100	180	260	450	530	720	880	1070
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	8	9	11	12
12	[Pa]	0	200	870	1370	2370	3400	5000	6000	8000	8900	9000
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.20	1.18	1.29	1.26
14	[°C]	1275	1265	1266	1249	1243	1248	1238	1238	1227	1217	1204
15	[°C]	1187	1174	1190	1180	1178	1187	1176	1185	1189	1181	1172
16	[°C]	1126	1118	1136	1142	1139	1159	1162	1184	1193	1195	1201
17	[°C]	1007	1007	1039	1045	1044	1077	1074	1100	1118	1131	1138
18	[°C]	923	925	970	971	973	1028	1029	1062	1075	1088	1100
19	[°C]	670	630	680	670	700	710	710	710	700	720	720
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	100	100	75	75	75	50	50	25	25	0	0
22	[Pa]	25	20	20	20	20	20	20	20	20	25	30
23	[tF%]	2.1	1.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	0	1	543	616	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
25	[tF%]	10.5	10.9	11.8	11.6	11.6	11.5	11.7	11.8	11.8	11.8	11.8
26	[ppm]	64	59	53	50	3.6	3.5	30	28	25	24	21
27	[ppm]	61.0	55.3	46.5	42.9	30.9	30.0	25.7	24.0	21.4	20.6	18.0
Fix beépített műszerek												
28	[tF%]	2.15	2.05	2.2	2.2	2.1	2	2.3	1.9	2.15	2.2	2.05
29	[ppm]	0	0	3	9	17	25	37	48	61	78	101
30	[tF%]	11.1	11.2	11.1	10.8	11.1	10.4	10.6	10.4	10.5	10.6	11.2
31	[ppm]	71.2	60.3	44.87	36.39	31.93	31.56	26.16	25.3	22.9	20	18.1
32	[ppm]	68.0	57.3	43.0	34.8	30.4	29.9	25.2	23.8	21.9	19.1	17.2
33	[kW/h]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
34	[m ³]	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
35	[m ³]	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29
36	[l]	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.17	1.17
37	[l]	1.13	1.12	1.13	1.13	1.12	1.12	1.14	1.11	1.13	1.13	1.12
38	[ppm]	71.2	60.3	44.87	36.39	31.93	31.56	26.16	25.3	22.9	20	18.1
39	[ppm]	68.0	57.3	43.0	34.8	30.4	29.9	25.2	23.8	21.9	19.1	17.2
40	[mg/m ³]	139.4	117.4	88.1	71.4	62.3	61.3	51.6	48.9	44.8	39.3	35.2
41	[mg]	3805	3206	2404	1950	1702	1673	1409	1334	1224	1072	962
42	[mg/kW]	155	131	98	80	69	68	57	54	50	44	39
43	[%]	0	15.8	36.8	48.8	55.3	56.0	63.0	64.9	67.8	71.8	74.7
44	[%]	0	15.8	25.0	18.9	12.7	1.7	15.8	5.3	8.3	12.4	10.2

REBURNING / Földgáz újraelgetés labor kísérletei

Hőntartó mérési sorozat

Dátum: 1999.06.22

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{aktív} = 1150-1200

n = 1.2

O₂ t_{0%} = 3.8

Fájl kód: reb2622

F_{számláló}: 35.69 [MJ/m³]

F_{érintő(MOL)}: 33.94 [MJ/m³]

L_{elm}: 9.5 [m³/m³]

F_{sg_{akt}}: 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h, min]	10:51	11:34	11:52	12:12	12:21	12:38	13:01	13:12	13:28	13:38	13:47
2	[°C]	26.5	26.5	26	26.2	25.5	26.5	26.2	26	26	25.8	25.6
3	[%]	60	62	62	62	61	60	58	57	58	57	57

4	[m ³ /h]	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2	1.9	1.8	1.7	1.6
5	[Pa]	770	690	640	610	580	527	480	410	370	270	200
6	[m ³ /h]	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19
7	[Pa]	1500	1370	1350	1280	1270	1200	1110	980	900	830	730
8	[l]	1.17	1.18	1.18	1.19	1.20	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25

9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	40	60	110	190	270	350	530	680	830	990
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	8	9	11	12
12	[Pa]	0	300	600	1610	2600	4010	5600	6900	8000	9100	9400
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.20	1.18	1.29	1.26

14	[°C]	1277	1267	1262	1254	1256	1252	1246	1230	1220	1181	1135
15	[°C]	1211	1197	1194	1191	1198	1195	1191	1187	1192	1177	1176
16	[°C]	1164	1153	1158	1155	1169	1170	1183	1171	1181	1176	1200
17	[°C]	1096	1098	1121	1130	1143	1146	1155	1152	1168	1156	1163
18	[°C]	1047	1046	1059	1069	1083	1098	1108	1113	1126	1124	1130
19	[°C]	690	660	680	680	700	700	710	710	710	710	710

20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	30	40	30	30	30	30	30	25	25	20	20

23	[t _f %]	3.4	3.1	2.6	1.9	1.5	0.9	0	0	0	0	0
24	[ppm]	14	15	385	1228	1500	2000	2000	2000	2000	4000	4000
25	[t _f %]	10	10.1	10.4	10.8	11.1	11.4	11.6	11.9	11.9	11.9	11.9
26	[ppm]	60	62	62	55	51	44	42	39	35	33	31
27	[ppm]	61.4	62.3	60.7	51.8	47.1	39.4	36.0	33.4	30.0	28.3	26.6

Fix beépített műszerek

28	[t _f %]	3.9	3.9	3.9	3.9	3.7	3.8	3.7	3.7	3.5	3.8	3.8
29	[ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	[t _f %]	10	10.1	11.9	10	10.1	10	10.1	10.1	10.3	10.1	10.1
31	[ppm]	55.7	51	45.7	40.7	36.7	32.7	29.2	25.3	22.7	18.9	18.6
32	[ppm]	58.6	53.7	48.1	42.8	38.2	34.2	30.4	26.3	23.3	19.8	19.5

33	[kW/h]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
34	[m ³]	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
35	[m ³]	29	29.5	30	30	30	30	30	30	30	31	31
36	[l]	1.17	1.19	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.26	1.26
37	[l]	1.25	1.25	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.24	1.22	1.24	1.24
38	[ppm]	55.7	51	45.7	40.7	36.7	32.7	29.2	25.3	22.7	18.9	18.6
39	[ppm]	58.6	53.7	48.1	42.8	38.2	34.2	30.4	26.3	23.3	19.8	19.5
40	[mg/m ³]	120.2	110.1	98.6	87.8	78.3	70.2	62.3	54.0	47.9	40.5	39.9
41	[mg]	3281	3004	2692	2398	2137	1915	1700	1473	1307	1107	1089
42	[mg/kW]	134	123	110	98	87	78	69	60	53	45	44
43	[%]	0	8.4	18.0	26.9	34.9	41.6	48.2	55.1	60.2	66.3	66.8
44	[%]	0	8.4	10.4	10.9	10.9	10.4	11.2	13.4	11.3	15.3	1.6

REBURNING / Földgáz újratézés labor kísérletei

Hőntartó mérési sorozat

Dátum: 1999.06.23

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

$T_{\text{bázis}} = 1150-1200$

$n = 1.3$

$O_{2, \text{törv}} = 5.2$

Fájl kód: reb2623

$F_{\text{szárazított}} = 35.69$ [MJ/m³]

$F_{\text{mért(MOL)}} = 33.94$ [MJ/m³]

$L_{\text{előt}} = 9.5$ [m³/m³]

$F_{\text{SG-elő}} = 10.5$ [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	9:45	10:22	10:41	10:51	11:08	11:24	11:40	11:59	12:15	12:32	12:47
2	[°C]	24	24.1	24.3	24.5	24.5	24.7	25.2	25	24.4	25.2	24.5
3	[%]	48	49	48	48	48	47	45	45	44	44	47
4	[m ³ /h]	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2	1.9	1.8	1.7	1.6
5	[Pa]	770	690	650	600	550	490	470	410	380	360	300
6	[m ³ /h]	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
7	[Pa]	770	690	650	600	550	490	470	1200	1180	1170	1160
8	[l]	1.26	1.26	1.27	1.28	1.29	1.30	1.32	1.33	1.35	1.36	1.38
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	50	70	110	180	280	390	540	700	860	1050
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	8	9	10	11	13
12	[Pa]	0	300	700	1470	2500	3750	5160	6200	8200	9100	9300
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.40	1.35	1.32	1.29	1.37
14	[°C]	1257	1251	1249	1245	1248	1239	1233	1225	1218	1194	1147
15	[°C]	1183	1186	1178	1176	1175	1169	1169	1171	1174	1165	1141
16	[°C]	1144	1140	1140	1140	1151	1150	1153	1162	1175	1182	1175
17	[°C]	1078	1096	1105	1120	1126	1128	1136	1141	1150	1151	1158
18	[°C]	1028	1039	1048	1060	1074	1084	1092	1108	1119	1131	1133
19	[°C]	660	660	670	670	670	690	680	700	700	700	700
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	40	35	30	30	30	30	30	30	35	40	40
23	[tf%]	4.6	4.3	4.3	3.2	2.2	1.3	0	0	0	0	0
24	[ppm]	0	0	0	346	696	344	996	2000	4000	4000	4000
25	[tf%]	9.3	9.5	9.5	10.1	10.7	10.7	10.8	11.2	11.8	11.8	11.8
26	[ppm]	53	49	47	45	46	41	40	43	41	39	39
27	[ppm]	58.2	52.8	50.7	45.5	44.0	37.5	34.3	36.9	35.1	33.4	33.4
Fix beépített műszerek												
28	[tf%]	5.3	5.3	5.4	5.25	5.25	5.35	5.15	5.1	5	5	5.35
29	[ppm]	0	5	3	1	1	1	1	1	7	0	0
30	[tf%]	9.2	9.2	9.2	9.4	9.3	9.2	9.2	9.4	9.6	9.5	9.3
31	[ppm]	46.8	43.1	38.9	37.3	33.2	29.7	27.3	24.6	23	21.4	20.4
32	[ppm]	53.7	49.4	44.9	42.6	37.9	34.2	31.0	27.8	25.9	24.1	23.5
33	[kW/h]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
34	[m ³]	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
35	[m ³]	31	31.5	32	32	32	32	33	33	33	33	34
36	[l]	1.26	1.28	1.30	1.30	1.30	1.30	1.34	1.34	1.34	1.34	1.38
37	[l]	1.37	1.37	1.38	1.37	1.37	1.38	1.36	1.35	1.35	1.35	1.38
38	[ppm]	46.8	43.1	38.9	37.3	33.2	29.7	27.3	24.6	23	21.4	20.4
39	[ppm]	53.7	49.4	44.9	42.6	37.9	34.2	31.0	27.8	25.9	24.1	23.5
40	[mg/m ³]	110.0	101.3	92.0	87.4	77.8	70.0	63.6	57.1	53.0	49.4	48.1
41	[mg]	3003	2765	2512	2386	2123	1912	1735	1559	1448	1347	1313
42	[mg/kW]	123	113	102	97	87	78	71	64	59	55	54
43	[%]	0	7.9	16.3	20.6	29.3	36.3	42.2	48.1	51.8	55.1	56.3
44	[%]	0	7.9	9.2	5.0	11.0	10.0	9.2	10.2	7.1	7.0	2.5

REBURNING / Földgáz újraégetés laborkísérlet

Hőntartó mérési sorozat

Dátum: 1999.06.25

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{beza} = 1200-1250

n = 1.05

O_{2,ufv} = 1.1

Fájl kód: reb2625

F_{szelvény}: 35.69 [MJ/m³]

F_{szelvény(MOL)}: 33.94 [MJ/m³]

L_{beza}: 9.5 [m³/m³]

F_{szelvény}: 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	10:14	10:29	10:39	10:53	11:08	11:19	11:28	11:39	11:47	12:00	12:12
2	[°C]	24	25	26.1	26.5	27	26.8	27.5	27.3	27.5	27.3	28
3	[%]	44	40	43	38	38	39	37	38	38	37	37
4	[m ³ /h]	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2	1.9	1.8	1.7	1.6
5	[Pa]	800	720	680	630	550	500	450	410	350	310	280
6	[m ³ /h]	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
7	[Pa]	1220	1060	1020	1010	900	850	770	720	700	660	640
8	[l]	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	40	60	120	170	240	340	450	650	760	900
11	[m ³ /h]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	[Pa]	0	370	680	1580	2650	3810	5240	7320	8700	9200	9400
13	[l]	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
14	[°C]	1327	1317	1311	1312	1287	1271	1259	1246	1223	1215	1199
15	[°C]	1246	1239	1238	1230	1218	1204	1198	1190	1176	1180	1183
16	[°C]	1195	1194	1187	1190	1179	1174	1166	1171	1174	1152	1170
17	[°C]	1116	1119	1115	1109	1101	1096	1091	1090	1096	1093	1092
18	[°C]	1067	1070	1073	1072	1065	1058	1060	1054	1064	1060	1066
19	[°C]	640	640	660	690	690	690	700	700	700	700	700
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	30	10	10	25	20	10	10	10	10	10	10
23	[tf%]	1.1	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	7	2056	3000	3000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
25	[tf%]	11.7	11.8	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
26	[ppm]	73	55	44	38	35	29	27	26	25	22	21
27	[ppm]	66.0	48.1	38.1	32.6	30.0	24.9	23.1	22.3	21.4	18.9	18.0
Fix beépített műszerek												
28	[tf%]	1.1	0.9	0.9	1	1.2	1.15	1	1	1.2	1	1
29	[ppm]	0	0	9	23	32	55	65	71	33	66	44
30	[tf%]	11.6	11.6	11.8	11.7	11.6	11.6	11.8	11.7	11.6	11.8	11.8
31	[ppm]	75.6	56.7	47.09	40.64	36.3	31.3	28.78	28.4	25.06	22.32	20.12
32	[ppm]	68.4	50.8	42.2	36.6	33.0	28.4	25.9	25.6	22.8	20.1	18.1
33	[kW/h]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
34	[m ³]	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
35	[m ³]	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
36	[l]	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
37	[l]	1.06	1.05	1.05	1.06	1.07	1.06	1.06	1.06	1.07	1.06	1.06
38	[ppm]	75.6	56.7	47.09	40.64	36.3	31.3	28.78	28.4	25.06	22.32	20.12
39	[ppm]	68.4	50.8	42.2	36.6	33.0	28.4	25.9	25.6	22.8	20.1	18.1
40	[mg/m ³]	140.2	104.1	86.4	75.0	67.7	58.2	53.1	52.4	46.7	41.2	37.1
41	[mg]	3827	2842	2360	2047	1847	1588	1450	1430	1275	1124	1013
42	[mg/kW]	156	116	96	84	75	65	59	58	52	46	41
43	[%]	0	25.7	38.3	46.5	51.7	58.5	62.1	62.6	66.7	70.6	73.5
44	[%]	0	25.7	16.9	13.3	9.8	14.0	8.7	1.3	10.9	11.8	9.9

REBURNING / Földgáz újrategetés labor kísérlet

Hőmérték mérési sorozat

Dátum: 1999.06.24

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{kezelés} = 1200-1250

n = 1.1

O₂ ut₀ = 2.1

Fájl kód: reb2624

F_é = 35.69 [MJ/m³]

F_é = 33.94 [MJ/m³]

L_é = 9.5 [m³/m³]

F_é = 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	9:53	10:10	10:23	10:40	10:51	11:04	11:18	11:32	11:42	11:51	12:07
2	[°C]	24	24	23.5	24	24	24	24.1	24.2	24.4	24.2	24.5
3	[%]	50	51	50	48	50	46	47	48	47	48	48
4	[m ³ /h]	2.65	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2	1.9	1.8	1.7	1.6
5	[Pa]	800	710	670	610	585	530	500	410	350	310	280
6	[m ³ /h]	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18
7	[Pa]	1320	1230	1130	1080	1060	1030	1010	990	950	800	780
8	[l]	1.11	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.16	1.16	1.17	1.18	1.18
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	40	60	110	170	280	375	510	720	840	990
11	[m ³ /h]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	[Pa]	0	370	680	1580	2650	3810	5240	7320	8700	9200	9400
13	[l]	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
14	[°C]	1314	1309	1311	1292	1290	1274	1265	1255	1245	1217	1198
15	[°C]	1237	1230	1234	1220	1222	1210	1210	1205	1192	1183	1183
16	[°C]	1192	1188	1192	1183	1193	1187	1185	1181	1173	1165	1167
17	[°C]	1114	1124	1130	1133	1137	1143	1138	1147	1150	1140	1133
18	[°C]	1065	1072	1081	1080	1090	1090	1092	1101	1105	1105	1111
19	[°C]	640	650	650	670	680	690	700	710	720	720	720
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	20	20	20	20	20	25	25	30	35	20	20
23	[tf%]	2.2	1.3	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	1	26	1925	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
25	[tf%]	11.2	11.5	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
26	[ppm]	74	63	55	49	40	36	31	28	27	24	22
27	[ppm]	70.9	57.6	48.8	42.0	34.3	30.9	26.6	24.0	23.1	20.6	18.9
Fix beépített műszerek												
28	[tf%]	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.3	2.2	2.2	2.1	2.2	2.1
29	[ppm]	1	0	11	28	7	10	10	12	6	5	4
30	[tf%]	11.1	11.2	11.2	11.2	11.2	11.1	11.1	11	11.2	11.2	11.2
31	[ppm]	77.4	63.3	51.9	46.1	41.3	36.8	32.5	29.6	27.7	23.3	21.4
32	[ppm]	74.1	60.3	49.4	43.9	39.3	35.4	31.1	28.3	26.4	22.3	20.4
33	[kW/h]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
34	[m ³]	2.65	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
35	[m ³]	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
36	[l]	1.11	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
37	[l]	1.13	1.12	1.12	1.12	1.12	1.14	1.13	1.13	1.12	1.13	1.12
38	[ppm]	77.4	63.3	51.9	46.1	41.3	36.8	32.5	29.6	27.7	23.3	21.4
39	[ppm]	74.1	60.3	49.4	43.9	39.3	35.4	31.1	28.3	26.4	22.3	20.4
40	[mg/m ³]	151.9	123.6	101.3	90.0	80.6	72.6	63.8	58.1	54.1	45.7	41.8
41	[mg]	4227	3374	2766	2457	2201	1982	1741	1586	1476	1248	1141
42	[mg/kW]	169	138	113	100	90	81	71	65	60	51	47
43	[%]	0	18.6	33.3	40.8	46.9	52.2	58.0	61.8	64.4	69.9	72.5
44	[%]	0	18.6	18.0	11.2	10.4	9.9	12.2	8.9	6.9	15.4	8.6

REBURNING / Földgáz újraégetés laborkísérlet

Hőntartó mérési sorozat

Dátum: 1999.07.07

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{bizs} = 1200-1250

$\eta = 1.2$

$O_{2,10\%} = 3.8$

Fájl kód: reb2707

$F_{é,alkalmaz}$: 35.69 [MJ/m³]

$F_{é,mér(MOL)}$: 33.94 [MJ/m³]

L_{abn} : 9.5 [m³/m³]

F_{sgdm} : 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	10:00	10:19	10:31	10:45	11:04	11:14	11:23	11:34	11:45	11:51	x
2	[°C]	31	30.5	31.5	32.9	33.5	33.5	33.3	33.5	34.2	34.5	
3	[%]	56	60	54	54	51	53	51	50	48	50	
4	[m ³ /h]	3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	x
5	[Pa]	840	810	760	720	680	640	600	550	350	310	
6	[m ³ /h]	35	34	33	32	31	30	28	27	26	25	
7	[Pa]	2090	2020	1880	1790	1770	1680	1630	1650	1610	1560	
8	[l]	1.23	1.23	1.24	1.25	1.26	1.26	1.23	1.24	1.24	1.25	
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	x
10	[Pa]	0	110	130	270	400	700	960	510	720	840	
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	8	10	11	
12	[Pa]	0	280	640	1560	2440	3830	5600	7320	8700	9200	
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.20	1.32	1.29	
14	[°C]	1328	1327	1320	1317	1313	1288	1286	1273	1272	1260	x
15	[°C]	1244	1247	1245	1246	1248	1234	1233	1225	1223	1218	
16	[°C]	1190	1199	1202	1217	1239	1227	1233	1210	1211	1214	
17	[°C]	1133	1141	1155	1167	1184	1176	1186	1187	1195	1194	
18	[°C]	1084	1091	1102	1118	1137	1134	1140	1155	1162	1167	
19	[°C]	720	720	730	730	740	740	740	750	750	760	
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	x
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	[Pa]	30	30	25	25	30	25	25	35	35	30	
mert												
23	[tf%]	3.8	2.9	2.5	1.4	1	0.7	0	0	0	0	x
24	[ppm]	1	26	1925	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	
25	[tf%]	11.2	11.5	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	
26	[ppm]	52	55	50	47	43	41	40	38	34	32	
27	[ppm]	54.4	54.7	48.6	43.2	38.7	36.4	34.3	32.6	29.1	27.4	
Fix beépített műszerek												
28	[tf%]	3.9	3.9	3.8	3.8	3.7	3.8	3.7	3.9	3.9	3.8	x
29	[ppm]	0	0	0	0	1	0	0	0	1	12	
30	[tf%]	10	10.1	10.1	10.3	10.3	10.2	10.2	10	10	10	
31	[ppm]	68.7	62.6	58.2	52.3	45.1	39.3	36.4	32.1	30.4	28.9	
32	[ppm]	72.3	65.9	60.9	54.7	46.9	41.1	37.9	33.8	32.0	30.2	
33	[kW/h]	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	x
34	[m ³]	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
35	[m ³]	35	35.5	36	36	36	36	35	35	36	36	
36	[l]	1.23	1.25	1.26	1.26	1.26	1.26	1.23	1.23	1.26	1.26	
37	[l]	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.25	1.25	1.24	
38	[ppm]	68.7	62.6	58.2	52.3	45.1	39.3	36.4	32.1	30.4	28.9	
39	[ppm]	72.3	65.9	60.9	54.7	46.9	41.1	37.9	33.8	32.0	30.2	
40	[mg/m ³]	148.2	135.1	124.9	112.2	96.2	84.3	77.6	69.3	65.6	62.0	
41	[mg]	4670	4255	3933	3534	3030	2656	2446	2182	2066	1953	
42	[mg/kW]	165	150	139	125	107	94	86	77	73	69	
43	[%]	0	8.9	15.8	24.3	35.1	43.1	47.6	53.3	55.7	58.2	
44	[%]	0	8.9	7.6	10.1	14.3	12.4	7.9	10.8	5.3	5.5	

REBURNING / Földgáz újrategés labor kísérleti

Hőmérték mérési sorozat

Dátum: 1999.07.08

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{bevez} = 1200-1250

n = 1.3

O_{2,bevez} = 5.2

Fájl kód: reb2708

I_{é,bevez}: 35.69 [MJ/m³]

I_{é,bevez(MOL)}: 33.94 [MJ/m³]

L_{bevez}: 9.5 [m³/m³]

F_{sg,bevez}: 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	9:26	9:40	10:10	10:28	10:38	10:49	11:01	11:12	0:00	11:30	11:42
2	[°C]	28.5	28.5	29.5	29.1	28.9	28.4	29.3	29	28.9	28.3	29.1
3	[%]	62	60	57	57	57	57	58	59	59	57	60

4	[m ³ /h]	3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2
5	[Pa]	1030	1000	860	820	810	720	650	570	520	470	410
6	[m ³ /h]	39	37	35	34	33	32	31	30	28	27	25
7	[Pa]	2960	2910	2440	2500	2450	2370	2250	2050	1950	1900	1840
8	[l]	1.37	1.34	1.32	1.33	1.34	1.35	1.36	1.37	1.34	1.35	1.32

9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	70	500	580	470	480	480	540	640	720	780
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4.5	6	7	9	11	12	13	14
12	[Pa]	0	300	650	1250	2400	3610	5000	6400	8010	8900	9100
13	[l]	-	1.58	1.58	1.58	1.58	1.47	1.58	1.65	1.58	1.52	1.47

14	[°C]	1324	1326	1320	1315	1311	1293	1288	1278	1269	1248	1242
15	[°C]	1247	1248	1246	1241	1242	1240	1241	1237	1237	1234	1228
16	[°C]	1197	1203	1202	1212	1221	1228	1230	1220	1226	1230	1228
17	[°C]	1139	1154	1152	1165	1180	1181	1182	1183	1184	1186	1180
18	[°C]	1092	1106	1107	1120	1130	1132	1138	1140	1146	1150	1148
19	[°C]	730	730	730	740	740	740	750	760	760	770	770

20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	70	60	30	40	40	40	40	30	30	30	30

23	[t%]	5	4.4	3.6	3.3	2.7	1.4	0.1	0	0	0	0
24	[ppm]	3	0	17	2	1	17	4000	4000	4000	4000	4000
25	[t%]	9.1	9.4	9.9	9.7	10	10	11.2	11.4	11.8	11.8	11.8
26	[ppm]	58	52	51	47	45	42	38	31	30	28	25
27	[ppm]	65.3	56.4	52.8	47.8	44.3	38.6	32.7	26.6	25.7	24.0	21.4

Fix beépített műszerek

28	[t%]	5.3	5.2	5.1	5.05	5.05	5.2	5.2	5.2	5.15	5.1	5.2
29	[ppm]	1	0	11	4	5	0	0	0	0	0	0
30	[t%]	9.1	9.1	9.3	9.4	9.5	9.4	9.3	9.3	9.4	9.4	9.3
31	[ppm]	57.7	55	51.7	46.9	43.8	39.3	36.9	34.9	32.9	30.5	27.9
32	[ppm]	66.2	62.7	58.5	52.9	49.4	44.8	42.0	39.8	37.4	34.5	31.8

33	[kW/h]	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
34	[m ³]	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
35	[m ³]	39	38.5	38	38.5	39	39	40	41	40	40	39
36	[l]	1.37	1.35	1.33	1.35	1.37	1.37	1.40	1.44	1.40	1.40	1.37
37	[l]	1.37	1.36	1.35	1.35	1.35	1.36	1.36	1.36	1.36	1.35	1.36
38	[ppm]	57.7	55	51.7	46.9	43.8	39.3	36.9	34.9	32.9	30.5	27.9
39	[ppm]	66.2	62.7	58.5	52.9	49.4	44.8	42.0	39.8	37.4	34.5	31.8
40	[mg/m ³]	135.6	128.4	120.0	108.5	101.3	91.8	86.2	81.5	76.6	70.8	65.2
41	[mg]	4272	4046	3779	3418	3192	2891	2715	2567	2413	2230	2053
42	[mg/kW]	151	143	134	121	113	102	96	91	85	79	73
43	[%]	0	5.3	11.5	20.0	25.3	32.3	36.5	39.9	43.5	47.8	52.0
44	[%]	0	5.3	6.6	9.6	6.6	9.4	6.1	5.4	6.0	7.6	7.9

REBURNING / Földgáz újraégetés laborleírietel

T_{beéget} = 1200-1250

F_{beéget} = 35.69 [MJ/m³]

Hőntartó mérési sorozat

n = 1.4

F_{beéget(MOL)} = 33.94 [MJ/m³]

Dátum: 1999.09.24

O_{2,beéget} = 6.4

L_{beéget} = 9.5 [m³/m³]

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

Fájl kód: reb2924

F_{beéget} = 10.5 [m³/m³]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[h,min]	10:29	10:53	10:58	11:08	11:13	11:18	11:24	11:34	11:41	11:48	11:56
[°C]	24.5	24.8	25.4	25	25.7	26.2	26.8	27	28	28	28.5
[%]	68	68	68	75	62	56	58	52	51	52	51

[m ³ /h]	3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
[Pa]	910	820	760	710	660	630	580	550	500	450	420
[m ³ /h]	41	38.5	37	36	35	34	33	32	31	30	28
[Pa]											
[l]	1.39	1.35	1.34	1.35	1.36	1.38	1.39	1.40	1.42	1.44	1.40

[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
[Pa]	0	70	90	130	220	300	390	500	720	840	990
[m ³ /h]	0	1.5	3	5	6	7	8	9	11	12	14
[Pa]	0	400	800	1120	1800	3150	3620	5500	7300	9200	9500
[l]	-	1.58	1.58	1.75	1.58	1.47	1.40	1.35	1.45	1.40	1.47

[°C]	1316	1319	1311	1309	1304	1297	1285	1277	1263	1256	1245
[°C]	1238	1237	1232	1228	1222	1226	1221	1219	1217	1215	1208
[°C]	1187	1151	1141	1135	1145	1149	1160	1161	1160	1158	1152
[°C]	1115	1131	1141	1159	1168	1178	1182	1176	1170	1164	1163
[°C]	1064	1074	1073	1073	1086	1102	1116	1118	1119	1121	1127
[°C]	760	760	740	750	750	760	770	780	780	780	790

[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[Pa]	70	30	30	30	30	30	30	40	40	40	30

[tf%]	6.4	5.7	4.7	3.9	3.4	2.1	1.2	0	0	0	0
[ppm]	0	0	0	0	17	571	2000	4000	4000	4000	4000
[tf%]	9.2	9.5	9.2	9.4	10.3	11	10.8	11.6	11.8	11.8	11.8
[ppm]	53	52	50	47	44	40	37	35	31	27	27
[ppm]	65.3	61.2	55.2	49.5	45.0	38.1	33.6	30.0	26.6	23.1	23.1

Fix beépített műszerek

[tf%]	6.4	6.3	6.4	6.4	6.4	6.3	6.2	6.2	6.4	6.4	6.3
[ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[tf%]	8.6	8.4	8.3	8.3	8.6	8.6	9	8.6	8.4	8.3	8.6
[ppm]	52.3	53.1	50.3	49.18	45.4	42.9	39.1	37.15	34.7	32.8	31.7
[ppm]	64.5	65.0	62.0	60.6	56.0	52.5	47.6	45.2	42.8	40.4	38.8

[kW/h]	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
[m ³]	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
[m ³]	41	40	40	41	41	41	41	41	42	42	42
[l]	1.39	1.36	1.36	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.43	1.43	1.43
[l]	1.43	1.42	1.43	1.43	1.43	1.42	1.41	1.41	1.43	1.43	1.42
[ppm]	52.3	53.1	50.3	49.18	45.4	42.9	39.1	37.15	34.7	32.8	31.7
[ppm]	64.5	65.0	62.0	60.6	56.0	52.5	47.6	45.2	42.8	40.4	38.8
[mg/m ³]	132.2	133.3	127.1	124.3	114.7	107.7	97.5	92.6	87.7	82.9	79.6
[mg]	4303	4339	4138	4046	3735	3505	3173	3015	2855	2698	2590
[mg/kW]	147	148	142	138	128	120	109	103	98	92	89
[%]	0	-0.8	3.8	6.0	13.2	18.5	26.2	29.9	33.7	37.3	39.8
[%]	0	-0.8	4.6	2.2	7.7	6.1	9.5	5.0	5.3	5.5	4.0

REBURNING / Földgáz újrátégés laboridérietel

Hőntartó mérés sorozat

Dátum: 1999.06.29

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{üzés}: 1250-1300

n= 1.05

O₂ α_{O_2} 1.1

Fájl kód: reb2629

F_{üzés}: 35.69 [MJ/m³]

F_{üzés(O₂)}: 33.94 [MJ/m³]

L_{üzés}: 9.5 [m³/m³]

F_{üzés}: 10.5 [m³/m³]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	[h:min]	9:56	10:07	10:27	10:40	10:48	10:59	11:10	11:24	11:33	11:44	11:57
2	[°C]	27.5	27.4	28.5	28.5	28.8	28.8	28.5	27.5	28	28.2	28.4
3	[%]	52	51	48	48	48	50	48	50	50	50	51

4	[m ³ /h]	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2	1.9	1.8
5	[Pa]	780	740	680	640	570	550	500	450	390	350	310
6	[m ³ /h]	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18
7	[Pa]	1420	1380	1250	1210	1120	1100	1010	940	900	840	800
8	[l]	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	40	80	110	230	310	410	550	780	880	1110
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	8	9	13	13.5
12	[Pa]	0	350	820	1670	2630	3970	5600	6800	8500	9300	9900
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.20	1.18	1.52	1.42

14	[°C]	1346	1342	1333	1329	1316	1300	1292	1286	1281	1279	1271
15	[°C]	1279	1272	1268	1265	1262	1258	1251	1252	1253	1249	1245
16	[°C]	1219	1227	1219	1212	1201	1194	1191	1172	1185	1184	1182
17	[°C]	1139	1156	1148	1142	1143	1134	1132	1118	1138	1126	1124
18	[°C]	1090	1102	1099	1105	1109	1118	1118	1109	1115	1117	1119
19	[°C]	660	700	720	730	730	750	740	750	740	750	750

20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	30	40	20	20	25	25	25	20	25	25	25

23	[tf%]	2.2	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	1	19	162	2000	2000	2000	2000	4000	4000	4000	4000
25	[tf%]	10.6	11	11.7	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
26	[ppm]	73	61	53	42	37	34	30	28	26	24	23
27	[ppm]	69.9	56.6	45.4	36.0	31.7	29.1	25.7	24.0	22.3	20.6	19.7

Fix beépített műszerek

28	[tf%]	1.1	0.9	0.9	1	1.2	1.15	1	1	1.2	1	1
29	[ppm]	0	0	9	23	32	55	65	71	33	66	44
30	[tf%]	11.6	11.6	11.8	11.7	11.6	11.6	11.8	11.7	11.6	11.8	11.8
31	[ppm]	78.8	61.9	52.8	43.1	39.8	35.2	32.6	29.3	26.6	24.3	22.5
32	[ppm]	71.3	55.4	47.3	38.8	36.2	31.9	29.3	26.4	24.2	21.9	20.3

33	[kW/h]	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
34	[m ³]	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
35	[m ³]	28	28.5	29	29	29	29	29	29	29	32	31.5
36	[l]	1.05	1.07	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.20	1.18
37	[l]	1.06	1.05	1.05	1.06	1.07	1.06	1.06	1.06	1.07	1.06	1.06
38	[ppm]	78.8	61.9	52.8	43.1	39.8	35.2	32.6	29.3	26.6	24.3	22.5
39	[ppm]	71.3	55.4	47.3	38.8	36.2	31.9	29.3	26.4	24.2	21.9	20.3
40	[mg/m ³]	146.1	113.6	96.9	79.5	74.2	65.4	60.1	54.1	49.6	44.8	41.5
41	[mg]	4296	3341	2850	2338	2181	1924	1768	1589	1457	1318	1220
42	[mg/kW]	163	127	108	89	83	73	67	60	55	50	46
43	[%]	0	22.2	33.7	45.6	49.2	55.2	58.8	63.0	66.1	69.3	71.6
44	[%]	0	22.2	14.7	18.0	6.7	11.8	8.1	10.1	8.3	9.6	7.4

REBURNING / Földgáz újraelgetés laborleírlet

Hőmérték mérési sorozat

Dátum: 1999.06.30

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigiz, MOL)

T_{aktív} 1250-1300

n= 1.1

O₂ t_{aktív} 2.1

Fájl kód: reb2630

Fé_{szén}: 35.69 [MJ/m³]

Fé_{hidrogén}: 33.94 [MJ/m³]

L_{aktív}: 9.5 [m³/m³]

Fé_{gáz}: 10.5 [m³/m³]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	[h,min]	9:52	10:14	10:30	10:48	11:05	11:18	11:31	11:52	12:01	12:16	12:28
2	[°C]	27.5	28.1	29.1	29.3	29.5	31	31.4	34.2	32.1	31.6	31.5
3	[%]	55	53	54	50	49	46	44	45	42	43	43

4	[m ³ /h]	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2	1.9	1.8
5	[Pa]	770	710	650	610	570	500	460	420	350	300	250
6	[m ³ /h]	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20
7	[Pa]	1550	1500	1350	1300	1290	1140	1080	1010	880	850	770
8	[l]	1.13	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.16	1.16	1.17

9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	60	80	100	230	270	360	440	750	910	1100
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	[Pa]	0	130	850	1530	2560	3800	5200	6400	8300	9200	9500
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.20	1.18	1.17	1.16

14	[°C]	1324	1326	1319	1313	1302	1297	1293	1291	1286	1289	1281
15	[°C]	1261	1259	1255	1257	1252	1251	1252	1249	1250	1248	1245
16	[°C]	1205	1211	1212	1217	1210	1204	1195	1196	1191	1197	1197
17	[°C]	1131	1144	1150	1151	1152	1147	1143	1136	1135	1134	1131
18	[°C]	1079	1092	1101	1103	1102	1106	1099	1098	1100	1103	1110
19	[°C]	630	700	700	710	720	720	720	730	740	730	720

20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	35	35	15	15	20	10	10	10	10	15	15

23	[t%]	1.5	0.9	0.8	0.7	0.6	0.1	0	0	0	0	0
24	[ppm]	1	70	106	2000	2000	2000	4000	4000	4000	4000	4000
25	[t%]	11.1	11.4	11.4	11.5	11.6	11.8	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
26	[ppm]	76	70	66	62	56	48	44	39	32	25	23
27	[ppm]	70.2	62.7	58.8	55.0	49.4	41.3	37.7	33.4	27.4	21.4	19.7

Fix beépített műszerek

28	[t%]	2.1	2	1.95	2.05	1.9	2	1.95	1.9	2.1	2.15	1.9
29	[ppm]	2	3	7	44	35	12	17	16	4	3	3
30	[t%]	11.1	11.2	11.3	11.2	11.2	11.1	11.2	11.3	11.3	11.3	11.2
31	[ppm]	84.3	68.9	51.5	45.63	39.35	33.64	29.38	25.28	22.09	19.75	17.66
32	[ppm]	80.3	65.3	48.7	43.3	37.1	31.9	27.8	23.8	21.0	18.9	16.6

33	[kW/h]	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
34	[m ³]	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
35	[m ³]	30	30.5	31	31	31	31	31	31	31	31	31
36	[l]	1.13	1.15	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
37	[l]	1.12	1.12	1.11	1.12	1.11	1.12	1.11	1.11	1.12	1.13	1.11
38	[ppm]	84.3	68.9	51.5	45.63	39.35	33.64	29.38	25.28	22.09	19.75	17.66
39	[ppm]	80.3	65.3	48.7	43.3	37.1	31.9	27.8	23.8	21.0	18.9	16.6
40	[mg/m ³]	164.6	133.8	99.8	88.9	76.0	65.3	56.9	48.8	43.1	38.7	34.1
41	[mg]	4839	3934	2933	2612	2235	1921	1673	1436	1268	1137	1003
42	[mg/kW]	183	149	111	99	85	73	63	54	48	43	38
43	[%]	0	18.7	39.4	46.0	53.8	60.3	65.4	70.3	73.8	76.5	79.3
44	[%]	0	18.7	25.5	10.9	14.4	14.1	12.9	14.2	11.7	10.4	11.8

REBURNING / Földgáz újraégetés laborkísérletel

Hőntartó mérési sorozat

Dátum: 1999.07.09

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{basis} 1250-1300

n= 1.2

O₂ t_{0%} 3.8

Fájl kód: reb2709

Fé_{szaktan}: 35.69 [MJ/m³]

Fé_{szaktanMOL}: 33.94 [MJ/m³]

L_{elem}: 9.5 [m³/m³]

Fé_{szaktan}: 10.5 [m³/m³]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	[h,min]	9:52	10:20	10:37	10:45	10:58	11:08	11:21	11:31	11:40	11:53	12:03
2	[°C]	30	30.4	30.5	30.6	31.2	31.6	31.5	30.8	31.6	30.8	29.7
3	[%]	52	50	52	51	48	49	48	50	48	51	54
4	[m ³ /h]	3.2	3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2
5	[Pa]	950	880	800	770	710	660	630	590	540	500	450
6	[m ³ /h]	36	35	34	33	32	31	30	29	28	26	25
7	[Pa]	2370	2170	2010	2010	1990	1910	1870	1820	1770	1770	1750
8	[l]	1.18	1.19	1.19	1.20	1.20	1.21	1.21	1.22	1.23	1.19	1.20
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	100	110	120	150	260	310	360	510	680	820
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	8	10	11	13
12	[Pa]	0	250	890	1380	2270	3400	4850	6100	7800	8700	9100
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.20	1.32	1.29	1.37
14	[°C]	1335	1339	1328	1322	1310	1300	1293	1293	1281	1280	1275
15	[°C]	1256	1257	1255	1256	1253	1246	1245	1248	1246	1249	1251
16	[°C]	1197	1197	1206	1216	1224	1226	1245	1244	1244	1244	1233
17	[°C]	1143	1154	1165	1180	1192	1189	1194	1183	1208	1210	1210
18	[°C]	1092	1100	1107	1121	1130	1135	1144	1156	1166	1171	1177
19	[°C]	680	690	700	710	720	720	720	730	740	750	760
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	75	55	25	25	30	25	30	30	30	35	35
23	[tP%]	3.7	3.1	2.4	1.6	0.7	0.4	0	0	0	0	0
24	[ppm]	0	1	12	29	135	2000	2000	4000	4000	4000	4000
25	[tP%]	9.8	10.1	10.5	11	11.4	11.7	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
26	[ppm]	68	67	64	61	57	48	44	39	35	31	32
27	[ppm]	70.8	67.4	61.9	56.6	50.5	41.9	37.7	33.4	30.0	26.6	27.4
Fix beépített műszerek												
28	[tP%]	3.8	3.85	3.9	3.9	3.9	3.8	3.9	3.7	3.7	3.9	3.8
29	[ppm]	3	0	17	1	0	1	0	0	0	0	0
30	[tP%]	9.7	10	10	10	10	10	10	10.1	10	9.8	10
31	[ppm]	71.85	68.3	62.2	55.9	47.8	42.7	39.4	37.7	34.8	32	29.7
32	[ppm]	75.2	71.7	65.5	58.8	50.3	44.7	41.5	39.2	36.2	33.7	31.1
33	[kW/h]	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
34	[m ³]	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
35	[m ³]	36	36.5	37	37	37	37	37	37	37	38	38
36	[l]	1.18	1.20	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.25	1.22	1.25
37	[l]	1.24	1.25	1.25	1.25	1.25	1.24	1.25	1.24	1.24	1.25	1.24
38	[ppm]	71.85	68.3	62.2	55.9	47.8	42.7	39.4	37.7	34.8	32	29.7
39	[ppm]	75.2	71.7	65.5	58.8	50.3	44.7	41.5	39.2	36.2	33.7	31.1
40	[mg/m ³]	154.1	147.0	134.2	120.6	103.1	91.6	85.0	80.4	74.2	69.1	63.7
41	[mg]	5179	4938	4510	4053	3466	3078	2857	2702	2494	2320	2141
42	[mg/kW]	172	164	149	134	115	102	95	90	83	77	71
43	[%]	0	4.7	12.9	21.7	33.1	40.6	44.8	47.8	51.8	55.2	58.7
44	[%]	0	4.7	8.7	10.1	14.5	11.2	7.2	5.4	7.7	7.0	7.7

REBURNING / Földgáz újrászetés laborkísérletel

Hőntartó mérél sorozat

Dátum: 1999.07.12

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{üzlet}: 1250-1300

n= 1.3

O_{2,uzlet}: 5.2

Fájl kód: reb2712

F_{születés}: 35.69 [MJ/m³]

F_{születésMOL}: 33.94 [MJ/m³]

L_{születés}: 9.5 [m³/m³]

F_{születés}: 10.5 [m³/m³]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	[h,min]	9:48	10:14	10:22	10:44	10:54	11:18	11:28	11:42	11:53	12:12	12:23
2	[°C]	28.6	28.3	28.3	28	28.2	28.2	27.2	28.4	28.5	27.8	28.6
3	[%]	60	62	58	61	62	66	63	62	65	63	62

4	[m ³ /h]	3.4	3.3	3.2	3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4
5	[Pa]	1040	980	930	890	830	790	750	640	520	470	410
6	[m ³ /h]	42	40	39	38	37	36	35	34	32	31	30
7	[Pa]	2980	2910	2740	2680	2660	2590	2570	2540	2500	2380	2370
8	[l]	1.30	1.28	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32	1.33	1.30	1.31	1.32

9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	540	610	620	620	630	640	640	650	660	670
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	9	11	12	13
12	[Pa]	0	170	680	1340	2600	3550	4500	5800	6800	8610	9300
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.35	1.45	1.40	1.37

14	[°C]	1333	1325	1312	1318	1310	1301	1292	1285	1279	1271	1273
15	[°C]	1259	1255	1249	1256	1256	1257	1256	1251	1246	1244	1240
16	[°C]	1199	1204	1202	1213	1221	1230	1233	1238	1239	1238	1236
17	[°C]	1149	1159	1163	1186	1198	1208	1215	1213	1217	1213	1216
18	[°C]	1101	1109	1109	1126	1141	1150	1155	1167	1174	1177	1182
19	[°C]	640	640	650	650	650	660	660	670	680	680	680

20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	60	60	50	50	50	50	50	50	50	50	50

23	[tP%]	4.5	4.3	3.8	3	2.2	2.1	1.5	0.5	0	0	0
24	[ppm]	1	0	0	56	40	50	54	60	527	4000	4000
25	[tP%]	9.4	9.5	9.7	10.2	10.7	10.7	10.7	10.3	10.9	11.1	11.5
26	[ppm]	56	54	51	47	46	42	39	35	33	31	28
27	[ppm]	61.1	58.2	53.4	47.0	44.0	40.0	36.0	30.7	28.3	26.6	24.0

Fix beépített műszerek

28	[tP%]	5.2	5.3	5.2	5.15	5.25	5.2	5.2	5.2	5.1	5.2	5.2
29	[ppm]	0	0	0	3	4	0	14	3	0	1	0
30	[tP%]	9.4	9.2	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.5	9.5	9.3	9.4
31	[ppm]	59.95	53.9	49.4	46.8	42	39.4	38.7	37.3	36.2	34.3	33.7
32	[ppm]	68.3	61.8	56.3	53.1	48.0	44.9	44.1	42.5	41.0	39.1	38.4

33	[kW/h]	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
34	[m ³]	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
35	[m ³]	42	41.5	42	42	42	42	42	43	43	43	43
36	[l]	1.30	1.28	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.33	1.33	1.33	1.33
37	[l]	1.36	1.37	1.36	1.36	1.37	1.36	1.36	1.36	1.35	1.36	1.36
38	[ppm]	59.95	53.9	49.4	46.8	42	39.4	38.7	37.3	36.2	34.3	33.7
39	[ppm]	68.3	61.8	56.3	53.1	48.0	44.9	44.1	42.5	41.0	39.1	38.4
40	[mg/m ³]	140.0	126.7	115.4	109.0	98.4	92.0	90.4	87.1	84.0	80.1	78.7
41	[mg]	4998	4523	4119	3890	3513	3285	3227	3110	2999	2860	2810
42	[mg/kW]	156	141	128	121	110	102	101	97	94	89	88
43	[%]	0	9.5	17.6	22.2	29.7	34.3	35.4	37.8	40.0	42.8	43.8
44	[%]	0	9.5	8.9	5.6	9.7	6.5	1.8	3.6	3.6	4.6	1.7

REBURNING / Földgáz újraégetés laborkísérlettel
Primer zóna állandó (növelt hőbevitt) kísérleti sorozata

Dátum: 1999. június - július

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

(tP%) CH₄ 90.4, C₂H₆ 2.2, C₃H₈ 0.94, C₄H₁₀ 0.65, C₅H₁₂ 0.26,
 C₆H₁₄ 0.01, N₂ 2.67, CO₂ 2.87

Kísérleti beállítások, mért és regisztrált jellemzők:

Mérési pontok:

1	Leolvasások ideje:	[h, min]
2	Égési lev. hőm. (környezeti hőm.):	[°C]
3	Levegő relatív nedvesség tartalma:	[%]

Bejuttatott mennyiségek:

4	V _{gáz 1} primer gáz	[m ³ /h]
5	P _{gáz 1}	[Pa]
6	V _{lev 1} primer levegő	[m ³ /h]
7	P _{lev 1}	[Pa]
8	n _{primer zóna számított}	[l]

9	V _{gáz 2} szekunder gáz	[m ³ /h]
10	P _{gáz 2}	[Pa]
11	V _{lev 2} szekunder levegő	[m ³ /h]
12	P _{lev 2}	[Pa]
13	n _{szekunder zóna számított}	[l]

Kemencétérben mért hőm. adatok:

14	T ₁ hőelem	[°C]
15	T ₂ hőelem / bázis hőmér.	[°C]
16	T ₃ hőelem	[°C]
17	T ₄ hőelem	[°C]
18	T ₅ hőelem	[°C]
19	T ₆ hőelem / újradegáz zóna után	[°C]

20	Szekunder gázszoonda pozíciója:	[l]
21	Kemencétér hűtőszonda pozíciója:	[cm]
22	P _{kemencétérnyomás}	[Pa]

Fsg. elemzés szondával kem. térben: (reburning zóna)

23	O ₂	[tP%]
24	CO	[ppm]
25	CO ₂	[tP%]
26	NO _x mért	[ppm]
27	NO _x (3 tP% O ₂)	[ppm]

Fsg. elemzés távozó fsg.-ban: (fsg. csatornában)

28	O ₂	[tP%]
29	CO	[ppm]
30	CO ₂	[tP%]
31	NO _x mért	[ppm]
32	NO _x (3 tP% O ₂)	[ppm]

Kiértékeléshez használt főbb jellemzők:

33	Teljes bevitt hőteljesítmény:	[kW/h]
34	Teljes bevitt gáz mennyiség:	[m ³]
35	Teljes bevitt égési levegő mennyiség:	[m ³]
36	Levegő tényező számítással:	[l]
37	Levegő tényező fsg. elemzéssel:	[l]
38	NO _x mért	[ppm]
39	NO _x (3 tP% O ₂)	[ppm]
40	NO _x (3 tP% O ₂)	[mg/m ³]
41	NO _x emisszió (teljes mennyiség)	[mg]
42	NO _x kibocsátás/ bevitt hőteljesítmény.	[mg/kW]
43	NO _x csök. %-osan bármely értékhez képest	[%]
44	NO _x csök. előző értékhez képest (boc)	[%]

REBURNING / Földgáz újraégetés laborkísérlet

Primer zóna állandó (növelt hőbevitel) kísérleti sorozata

Dátum: 1999.06.16

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{bevitel} = 1150-1200

n = 1.05

O_{2,10%} = 1.1

Fájl kód: reb2616

F_{szintor}: 35.69 [MJ/m³]

F_{előtér(MOL)}: 33.94 [MJ/m³]

I_{előtér}: 9.5 [m³/m³]

F_{sg,alm}: 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	9:03	9:34	9:45	9:54	10:06	10:16	10:29	10:40	10:49	10:58	11:11
2	[°C]	26.8	27	27	26.2	26.8	26.7	27	27	27	26.8	27.5
3	[%]	59	59	59	62	60	61	58	62	61	62	58

4	[m ³ /h]	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
5	[Pa]	770	770	770	770	770	760	770	770	770	770	770
6	[m ³ /h]	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
7	[Pa]	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
8	[l]	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	20	60	120	240	380	550	750	950	1270	1550
11	[m ³ /h]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	[Pa]	0	480	1220	2000	2780	3570	4500	5400	6200	7100	8800
13	[l]	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

14	[°C]	1273	1259	1268	1263	1270	1260	1254	1251	1252	1253	1264
15	[°C]	1175	1166	1171	1174	1182	1174	1170	1168	1160	1159	1170
16	[°C]	1110	1096	1108	1109	1114	1089	1072	1077	1076	1083	1075
17	[°C]	980	953	961	962	978	948	936	936	932	951	985
18	[°C]	892	869	882	873	884	856	844	849	850	869	907
19	[°C]	620	610	620	620	600	580	600	580	560	580	600

20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	20	20	20	20	20	25	25	25	25	22	22
22	[Pa]	20	20	30	30	30	25	25	25	20	20	25

23	[t%]	1.1	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	0	0	887	1509	2000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
25	[t%]	11.6	11.7	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
26	[ppm]	65	55	43	31	27	20	18	19	17	17	16
27	[ppm]	58.8	48.1	36.9	26.6	23.1	23.1	17.1	15.4	16.3	14.6	13.7

Fix beépített műszerek

28	[t%]	1.2	1.1	1.15	1.1	1.15	1.1	1.1	1.15	1.2	1.1	1.2
29	[ppm]	0	11	22	31	41	49	57	87	2000	4000	4000
30	[t%]	11.6	11.6	11.7	11.6	11.6	11.8	11.8	11.7	11.7	11.7	11.6
31	[ppm]	72.8	62.7	50.7	40.7	33.5	31.5	28.7	25.8	24.1	22.4	18.7
32	[ppm]	66.2	56.7	46.0	36.8	30.4	28.5	26.0	23.4	21.9	20.3	17.0

33	[kW/h]	21	22	23	24	25	25	26	27	28	29	30
34	[m ³]	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2
35	[m ³]	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
36	[l]	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
37	[l]	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.06	1.07
38	[ppm]	72.8	62.7	50.7	40.7	33.5	31.5	28.7	25.8	24.1	22.4	18.7
39	[ppm]	66.2	56.7	46.0	36.8	30.4	28.5	26.0	23.4	21.9	20.3	17.0
40	[mg/m ³]	135.7	116.3	94.2	75.5	62.3	58.4	53.2	48.0	44.9	41.5	34.9
41	[mg]	3134	2808	2375	1981	1700	1656	1565	1460	1415	1352	1171
42	[mg/kW]	151	129	105	84	69	65	59	53	50	46	39
43	[%]	0	14.3	30.5	44.4	54.1	56.9	60.8	64.6	66.9	69.4	74.3
44	[%]	0	14.3	18.9	19.9	17.5	6.2	8.9	9.9	6.4	7.5	16.1

REBURNING / Földgáz újraégetés laborkísérletel
 Primer zóna állandó (növelt hőbevitel) kísérleti sorozata
 Dátum: 1999.06.17
 Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{base} = 1150-1200
 n = 1.1
 O_{2,ref} = 2.1
 Fájlkód: reb2617

F_{égetés}: 35.69 [MJ/m³]
 F_{égetés(MOL)}: 33.94 [MJ/m³]
 I_{ref}: 9.5 [m³/m³]
 F_{SG_{base}}: 10.5 [m³/m³]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 [h,min]	10:08	10:23	10:33	10:44	10:59	11:08	11:17	11:31	11:40	11:49	11:59
2 [°C]	28.4	29	28	28.5	28.5	29	27	28	28.2	28	28
3 [%]	60	58	57	54	52	53	56	54	56	56	55

4 [m ³ /h]	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
5 [Pa]	770	770	780	78	770	770	770	770	770	770	770
6 [m ³ /h]	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
7 [Pa]	1300	1310	1310	1320	1300	1300	1300	1310	1310	1310	1300
8 [l]	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10

9 [m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10 [Pa]	0	50	70	100	220	280	430	590	720	880	1070
11 [m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12 [Pa]	0	330	1050	1700	2910	4120	5100	5900	6700	7780	8800
13 [l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.20	1.18	1.17	1.16

14 [°C]	1255	1267	1271	1269	1269	1262	1273	1273	1263	1269	1265
15 [°C]	1169	1176	1177	1184	1181	1180	1183	1186	1180	1182	1179
16 [°C]	1105	1116	1118	1122	1119	1120	1120	1123	1109	1109	1108
17 [°C]	975	991	1003	1012	985	966	964	968	941	942	944
18 [°C]	891	908	920	928	886	883	875	877	858	848	847
19 [°C]	590	580	610	660	620	600	600	600	590	590	590

20 [l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21 [cm]	20	20	20	25	25	25	25	25	30	30	30
22 [Pa]	20	20	30	35	20	20	25	25	20	25	30

23 [tf%]	2.1	1.3	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
24 [ppm]	0	1	84	1538	2000	2000	2000	4000	4000	4000	4000
25 [tf%]	11.1	11.2	11.7	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
26 [ppm]	67	61	52	43	32	27	21	19	18	17	17
27 [ppm]	63.8	55.7	45.4	36.9	27.4	23.1	18.0	16.3	15.4	14.6	14.6

Fix beépített műszerek

28 [tf%]	2.2	2.1	2.2	2.3	2.2	2.1	2.15	2.1	2	2.1	2.15
29 [ppm]	0	0	3	9	17	25	37	48	61	78	108
30 [tf%]	11.1	11.2	11.1	10.8	11.1	10.4	10.6	10.4	10.5	10.6	11.2
31 [ppm]	73.2	63.3	51.3	40.9	30.6	26.7	21.3	22.8	21.4	20.3	19.1
32 [ppm]	70.1	60.3	49.1	39.4	29.3	25.4	20.3	21.7	20.3	19.3	18.2

33 [kW/h]	22	23	24	25	25	26	27	28	29	30	31
34 [m ³]	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3
35 [m ³]	24	25.5	27	28	29	30	31	32	33	34	35
36 [l]	1.10	1.12	1.14	1.13	1.13	1.13	1.13	1.12	1.12	1.12	1.12
37 [l]	1.13	1.12	1.13	1.14	1.13	1.12	1.13	1.12	1.12	1.12	1.13
38 [ppm]	73.2	63.3	51.3	40.9	30.6	26.7	21.3	22.8	21.4	20.3	19.1
39 [ppm]	70.1	60.3	49.1	39.4	29.3	25.4	20.3	21.7	20.3	19.3	18.2
40 [mg/m ³]	143.7	123.6	100.7	80.7	60.1	52.1	41.7	44.5	41.6	39.6	37.4
41 [mg]	3470	3114	2643	2203	1703	1533	1270	1402	1353	1332	1296
42 [mg/kW]	160	138	112	90	67	58	46	50	46	44	42
43 [%]	0	14.0	29.9	43.8	58.2	63.7	71.0	69.0	71.1	72.4	74.0
44 [%]	0	14.0	18.5	19.8	25.6	13.2	20.0	-6.8	6.6	4.6	5.7

REBURNING / Földgáz újraégetés labor kísérletei
 Primer zóna állandó (növelt hőbevitel) kísérleti sorozata
 Dátum: 1999.06.18
 Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

$T_{\text{tűz}} = 1150-1200$
 $n = 1.2$
 $O_{2\text{tűz}} = 3.8$
 Fájlkód: reb2618

$F_{\text{égetés}} = 35.69$ [MJ/m³]
 $F_{\text{égetés(MOL)}} = 33.94$ [MJ/m³]
 $I_{\text{szm}} = 9.5$ [m³/m³]
 $F_{\text{égési}} = 10.5$ [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	10:54	11:10	11:20	11:33	11:40	11:47	11:58	12:12	12:20	12:27	12:37
2	[°C]	27	27	27	27.5	26.8	27	27.3	27.6	27.5	27.8	28.1
3	[%]	59	58	58	59	59	59	57	55	58	57	55
4	[m ³ /h]	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
5	[Pa]	770	770	770	770	770	780	780	770	770	770	770
6	[m ³ /h]	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
7	[Pa]	1510	1520	1520	1520	1520	1530	1520	1510	1510	1510	1510
8	[l]	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	60	80	150	250	370	520	650	780	880	1270
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	9	10	11	12
12	[Pa]	0	250	900	1330	2530	3680	5030	6200	7800	8500	8720
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.35	1.32	1.29	1.26
14	[°C]	1267	1261	1263	1258	1268	1266	1264	1258	1264	1250	1258
15	[°C]	1182	1176	1180	1174	1178	1185	1185	1175	1184	1176	1181
16	[°C]	1137	1122	1134	1117	1134	1143	1157	1128	1143	1130	1134
17	[°C]	1041	1037	1054	1043	1050	1055	1035	998	991	968	959
18	[°C]	980	961	970	948	956	966	938	912	919	891	891
19	[°C]	600	610	620	620	640	640	650	630	620	620	610
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	10	10	10	10	15	15	20	25	25	30	30
22	[Pa]	20	25	30	35	30	35	25	25	25	25	25
23	[t%]	3.65	2.9	2.3	1.5	0	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	0	1	5	3000	4000	4000	4000	2000	2000	4000	4000
25	[t%]	10.2	10.3	10.6	11.1	11.9	11.6	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
26	[ppm]	65	62	59	45	40	37	35	30	26	22	22
27	[ppm]	67.4	61.7	56.8	41.5	34.3	31.7	30.0	25.7	22.3	18.9	18.9
Fix beépített műszerek												
28	[t%]	3.75	3.25	3.45	3.65	3.7	3.9	3.65	3.6	3.85	3.7	3.75
29	[ppm]	0	0	0	2	23	32	54	61	74	81	101
30	[t%]	10.2	10.5	10.4	10.8	10.9	11.3	11.5	11.3	11.3	10.8	10.5
31	[ppm]	60.3	58.7	55.8	51.4	45.1	39.9	36.8	31	25.8	23.4	21
32	[ppm]	62.9	59.5	57.2	53.3	46.9	42.0	38.2	32.1	27.1	24.3	21.9
33	[kW/h]	23	24	25	25	26	27	28	29	30	31	32
34	[m ³]	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4
35	[m ³]	27	28.5	30	31	32	33	34	36	37	38	39
36	[l]	1.18	1.20	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.22	1.22	1.21	1.21
37	[l]	1.24	1.20	1.22	1.23	1.24	1.25	1.23	1.23	1.25	1.24	1.24
38	[ppm]	60.3	58.7	55.8	51.4	45.1	39.9	36.8	31	25.8	23.4	21
39	[ppm]	62.9	59.5	57.2	53.3	46.9	42.0	38.2	32.1	27.1	24.3	21.9
40	[mg/m ³]	129.0	122.0	117.3	109.3	96.2	86.1	78.3	65.7	55.5	49.9	44.9
41	[mg]	3251	3203	3203	3099	2828	2622	2465	2140	1865	1729	1604
42	[mg/kW]	144	136	131	122	107	96	87	73	62	56	50
43	[%]	0	5.4	9.0	15.3	25.4	33.3	39.3	49.0	57.0	61.3	65.2
44	[%]	0	5.4	3.9	6.8	12.0	10.5	9.1	16.0	15.6	10.1	10.0

REBURNING / Földgáz újraégetés laborkísérletei
 Primer zóna állandó (növelt hőbevitel) kísérleti sorozata
 Dátum: 1999.06.21
 Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

$T_{belső}$ 1150-1200
 n 1.3
 $O_{2,19\%}$ 5.28
 Fájlkód: reb2621
 $F_{szén}$: 35.69 [MJ/m³]
 $F_{met}(MOL)$: 33.94 [MJ/m³]
 $l_{szén}$: 9.5 [m³/m³]
 $F_{szén}$: 10.5 [m³/m³]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[h,min]	10:01	10:12	10:22	10:29	10:38	10:52	11:03	11:19	11:29	11:36	11:54
[°C]	28.5	27.5	28	27.4	28	28.1	28.5	28.7	27	27	31
[%]	58	61	61	57	55	55	55	59	56	54	51

4	[m ³ /h]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
5	[Pa]	770	770	770	770	770	760	770	760	770	760
6	[m ³ /h]	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
7	[Pa]	1770	1770	1770	1760	1760	1770	1760	1760	1770	1770
8	[l]	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31

9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	[Pa]	0	70	90	130	200	280	380	700	860	1050
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	7	8	9	10	12
12	[Pa]	0	270	1120	1620	2610	3740	5030	6100	7900	880
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.47	1.40	1.35	1.32	1.40

14	[°C]	1257	1267	1261	1253	1243	1249	1257	1246	1246	1251
15	[°C]	1180	1193	1189	1183	1171	1174	1183	1172	1174	1180
16	[°C]	1136	1152	1143	1135	1122	1124	1146	1121	1130	1133
17	[°C]	1076	1102	1102	1086	1071	1071	1081	1044	1037	1046
18	[°C]	1025	1046	1030	996	960	974	986	945	941	950
19	[°C]	660	660	660	650	630	660	660	650	650	670

20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	10	10	15	15	20	20	30	30
22	[Pa]	40	35	30	30	30	30	30	35	30	35

23	[t%]	5.1	4.3	3.4	2.4	0.9	0.5	0.1	0	0	0
24	[ppm]	0	0	29	466	2279	3000	4000	4000	4000	4000
25	[t%]	9.3	9.7	10	10.5	11.4	11.6	11.9	11.9	11.9	11.9
26	[ppm]	43	44	47	46	44	42	40	37	37	35
27	[ppm]	48.7	47.4	48.1	44.5	39.4	36.9	34.4	31.7	31.7	30.0

Fix beépített műszerek

28	[t%]	5.2	4.9	5	5.1	5.15	5.1	5.05	4.95	4.9	4.95
29	[ppm]	3	1	0	0	0	0	0	0	2	27
30	[t%]	9.2	9.5	9.6	9.8	9.9	10.3	10.5	10.9	11.1	11.4
31	[ppm]	49.6	49.2	47.2	43.9	39.5	36.3	33.7	28.9	27.8	26.6
32	[ppm]	56.5	55.0	53.1	49.7	44.9	41.1	38.0	32.4	31.1	29.8

33	[kW/h]	24	25	25	26	27	28	29	30	31	32
34	[m ³]	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4
35	[m ³]	31	32.5	34	35	36	38	39	40	41	43
36	[l]	1.31	1.32	1.33	1.32	1.31	1.33	1.32	1.32	1.31	1.33
37	[l]	1.36	1.34	1.35	1.35	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34	1.34
38	[ppm]	49.6	49.2	47.2	43.9	39.5	36.3	33.7	28.9	27.8	26.6
39	[ppm]	56.5	55.0	53.1	49.7	44.9	41.1	38.0	32.4	31.1	29.8
40	[mg/m ³]	115.8	112.8	108.9	101.9	92.0	84.2	78.0	66.4	63.7	61.2
41	[mg]	3041	3078	3086	2995	2800	2654	2538	2232	2208	2183
42	[mg/kW]	129	126	121	113	102	94	87	74	71	68
43	[%]	0	2.7	6.0	12.0	20.6	27.3	32.7	42.6	45.0	47.2
44	[%]	0	2.7	3.5	6.4	9.7	8.4	7.5	14.8	4.1	4.0

REBURNING / Földgáz újraelgés laboridrséretel

Primer zóna állandó (növelt hőbevitel) kísérleti sorozata

Dátum: 1999.06.03

Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{üzlet} 1200-1250

n= 1.05

O₂ arány= 1.1

Fájl kód: reb2603

F_{üzlet}: 35.69 [MJ/m³]

F_{üzlet,0,000}: 33.94 [MJ/m³]

L_{üzlet}: 9.5 [m³/m³]

F_{S_{üzlet}}: 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	10:17	10:36	10:43	10:51	10:58	11:06	11:15	11:23	11:33	11:43	11:50
2	[°C]	26.5	27	27	26.8	26.8	27	27	27.8	27	26.7	27.2
3	[%]	60	62	60	63	63	63	63	62	63	63	64

4	[m ³ /h]	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
5	[Pa]	770	770	770	770	760	770	770	770	790	780	790
6	[m ³ /h]	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
7	[Pa]	1160	1160	1170	1180	1170	1160	1180	1180	1190	1190	1200
8	[l]	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	40	70	150	250	400	520	710	980	1190	1400
11	[m ³ /h]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	[Pa]	0	150	820	1200	2540	4060	5700	7700	8700	9000	9000
13	[l]	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

14	[°C]	1320	1335	1324	1323	1317	1319	1310	1311	1309	1312	1302
15	[°C]	1247	1257	1252	1258	1248	1256	1252	1242	1248	1244	1240
16	[°C]	1200	1215	1216	1215	1197	1198	1179	1170	1177	1171	1151
17	[°C]	1124	1143	1139	1140	1100	1101	1091	1089	1090	1089	1082
18	[°C]	1076	1096	1092	1093	1044	1047	1040	1041	1046	1042	1035
19	[°C]	700	740	740	760	760	760	760	760	760	760	760

20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	20	25	30	35	30	35	40	45	50	50	55

23	[t%]	1.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	0	533	2000	2000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
25	[t%]	11.3	11.9	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
26	[ppm]	68	55	44	28	26	23	21	16	14	17	18
27	[ppm]	61.8	48.1	37.7	24.0	22.3	19.7	18.0	13.7	12.0	14.6	15.4

Fix beépített műszerek

28	[t%]	1.1	0.9	0.9	1	1.2	1.15	1	1	1.2	1	1
29	[ppm]	0	0	9	23	32	55	65	71	81	95	2000
30	[t%]	11.6	11.6	11.8	11.7	11.6	11.6	11.8	11.7	11.6	11.8	11.8
31	[ppm]	76	64.9	51.7	42.4	36.9	35.1	33.9	29.8	26.7	25.2	25.3
32	[ppm]	68.7	58.1	46.3	38.2	33.5	31.8	30.5	26.8	24.3	22.7	22.8

33	[kW/h]	22	23	24	25	25	26	27	28	29	30	31
34	[m ³]	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3
35	[m ³]	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
36	[l]	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
37	[l]	1.06	1.05	1.05	1.06	1.07	1.06	1.06	1.06	1.07	1.06	1.06
38	[ppm]	76	64.9	51.7	42.4	36.9	35.1	33.9	29.8	26.7	25.2	25.3
39	[ppm]	68.7	58.1	46.3	38.2	33.5	31.8	30.5	26.8	24.3	22.7	22.8
40	[mg/m ³]	140.9	119.1	94.9	78.2	68.8	65.2	62.5	55.0	49.8	46.5	46.7
41	[mg]	3403	3002	2491	2136	1950	1918	1905	1732	1620	1562	1617
42	[mg/kW]	157	133	106	87	77	73	70	61	55	52	52
43	[%]	0	15.5	32.7	44.5	51.2	53.7	55.6	61.0	64.7	67.0	66.9
44	[%]	0	15.5	20.3	17.6	12.1	5.1	4.1	12.1	9.5	6.6	-0.4

REBURNING / Földgáz újraégetés labor kísérletei
 Primer zóna állandó (növekvő hőbevitellel) kísérleti sorozata
 Dátum: 1999.05.27
 Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

$T_{\text{belső}}$ 1200-1250
 $n=$ 1.1
 O_2 $U_{\text{belső}}$ 2.1
 Fajlkód: reb2527

F_{szilikon} : 35.69 [MJ/m³]
 F_{metanol} : 33.94 [MJ/m³]
 L_{elm} : 9.5 [m³/m³]
 $F_{\text{Belső}}$: 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[t, min]	10:00	10:33	10:43	10:52	11:02	11:11	11:23	11:38	11:49	12:01	12:14
2	[°C]	22	23	23.5	24.8	24.8	25.5	26.8	27	28.2	27.5	28.5
3	[%]	42	41	39	40	38	36	33	34	33	33	33
4	[m ³ /h]	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
5	[Pa]	770	760	770	770	760	760	770	770	760	750	770
6	[m ³ /h]	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
7	[Pa]	1280	1300	1300	1310	1270	1290	1320	1380	1500	1900	2200
8	[l]	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	60	120	300	450	650	900	1180	1500	1900	2200
11	[m ³ /h]	0	1.5	2	3	5	6	7	8	9	10	11
12	[Pa]	0	80	850	1160	2500	4150	5700	6000	6500	8500	9000
13	[l]	-	1.58	1.05	1.05	1.32	1.26	1.23	1.20	1.18	1.17	1.16
14	[°C]	1332	1338	1351	1355	1352	1360	1367	1341	1352	1349	1344
15	[°C]	1217	1243	1254	1266	1271	1283	1287	1258	1270	1271	1268
16	[°C]	1174	1200	1215	1232	1240	1244	1240	1205	1224	1229	1221
17	[°C]	1109	1146	1162	1166	1165	1173	1163	1118	1122	1126	1125
18	[°C]	1056	1090	1107	1119	1121	1124	1118	1073	1081	1084	1083
19	[°C]	710	720	740	740	760	760	760	770	770	750	740
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	25	30	35	40	30	20	25	20	30	20	25
23	[tF%]	2.2	1.5	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	0	10	277	2000	2000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
25	[tF%]	10.8	11.2	11.6	12	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
26	[ppm]	79	76	65	50	32	27	22	16	10	3	0
27	[ppm]	75.6	70.2	57.9	43.1	27.4	23.1	18.9	13.7	8.6	2.6	0.0
Fix beépített műszerek												
28	[ppm]	2.1	1.85	1.9	1.8	2	1.95	2.1	1.9	1.95	2.1	2
29	[ppm]	0	0	2	12	30	42	46	59	74	98	2000
30	[tF%]	10.6	11	10.8	11.2	11.4	11.6	11.8	12.1	12.1	12.1	12.1
31	[ppm]	76.2	69.1	61.3	50.5	43	39	35	31.3	28.5	24	22.4
32	[ppm]	72.6	65.0	57.8	47.3	40.7	36.9	33.3	29.5	26.9	22.9	21.2
33	[kW/h]	22	23	24	25	25	26	27	28	29	30	31
34	[m ³]	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3
35	[m ³]	24	25.5	26	27	29	30	31	32	33	34	35
36	[l]	1.10	1.12	1.09	1.09	1.13	1.13	1.13	1.12	1.12	1.12	1.12
37	[l]	1.12	1.11	1.11	1.10	1.12	1.11	1.12	1.11	1.11	1.12	1.12
38	[ppm]	76.2	69.1	61.3	50.5	43	39	35	31.3	28.5	24	22.4
39	[ppm]	72.6	65.0	57.8	47.3	40.7	36.9	33.3	29.5	26.9	22.9	21.2
40	[mg/m ³]	148.8	133.1	118.4	97.1	83.5	75.5	68.3	60.5	55.2	46.9	43.5
41	[mg]	3593	3355	3109	2650	2368	2221	2081	1905	1797	1574	1507
42	[mg/kW]	166	148	132	108	93	84	76	67	61	52	48
43	[%]	0	10.5	20.4	34.8	43.9	49.2	54.1	59.4	62.9	68.5	70.8
44	[%]	0	10.5	11.1	18.0	14.0	9.5	9.5	11.5	8.7	15.1	7.2

REBURNING / Földgáz újraégetés labor kísérlet
 Primer zóna állandó (növelt hőbevitel) kísérleti sorozata
 Dátum: 1999.05.28
 Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

T_{betét} 1200-1250
 n= 1.2
 O₂ t% = 3.8
 Fájlkód: reb2528

Fé_{szén}: 35.69 [MJ/m³]
 Fé_{metálok}: 33.94 [MJ/m³]
 L_{betét}: 9.5 [m³/m³]
 Fé_{betét}: 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	10:03	10:28	10:39	11:14	11:22	11:33	11:44	11:55	12:06	12:18	12:35
2	[°C]	25	25.8	25.3	22	26.5	27	27	27.6	28.5	27.5	28
3	[%]	38	40	39	35	35	34	33	35	34	34	35

4	[m ³ /h]	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
5	[Pa]	740	730	730	740	740	740	740	740	740	740	740
6	[m ³ /h]	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
7	[Pa]	1450	1440	1430	1430	1420	1400	1440	1440	1440	1440	1470
8	[l]	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18

9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	60	80	120	200	310	420	580	1000	1200	1460
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	8	10	11	12
12	[Pa]	0	470	740	1150	1730	3100	4650	6000	7500	8100	8700
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.20	1.32	1.29	1.26

14	[°C]	1295	1311	1316	1329	1325	1317	1321	1321	1302	1300	1298
15	[°C]	1195	1217	1224	1246	1235	1230	1240	1244	1223	1223	1228
16	[°C]	1154	1177	1184	1216	1199	1198	1191	1199	1187	1182	1197
17	[°C]	1091	1125	1147	1171	1134	1114	1099	1088	1062	1058	1058
18	[°C]	1039	1067	1086	1120	1062	1046	1039	1031	998	986	993
19	[°C]	720	720	720	730	740	740	740	740	740	740	740

20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	25	30	35	40	30	20	25	30	40	40	30

23	[t%]	3.9	3.1	2.1	0.9	0.2	0.1	0	0	0	0	0
24	[ppm]	1	1	107	2000	2000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
25	[t%]	9.8	10.2	10.9	11.6	12	12	12.1	12.1	12.1	122.1	12.1
26	[ppm]	69	62	58	54	48	32	28	28	25	24	22
27	[ppm]	72.6	62.3	55.2	48.4	41.5	27.6	24.0	24.0	21.4	20.6	18.9

Fix beépített műszerek

28	[t%]	3.8	3.8	3.4	3.4	3.7	3.8	3.85	3.7	3.7	3.7	3.65
29	[ppm]	0	4	2	10	25	45	52	59	74	95	2100
30	[t%]	9.8	9.8	10.1	10.5	10.9	11.2	11.4	11.6	11.6	11.6	11.9
31	[ppm]	65	61.3	58.1	52.9	48.1	42.4	38	32.7	30.3	26.9	25.4
32	[ppm]	68.0	64.2	59.4	54.1	50.0	44.4	39.9	34.0	31.5	28.0	26.4

33	[kW/h]	23	24	25	25	26	27	28	29	30	31	32
34	[m ³]	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4
35	[m ³]	27	28.5	30	31	32	33	34	35	37	38	39
36	[l]	1.18	1.20	1.21	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.22	1.21	1.21
37	[l]	1.24	1.24	1.21	1.21	1.24	1.24	1.25	1.24	1.24	1.24	1.23
38	[ppm]	65	61.3	58.1	52.9	48.1	42.4	38	32.7	30.3	26.9	25.4
39	[ppm]	68.0	64.2	59.4	54.1	50.0	44.4	39.9	34.0	31.5	28.0	26.4
40	[mg/m ³]	139.4	131.5	121.8	110.9	102.6	91.0	81.8	69.7	64.6	57.4	54.0
41	[mg]	3514	3452	3325	3144	3016	2770	2575	2270	2172	1988	1929
42	[mg/kW]	155	146	136	124	114	101	91	78	72	64	60
43	[%]	0	5.7	12.6	20.5	26.4	34.8	41.4	50.0	53.7	58.9	61.3
44	[%]	0	5.7	7.4	9.0	7.5	11.3	10.1	14.7	7.3	11.2	5.8

REBURNING / Földgáz újraégetés labor kísérleti

Primer zóna állandó (növelt hőbevitel) kísérleti sorozata

Dátum: 1999.05.31

Tüzelőanyag: földgáz / (Tígdz, MOL)

T_{üzlet} = 1200-1250

n = 1.3

O_{2,üzlet} = 5.28

Fájl kód: reb2531

F_{üzlet} = 35.69 [MJ/m³]

F_{üzlet(O₂)} = 33.94 [MJ/m³]

L_{üzlet} = 9.5 [m³/m³]

F_{üzlet} = 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	[h,min]	9:58	10:18	10:28	10:42	10:52	11:03	11:15	11:21	11:41	11:52	12:03	12:13
2	[°C]	26.9	27.5	28.5	29	29.5	29.4	29.8	30.1	30.2	30.5	30	30.5
3	[%]	56	53	51	48	48	47	48	45	46	46	46	47
4	[m ³ /h]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
5	[Pa]	760	760	750	770	750	740	750	750	750	750	750	750
6	[m ³ /h]	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
7	[Pa]	1710	1710	1710	1710	1710	1720	1710	1710	1710	1710	1710	1710
8	[l]	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1
10	[Pa]	0	60	80	140	220	330	440	600	800	990	1100	1350
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	8	9	10	11	13	14
12	[Pa]	0	200	750	1300	1600	2230	3000	3800	5400	7200	8500	8500
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.40	1.35	1.32	1.29	1.37	1.34
14	[°C]	1275	1261	1261	1269	1275	1265	1263	1266	1268	1258	1260	1254
15	[°C]	1185	1160	1170	1176	1183	1172	1169	1177	1181	1170	1174	1176
16	[°C]	1145	1116	1124	1131	1142	1127	1127	1142	1153	1146	1156	1163
17	[°C]	1087	1055	1069	1081	1094	1058	1052	1063	1056	999	990	991
18	[°C]	1037	972	982	1002	1017	957	962	959	966	907	905	895
19	[°C]	660	630	630	640	660	660	650	660	680	680	660	650
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	20	25	30	30	30	30	30	30	30	35	35	35
23	[t%]	5.3	4.4	3.8	2.2	1.4	0.4	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
24	[ppm]	0	0	1	257	787	2118	4000	4000	4000	4000	4000	4000
25	[t%]	9.1	9.5	9.9	10.8	11.3	11.9	11.9	12.1	12	12.1	12.1	12
26	[ppm]	47	50	51	46	43	36	32	29	27	26	26	29
27	[ppm]	53.9	54.2	53.4	44.0	39.5	31.5	27.8	25.2	23.3	22.4	22.4	25.0
Fix beépített műszerek													
28	[t%]	5.1	4.9	4.7	4.9	5	5.1	4.8	4.95	4.75	4.9	5	4.95
29	[ppm]	0	0	0	0	0	15	27	39	46	58	71	274
30	[t%]	9.1	9.4	9.4	9.6	10	10.3	10.5	10.9	11.2	11.2	11.2	11.1
31	[ppm]	54.9	52.9	50.5	46.7	43.6	39.4	36.7	34.3	32.6	31	29.2	27.1
32	[ppm]	62.2	59.1	55.8	52.2	49.1	44.6	40.8	38.5	36.1	34.7	32.9	30.4
33	[kW/h]	24	25	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
34	[m ³]	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
35	[m ³]	31	32.5	34	35	36	37	39	40	41	42	44	45
36	[l]	1.31	1.32	1.33	1.32	1.31	1.30	1.32	1.32	1.31	1.30	1.32	1.32
37	[l]	1.35	1.34	1.32	1.34	1.35	1.35	1.33	1.34	1.32	1.34	1.35	1.34
38	[ppm]	54.9	52.9	50.5	46.7	43.6	39.4	36.7	34.3	32.6	31	29.2	27.1
39	[ppm]	62.2	59.1	55.8	52.2	49.1	44.6	40.8	38.5	36.1	34.7	32.9	30.4
40	[mg/m ³]	127.4	121.2	114.3	107.0	100.6	91.4	83.6	78.9	74.0	71.0	67.3	62.3
41	[mg]	3344	3310	3241	3147	3062	2880	2721	2650	2565	2536	2475	2355
42	[mg/kW]	142	135	127	119	112	102	93	88	82	79	75	69
43	[%]	0	4.8	10.3	16.0	21.1	28.2	34.4	38.1	41.9	44.2	47.1	51.1
44	[%]	0	4.8	5.7	6.4	6.1	9.1	8.6	5.7	6.1	4.0	5.2	7.5

REBURNING / Földgáz újraégetés labor kísérleti
 Primer zóna állandó (növelt hőbevitel) kísérleti sorozata
 Dátum: 1999.06.15
 Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

$T_{\text{belső}} = 1250-1300$
 $n = 1.05$
 $O_2 \text{ utó} = 1.1$
 Fájlkód: reb2615

$F_{\text{érintéskor}} = 35.69$ [MJ/m³]
 $F_{\text{érintés(MOL)}}$ = 33.94 [MJ/m³]
 $I_{\text{réns}} = 9.5$ [m³/m³]
 $F_{\text{SGelm}} = 10.5$ [m³/m³]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 [h,min]	10:07	10:22	10:30	10:41	10:51	11:00	11:09	11:18	11:24	11:38	11:49
2 [°C]	28.2	27.8	28.5	28.5	28.5	29.5	30	30.2	29.7	30.2	31
3 [%]	59	56	54	52	55	51	54	54	48	51	48

4 [m ³ /h]	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
5 [Pa]	770	770	770	770	780	770	770	770	770	780	770
6 [m ³ /h]	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
7 [Pa]	1200	1190	1200	1200	1210	1200	1200	1200	1200	1210	1200
8 [l]	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

9 [m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10 [Pa]	0	50	80	140	230	320	430	560	840	1000	1160
11 [m ³ /h]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12 [Pa]	0	350	910	2550	3570	5800	7300	7770	9000	9100	9100
13 [l]	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

14 [°C]	1322	1325	1325	1330	1328	1328	1320	1324	1314	1308	1313
15 [°C]	1242	1250	1258	1261	1267	1266	1258	1268	1255	1247	1257
16 [°C]	1203	1212	1212	1206	1196	1186	1178	1182	1163	1156	1167
17 [°C]	1118	1132	1138	1144	1138	1132	1116	1125	1102	1089	1105
18 [°C]	1067	1082	1092	1093	1093	1088	1073	1085	1057	1054	1069
19 [°C]	620	620	620	620	620	640	650	670	660	660	640

20 [l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21 [cm]	0	0	0	0	0	0	5	5	10	10	5
22 [Pa]	25	25	30	40	40	30	30	30	30	35	35

23 [tr%]	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24 [ppm]	0	499	711	4501	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
25 [u%]	11.6	11.9	11.7	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
26 [ppm]	78	63	55	47	41	35	31	38.5	37.5	20.3	19.3
27 [ppm]	70.9	54.0	47.1	40.3	35.1	30.0	26.6	33.0	32.1	17.4	16.5

Fix beépített műszerek

28 [u%]	1.2	0.8	1	0.9	1.1	1.15	1.1	1	1.1	1	1
29 [ppm]	0	0	3	16	24	37	48	59	73	84	4000
30 [tr%]	11.6	11.8	11.8	11.7	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
31 [ppm]	81.1	67.4	56.3	49.8	44	40.1	36.3	36.7	35.5	30.4	29.4
32 [ppm]	73.7	60.1	50.7	44.6	39.8	36.4	32.8	33.0	32.1	27.4	26.5

33 [kW/h]	23	24	25	25	26	27	28	29	30	31	32
34 [m ³]	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4
35 [m ³]	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
36 [l]	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
37 [l]	1.07	1.04	1.06	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
38 [ppm]	81.1	67.4	56.3	49.8	44	40.1	36.3	36.7	35.5	30.4	29.4
39 [ppm]	73.7	60.1	50.7	44.6	39.8	36.4	32.8	33.0	32.1	27.4	26.5
40 [mg/m ³]	151.1	123.1	103.9	91.4	81.6	74.5	67.3	67.7	65.8	56.1	54.2
41 [mg]	3809	3232	2836	2592	2399	2270	2120	2204	2212	1943	1936
42 [mg/kW]	168	137	116	102	91	83	75	75	73	62	60
43 [%]	0	18.5	31.3	39.5	46.0	50.7	55.5	55.2	56.4	62.9	64.1
44 [%]	0	18.5	15.6	12.0	10.8	8.6	9.7	-0.6	2.8	14.8	3.3

REBURNING / Földgáz újraelgetés labor kísérletei
 Primer zóna állandó (növelt hőbevitel) kísérleti sorozata
 Dátum: 1999.06.10
 Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

$T_{üzem}$ = 1250-1300
 n = 1.1
 $O_{2üzem}$ = 2.1
 Fájlkód: reb2610

$F_{előforrás}$: 35.69 [MJ/m³]
 $F_{előforrás}$: 33.94 [MJ/m³]
 $I_{előm}$: 9.5 [m³/m³]
 $F_{sgésm}$: 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	11:02	11:20	11:34	11:44	11:54	12:08	12:20	12:34	12:45	13:05	13:12
2	[°C]	27.5	27.6	28.2	28.7	29.5	30.2	29.8	30.2	30.6	31	31.5
3	[%]	49	48	46	46	45	47	45	46	44	43	42
4	[m ³ /h]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
5	[Pa]	770	770	770	820	810	820	820	800	810	820	820
6	[m ³ /h]	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
7	[Pa]	1270	1280	1290	1300	1290	1280	1290	1280	1270	1270	1280
8	[l]	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	40	90	190	350	460	620	880	820	1400	1690
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	[Pa]	0	320	800	1550	2600	3200	5100	4900	5800	8250	900
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.20	1.18	1.17	1.16
14	[°C]	1312	1318	1330	1342	1343	1345	1325	1323	1319	1314	1316
15	[°C]	1248	1247	1260	1265	1268	1278	1260	1258	1255	1257	1259
16	[°C]	1185	1197	1214	1227	1236	1240	1203	1200	1189	1200	1201
17	[°C]	1133	1132	1154	1161	1159	1155	1090	1096	1095	1095	1094
18	[°C]	1064	1079	1104	1110	1109	1111	1057	1044	1047	1046	1046
19	[°C]	710	720	720	740	780	780	760	760	760	770	780
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	15	30	35	45	10	15	15	30	15	30	35
23	[t[%]]	2.2	1.6	0.7	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	7	31	1200	1500	1700	1800	2000	4000	4000	4000	4000
25	[t[%]]	10.5	11.6	11.7	11.8	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
26	[ppm]	83	71	59	47	36	35	32	30	28	20	26
27	[ppm]	79.5	65.9	52.3	40.7	31.0	30.0	27.4	25.7	24.0	17.1	22.3
Fix beépített műszerek												
28	[t[%]]	2.1	2	1.95	2.05	1.9	2	1.95	1.9	2.1	2.15	1.9
29	[ppm]	2	3	7	44	35	12	17	16	4	3	3
30	[t[%]]	11.1	11.2	11.3	11.2	11.2	11.1	11.2	11.3	11.3	11.3	11.2
31	[ppm]	85.1	79.5	68.8	56.3	49.5	47.7	45.3	39.6	31.4	27.9	26.5
32	[ppm]	81.0	75.3	65.0	53.5	46.6	45.2	42.8	37.3	29.9	26.6	25.0
33	[kW/h]	24	25	25	26	27	28	29	30	31	32	33
34	[m ³]	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
35	[m ³]	27	28.5	30	31	32	33	34	35	36	37	38
36	[l]	1.14	1.15	1.17	1.17	1.16	1.16	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14
37	[l]	1.12	1.12	1.11	1.12	1.11	1.12	1.11	1.11	1.12	1.13	1.11
38	[ppm]	85.1	79.5	68.8	56.3	49.5	47.7	45.3	39.6	31.4	27.9	26.5
39	[ppm]	81.0	75.3	65.0	53.5	46.6	45.2	42.8	37.3	29.9	26.6	25.0
40	[mg/m ³]	166.1	154.4	133.3	109.6	95.6	92.6	87.7	76.5	61.3	54.6	51.2
41	[mg]	4361	4215	3778	3223	2912	2918	2856	2571	2124	1950	1881
42	[ug/kW]	185	172	148	122	107	103	98	85	68	61	57
43	[%]	0	7.1	19.8	34.0	42.4	44.2	47.2	54.0	63.1	67.1	69.2
44	[%]	0	7.1	13.7	17.7	12.8	3.1	5.3	12.8	19.9	10.9	6.3

REBURNING / Földgáz újraégetés labor kísérlet
 Primer zóna állandó (növelt hőbevitel) kísérleti sorozata
 Dátum: 1999.06.11
 Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

$T_{kém}$ = 1250-1300
 n = 1.2
 $O_{2,UV}$ = 3.8
 Fájlkód: reb2611

$F_{kém,öss}$: 35.69 [MJ/m³]
 $F_{kém,MOL}$: 33.94 [MJ/m³]
 $V_{kém}$: 9.5 [m³/m³]
 $F_{SG,kém}$: 10.5 [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	10:29	10:44	10:54	11:01	11:08	0:00	11:35	12:00	12:19	x	x
2	[°C]	28.6	28.6	29.2	29.6	30.1	30.3	30.5	30.6	31		
3	[%]	51	52	53	54	52	50	49	50	47		
4	[m ³ /h]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	x	x
5	[Pa]	770	770	770	770	770	770	770	770	770		
6	[m ³ /h]	29	29	29	29	29	29	29	29	29		
7	[Pa]	1400	1400	1410	1400	1400	1410	1410	1400	1400		
8	[l]	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22		
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	x	x
10	[Pa]	0	130	330	720	1180	1680	2250	2380	2560		
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	7	8	9		
12	[Pa]	0	180	890	1630	2700	3940	5400	6300	8700		
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.23	1.20	1.18		
14	[°C]	1291	1301	1304	1314	1320	1321	1325	1339	1342	x	x
15	[°C]	1213	1224	1227	1238	1246	1253	1261	1271	1270		
16	[°C]	1168	1182	1184	1198	1215	1226	1235	1200	1214		
17	[°C]	1100	1120	1134	1150	1167	1170	1176	1169	1159		
18	[°C]	1048	1072	1088	1100	1117	1122	1124	1120	1114		
19	[°C]	700	710	720	720	740	760	780	780	780		
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	x	x
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	10	10		
22	[Pa]	35	40	45	35	40	45	35	30	35		
23	[t%]	3.7	2.3	1.4	0.3	0	0	0	0	0	x	x
24	[ppm]	7	10	3	350	3000	4000	4000	4000	4000		
25	[t%]	10.2	10.5	11.1	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9		
26	[ppm]	68	73	72	70	60	48	45	42	38		
27	[ppm]	70.8	70.3	66.1	60.9	51.4	41.1	38.6	36.0	32.6		
		79.4	73.9	68.4	60.7	52.5	47.2	43.9	38.4	35.0		
Fix beépített műszerek												
28	[t%]	3.7	3.2	3.5	3.3	3.4	3.1	3.3	3.5	3.7	x	x
29	[ppm]	1	1	0	0	0	0	0	35	50		
30	[t%]	11.9	10.8	11.9	10.9	11.2	11.9	11.9	11.9	11.9		
31	[ppm]	76.3	73.1	66.5	59.7	51.3	47	43.1	37.3	33.6		
32	[ppm]	79.4	73.9	68.4	60.7	52.5	47.3	43.8	38.4	35.0		
33	[kW/h]	24	25	25	26	27	28	29	30	31	x	x
34	[m ³]	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3		
35	[m ³]	29	30.5	32	33	34	35	36	37	38		
36	[l]	1.22	1.23	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21		
37	[l]	1.24	1.20	1.22	1.21	1.21	1.19	1.21	1.22	1.24		
38	[ppm]	76.3	73.1	66.5	59.7	51.3	47	43.1	37.3	33.6		
39	[ppm]	79.4	73.9	68.4	60.7	52.5	47.3	43.8	38.4	35.0		
40	[mg/m ³]	162.7	151.5	140.2	124.5	107.6	96.9	89.9	78.6	71.7		
41	[mg]	4272	4137	3975	3639	3275	3052	2925	2643	2483		
42	[mg/kW]	181	169	156	139	120	108	100	88	80		
43	[%]	0	6.9	13.8	23.5	33.9	40.5	44.8	51.7	56.0		
44	[%]	0	6.9	7.5	11.2	13.6	9.9	7.3	12.5	8.9		

REBURNING / Földgáz újraégetés labor kísérlet
 Primer zóna állandó (növelt hőbevitel) kísérleti sorozata
 Dátum: 1999.06.14
 Tüzelőanyag: földgáz / (Tigáz, MOL)

$T_{\text{belső}} = 1250-1300$
 $n = 1.3$
 $O_{2\text{tűz}} = 5.28$
 Fájlkód: reb2614

$F_{\text{minikon}} = 35.69$ [MJ/m³]
 $F_{\text{max(MOL)}} = 33.94$ [MJ/m³]
 $V_{\text{elm}} = 9.5$ [m³/m³]
 $F_{\text{SG,elm}} = 10.5$ [m³/m³]

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	10:37	10:44	10:58	11:08	11:15	11:25	11:40	11:51	12:03	12:15	12:27
2	[°C]	28	28	28.5	28.8	28.5	29	28.5	29.4	31	30.5	30.2
3	[%]	53	53	54	52	53	51	51	49	48	48	48
4	[m ³ /h]	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
5	[Pa]	770	770	770	770	780	770	770	770	770	760	760
6	[m ³ /h]	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
7	[Pa]	1740	1740	1720	1740	1740	1750	1740	1740	1740	1740	1740
8	[l]	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
9	[m ³ /h]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10	[Pa]	0	70	90	170	290	410	580		650	660	670
11	[m ³ /h]	0	1.5	3	4	5	6	8	9	10	12	13
12	[Pa]	0	460	500	2050	2630	4180	5400	7350	9000	9500	9500
13	[l]	-	1.58	1.58	1.40	1.32	1.26	1.40	1.35	1.32	1.40	1.37
14	[°C]	1270	1283	1285	1291	1295	1308	1316	1320	1322	1324	1306
15	[°C]	1195	1205	1210	1224	1232	1245	1256	1259	1261	1268	1252
16	[°C]	1153	1166	1178	1192	1204	1216	1224	1234	1234	1239	1217
17	[°C]	1089	1112	1133	1157	1175	1193	1199	1194	1185	1184	1159
18	[°C]	1039	1061	1076	1100	1116	1134	1154	1162	1156	1146	1131
19	[°C]	640	640	650	670	690	700	710	740	760	770	730
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	25
22	[Pa]	40	35	35	40	40	55	30	40	30	30	30
23	[t%]	5	4.4	3.2	2.6	1.7	0.6	0.1	0.1	0	0	0
24	[ppm]	1	109	273	348	758	3000	4000	4000	4000	4000	4000
25	[t%]	9.4	9.9	10.1	10.4	10.9	11.6	11.8	11.9	11.9	11.9	11.9
26	[ppm]	42	51	52	58	59	59	54	48	47	41	38
27	[ppm]	47.3	55.3	52.6	56.7	55.0	52.1	46.5	41.3	40.3	35.1	32.6
		67.0	62.9	58.3	55.0	49.9	46.3	43.1	39.8	38.0	36.6	34.5
	Fix beépített műszerek											
28	[t%]	5.1	4.8	4.7	4.9	4.8	5	5.1	5.2	5	4.9	5
29	[ppm]	0	0	0	0	0	0	0	23	35	42	55
30	[t%]	9.5	9.6	10	9.9	10.1	10.3	10.5	11.9	11.9	11.9	11.9
31	[ppm]	59.2	56.6	52.8	49.2	44.9	41.1	38.1	35	33.8	32.7	30.7
32	[ppm]	67.0	62.9	58.3	55.0	49.9	46.2	43.1	39.9	38.0	36.6	34.5
33	[kW/h]	25	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
34	[m ³]	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
35	[m ³]	32	33.5	35	36	37	38	40	41	42	44	45
36	[l]	1.30	1.31	1.32	1.31	1.30	1.29	1.32	1.31	1.30	1.32	1.32
37	[l]	1.35	1.33	1.32	1.34	1.33	1.35	1.35	1.36	1.35	1.34	1.35
38	[ppm]	59.2	56.6	52.8	49.2	44.9	41.1	38.1	35	33.8	32.7	30.7
39	[ppm]	67.0	62.9	58.3	55.0	49.9	46.2	43.1	39.9	38.0	36.6	34.5
40	[mg/m ³]	137.4	128.9	119.5	112.8	102.3	94.8	88.4	81.7	78.0	74.9	70.8
41	[mg]	3751	3655	3514	3434	3222	3085	2971	2832	2783	2754	2676
42	[mg/kW]	153	144	133	126	114	106	98	91	87	83	79
43	[%]	0	6.2	13.0	17.9	25.6	31.0	35.6	40.5	43.3	45.4	48.5
44	[%]	0	6.2	7.3	5.7	9.3	7.3	6.7	7.6	4.6	3.9	5.5

REBURNING / Kamragáz újraégetés laborkísérletei**Hőntartó mérési sorozat**

Dátum: 1999. szeptembere

Tüzelőanyag: szintetikus kamragáz / (Siad Hungarogáz Kft.)

(tf%) H₂ 59.9, CH₄ 29.0, CO 8.5, CO₂ 2.5**Kísérleti beállítások, mért és regisztrált jellemzők:****Mérési pontok:**

Tüzelőanyag:		
1	Leolvasások ideje:	[h, min]
2	Égési lev. hőm. (környezeti hőm.):	[°C]
3	Levegő relatív nedvességtartalma:	[%]

Bejuttatott mennyiségek:

4	V _{szk,1} primer gáz	[m ³ /h]
5	P _{szk,1}	[Pa]
6	V _{lev,1} primer levegő	[m ³ /h]
7	P _{lev,1}	[Pa]
8	n _{primer zóna számított}	[l]

9	V _{szk,2} szekunder gáz	[m ³ /h]
10	P _{szk,2}	[Pa]
11	V _{lev,2} szekunder levegő	[m ³ /h]
12	P _{lev,2}	[Pa]
13	n _{szek zóna számított}	[l]

Kemencetérben mért hőm. adatok:

14	T ₁ hőcél	[°C]
15	T ₂ hőcél / báza hőmér.	[°C]
16	T ₃ hőcél	[°C]
17	T ₄ hőcél	[°C]
18	T ₅ hőcél	[°C]
19	T ₆ hőcél / üregpótló zóna után	[°C]

20	Szekunder gázszonda pozíciója:	[l]
21	Kemencetér hűtőszonda pozíciója:	[cm]
22	P _{kemencetérnyomás}	[Pa]

Fsg. elemzés szondával kem. térben: (reburning zóna)

23	O ₂	[tf%]
24	CO	[ppm]
25	CO ₂	[tf%]
26	NO _x mért	[ppm]
27	NO _x (3 tf% O ₂)	[ppm]

Fsg. elemzés távozó fsg.-ban: (fsg. csatornában)

28	O ₂	[tf%]
29	CO	[ppm]
30	CO ₂	[tf%]
31	NO _x mért	[ppm]
32	NO _x (3 tf% O ₂)	[ppm]

Kiértékeléshez használt főbb jellemzők:

33	Teljes bevitt hőteljesítmény:	[kW/h]
34	Bevitt (primer) gáz mennyiség:	[m ³]
34/b	Bevitt (szekunder) gáz mennyiség:	[m ³]
35	Teljes bevitt égési levegő mennyiség:	[m ³]
36	Levegő tényező számítással:	[l]
37	Levegő tényező fsg. elemzéssel:	[l]
38	NO _x mért	[ppm]
39	NO _x (3 tf% O ₂)	[ppm]
40	NO _x (3 tf% O ₂)	[mg/m ³]
41	NO _x emisszió (teljes mennyiség)	[mg]
42	NO _x kibocsátás/ bevitt hőteljesítmény	[mg/kW]
43	NO _x emisszió %-ban báza értékehez képest	[%]
44	NO _x emisszió elvált értékehez képest (báza)	[%]

REBURNING / Kamragáz újraégetés laborkísérletei

Hőntartó mérési sorozat

Dátum: 1999.09.27

Tüzelőanyag: szintetikus kamragáz / (Siad Hungarogáz Kft.)

$T_{bázis} = 1200-1300$

$n = 1,1$

$O_2\% = 2,1$

Fájl kód: kam0927

	földgáz	kamragáz
$F_{számláló}$	35,69	21,37 [MJ/m ³]
$F_{méri}$	33,94	18,35 [MJ/m ³]
$L_{cán}$	9,5	5,33 [m ³ /m ³]
$F_{sgém}$	10,5	6,07 [m ³ /m ³]

		0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		földgáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz
1	[h,min]	11:48	11:51	11:59	12:04	12:06	12:08	12:14	12:17	12:21	12:28	12:33	12:40
2	[°C]	27,5	27,7	28,3	28,7	29,1	29,5	29,1	29,2	28,7	28,3	28,1	28
3	[%]	51	50	50	50	49	48	49	48	49	50	49	50
4	[m ³ /h]	2,4	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,2	3	2,8	2,6	2,4
5	[Pa]	720	1780	1620	1490	1350	1240	1120	1090	1050	940	910	900
6	[m ³ /h]	25	25	24	23	22	21	20	19	18	16,5	15,5	14,5
7	[Pa]	1340	1340	1240	1200	1170	1150	1100	1080	1040	990	970	950
8	[l]	1,10	1,07	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,13	1,11	1,12	1,13
9	[m ³ /h]	0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
10	[Pa]	0	0	110	130	170	200	340	440	550	700	760	820
11	[m ³ /h]	0	0	1	2	3	4	6	7	8	9,5	10,5	12
12	[Pa]	0	0	750	1900	3200	3600	4900	5700	6400	7300	8000	8000
13	[l]	-	-	0,94	0,94	0,94	0,94	1,13	1,09	1,07	1,11	1,09	1,13
14	[°C]	1291	1351	1357	1353	1348	1342	1332	1331	1330	1319	1311	1302
15	[°C]	1258	1308	1289	1279	1273	1271	1264	1262	1259	1251	1246	1242
16	[°C]	1156	1217	1190	1178	1175	1173	1161	1157	1148	1141	1136	1132
17	[°C]	1105	1183	1167	1155	1152	1147	1139	1130	1125	1117	1113	1111
18	[°C]	1049	1142	1117	1100	1099	1095	1082	1077	1071	1058	1051	1047
19	[°C]	630	710	720	730	740	740	740	740	740	730	730	730
20	[l]	-	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	55	110	55	45	55	65	45	40	35	30	30	30
(Testo)													
23	[tf%]	2,1	2,2	2,1	1,7	1,1	0	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	7	17	23	43	53	75	91	115	470	2000	4000	4000
25	[tf%]	10,6	10,6	10,6	10,5	10,5	10,4	10,3	10,5	10,7	10,9	11,1	11,4
26	[ppm]	77,4	121,1	104,2	80,5	72,3	59,7	38,8	29,3	19,6	17,4	15,7	12,3
27	[ppm]	73,7	115,9	99,2	75,1	65,4	51,2	33,3	25,1	16,8	14,9	13,5	10,5
Fix beépített műszerek + (Testo)													
28	[tf%]	2,2	2,1	2,1	2	2,1	2	2	2,1	2	1,9	2	2
29	[ppm]	0	17	23	43	53	75	91	115	470	2000	4000	4000
30	[tf%]	10,6	10,5	10,9	11,4	11,4	11,4	11,7	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
31	[ppm]	78,3	123,4	106,5	83,6	62,3	55,4	50,8	30	14	15,1	15	14
32	[ppm]	75,0	117,5	101,4	79,2	59,3	52,5	48,1	28,6	13,3	14,2	14,2	13,3
33	[kW/h]	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
34	[m ³]	2,4	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,2	3	2,8	2,6	2,4
34/b	[m ³]	0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
35	[m ³]	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26	26	26,5
36	[l]	1,10	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,13
37	[l]	1,13	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,11	1,12	1,12
38	[ppm]	78,3	123,4	106,5	83,6	62,3	55,4	50,8	30	14	15,1	15	14
39	[ppm]	75,0	117,5	101,4	79,2	59,3	52,5	48,1	28,6	13,3	14,2	14,2	13,3
40	[mg/m ³]	153,7	240,9	207,9	162,4	121,6	107,6	98,7	58,6	27,2	29,2	29,1	27,2
41	[mg]	3873	6435	5301	3942	2806	2351	2036	1138	495	496	460	396
42	[mg/kW]	171	287	236	176	125	105	91	51	22	22	20	18
43	[%]	0	0	13,7	32,6	49,5	55,3	59,0	75,7	88,7	87,9	87,9	88,7
44	[%]	0	0	13,7	21,9	25,1	11,5	8,3	40,6	53,6	-7,3	0,1	6,7

REBURNING / Kamragáz újraégetés laborkísérleti

Hőntartó mérési sorozat

Dátum: 1999.09.28

Tüzelőanyag: szintetikus kamragáz / (Siad Hungarogáz Kft.)

$T_{b,km} = 1200-1300$

$n = 1,2$

$O_{2,us} = 3,8$

Fájl kód: kam0928

	földgáz	kamragáz
$F_{é,zzémtoti}$	35,69	21,37 [MJ/m ³]
$F_{é,méri}$	33,94	18,35 [MJ/m ³]
$L_{cán}$	9,5	5,33 [m ³ /m ³]
$F_{sg,éctn}$	10,5	6,07 [m ³ /m ³]

		0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	[h,min]	földgáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz
2	[°C]	10:44	10:55	11:00	11:03	11:08	11:11	11:14	11:26	11:39	11:41	11:43	11:47
3	[%]	27	28	27	26	27	27	28	27,7	27,1	27,5	27,9	28,2
4	[m ³ /h]	54	51	53	53	52	52	53	52	52	52	52	21
5	[Pa]	2,4	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,2	3	2,8	2,6	2,4
6	[m ³ /h]	660	890	1080	1210	1490	1640	1750	1540	1130	1170	1230	1280
7	[Pa]	28	28	27	26	25	24	22	21	20	18	17	16
8	[l]	1450	1460	1380	1320	1650	1320	1010	1170	1290	1270	1320	1210
9	[l]	1,23	1,19	1,21	1,22	1,23	1,25	1,21	1,23	1,25	1,21	1,23	1,25
9	[m ³ /h]	0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
10	[Pa]	0	0	70	110	180	260	330	370	400	570	730	980
11	[m ³ /h]	0	0	1	2	3	4	6	7	8	10	11	12
12	[Pa]	0	0	450	1250	2100	4200	5600	5800	6100	7200	8300	9400
13	[l]	-	-	0,94	0,94	0,94	0,94	1,13	1,09	1,07	1,17	1,15	1,13
14	[°C]	1328	1368	1372	1364	1345	1335	1324	1317	1307	1292	1269	1241
15	[°C]	1244	1296	1302	1291	1279	1273	1271	1268	1260	1257	1249	1241
16	[°C]	1190	1221	1237	1247	1233	1228	1221	1218	1213	1209	1201	1198
17	[°C]	1133	1173	1182	1193	1181	1175	1170	1171	1173	1175	1179	1187
18	[°C]	1084	1119	1125	1134	1137	1141	1145	1150	1153	1158	1162	1163
19	[°C]	670	700	700	710	720	720	720	730	740	740	750	750
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	35	40	40	70	90	70	50	40	35	30	30	25
(Testo)													
23	[tP%]	3,6	3,6	3,4	2,1	1,6	0,1	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	5	155	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
25	[tP%]	9,9	9,9	9,2	10,9	10,7	11,3	11,7	11,7	11,8	11,8	11,8	11,8
26	[ppm]	68	122	112	95	85	76	67	58	46	34	27	23
27	[ppm]	70,3	126,2	114,5	90,5	78,9	65,5	57,4	49,7	39,4	29,1	23,1	19,7
Fix beépített műszerek + (Testo)													
28	[tP%]	3,8	3,8	3,7	3,7	3,6	3,7	3,8	3,7	3,6	3,6	3,8	3,7
29	[ppm]	0	0	5	11	22	33	47	56	72	89	430	4000
30	[tP%]	10,6	10,7	10,9	11,1	11,1	11,6	11,6	11,7	11,7	11,8	11,8	11,8
31	[ppm]	68,1	119,7	107,7	97,4	80,6	71,6	55,6	46,4	34,9	23,6	19,7	19,4
32	[ppm]	71,3	125,3	112,1	101,3	83,4	74,5	58,2	48,3	36,1	24,4	20,6	20,2
33	[kW/h]	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
34	[m ³]	2,4	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,2	3	2,8	2,6	2,4
34/b	[m ³]	0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
35	[m ³]	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
36	[l]	1,24	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
37	[l]	1,24	1,24	1,24	1,24	1,23	1,24	1,24	1,24	1,23	1,23	1,24	1,24
38	[ppm]	68,1	119,7	107,7	97,4	80,6	71,6	55,6	46,4	34,9	23,6	19,7	19,4
39	[ppm]	71,3	125,3	112,1	101,3	83,4	74,5	58,2	48,3	36,1	24,4	20,6	20,2
40	[mg/m ³]	146,1	256,8	229,7	207,7	170,9	152,7	119,3	99,0	74,0	50,0	42,3	41,4
41	[mg]	3682	6859	5856	5044	3943	3337	2462	1922	1348	851	667	603
42	[mg/kW]	163	306	261	225	176	149	110	86	60	38	30	27
43	[%]	0	0	10,5	19,1	33,4	40,5	53,6	61,5	71,2	80,5	83,5	83,9
44	[%]	0	0	10,5	9,6	17,7	10,7	21,9	17,0	25,2	32,4	15,6	2,1

REBURNING / Kamragáz újraégetés laborkísérletei

Hőntartó mérési sorozat

Dátum: 1999.09.29

Tüzelőanyag: szintetikus kamragáz / (Siad Hungarogáz Kft.)

T_{előre} = 1200-1300

n = 1,3

O₂ arány = 5,2

Fájl kód: kam0929

földgáz kamragáz

F_{előre} = 35,69 21,37 [MJ/m³]

F_{utó} = 33,94 18,35 [MJ/m³]

L_{előre} = 9,5 5,33 [m³/m³]

F_{egés} = 10,5 6,07 [m³/m³]

		0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		földgáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz
1	[h,min]	10:08	10:21	10:27	10:30	10:34	10:37	10:41	10:45	10:49	10:53	10:57	11:02
2	[°C]	25,8	26	25,7	25,9	26,2	26,5	26,9	26,8	27,1	26,8	27,1	27,4
3	[%]	58	54	54	55	53	54	52	53	52	51	50	50
4	[m ³ /h]	2,6	4,8	4,6	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,2	3	2,8
5	[Pa]	630	1680	2050	2230	2410	2530	2760	2950	3170	3390	2490	2910
6	[m ³ /h]	32	32	31	30	29	28	27	26	24	23	21	20
7	[Pa]	1710	1710	1740	1740	1760	1730	1740	1750	1780	1740	1750	1660
8	[l]	1,30	1,25	1,26	1,28	1,30	1,31	1,33	1,36	1,32	1,35	1,31	1,34
9	[m ³ /h]	0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
10	[Pa]	0	0	70	100	180	200	300	380	500	630	750	810
11	[m ³ /h]	0	0	1,5	3	4	5	7	8	10	11	13	14
12	[Pa]	0	0	400	1300	2700	4300	6000	8100	9600	10000	11100	11170
13	[l]	-	-	1,41	1,41	1,25	1,17	1,31	1,25	1,34	1,29	1,36	1,31
14	[°C]	1233	1277	1340	1355	1377	1382	1378	1374	1368	1362	1358	1351
15	[°C]	1195	1213	1278	1302	1305	1309	1304	1296	1288	1272	1268	1257
16	[°C]	1102	1095	1161	1187	1210	1217	1230	1227	1218	1211	1203	1185
17	[°C]	1064	1068	1136	1167	1175	1180	1174	1179	1177	1169	1164	1196
18	[°C]	1012	1016	1078	1113	1133	1139	1139	1139	1136	1131	1129	1117
19	[°C]	630	640	670	690	700	720	720	730	740	730	730	730
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	[Pa]	50	40	50	60	30	40	40	60	60	30	30	60
(Testo)													
23	[t%]	5,3	5,2	4,2	2,4	1,4	0,2	0	0	0	0	0	0
24	[ppm]	2	0	1	903	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
25	[t%]	8,8	9,4	11	11,7	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
26	[ppm]	61	97	91	87	76	63	54	49	43	39	37	35
27	[ppm]	69,9	110,5	97,5	84,2	69,8	54,5	46,3	42,0	36,9	33,4	31,7	30,0
Fix beéptett műszerek + (Testo)													
28	[t%]	5,2	5,2	5,1	5,2	5	5,2	5,1	5	5	5	5	5,1
29	[ppm]	0	0	0	0	0	17	23	32	45	55	71	2000
30	[t%]	10,7	10,9	11	11,1	11,3	11,6	11,7	11,7	11,7	11,8	11,8	11,8
31	[ppm]	59,4	96,1	89,5	83,1	74,6	64,3	59	52,4	45,7	42,3	40,2	32,6
32	[ppm]	67,7	109,5	101,3	94,7	83,9	73,3	66,8	59,0	51,4	47,6	45,2	36,9
33	[kW/h]	25	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
34	[m ³]	2,6	4,8	4,6	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,2	3	2,8
34/b	[m ³]	0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
35	[m ³]	32	32	32,5	33	33	33	34	34	34	34	34	34
36	[l]	1,30	1,25	1,27	1,29	1,29	1,29	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
37	[l]	1,36	1,36	1,35	1,36	1,35	1,36	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
38	[ppm]	59,4	96,1	89,5	83,1	74,6	64,3	59	52,4	45,7	42,3	40,2	32,6
39	[ppm]	67,7	109,5	101,3	94,7	83,9	73,3	66,8	59,0	51,4	47,6	45,2	36,9
40	[mg/m ³]	138,7	224,4	207,7	194,1	172,0	150,2	136,9	120,8	105,4	97,6	92,7	75,7
41	[mg]	3787	6539	5800	5183	4386	3646	3158	2641	2175	1895	1688	1286
42	[mg/kW]	155	267	237	212	179	149	129	108	89	77	69	53
43	[%]	0	0	7,5	13,5	23,3	33,1	39,0	46,2	53,0	56,5	58,7	66,3
44	[%]	0	0	7,5	6,6	11,4	12,7	8,8	11,7	12,8	7,4	5,0	18,4

REBURNING / Kamragáz újraégetés laborkísérletei

Hőntartó mérési sorozat

Dátum: 1999.09.29

Tüzelőanyag: szintetikus kamragáz / (Siad Hungarogáz Kft.)

$T_{\text{bázis}} = 1200-1300$

$n = 1,4$

$O_2 \text{ ur\%} = 6,4$

Fájl kód: 2kam0929

földgáz kamragáz

$F_{\text{számláló}} = 35,69$ 21,37 [MJ/m³]

$F_{\text{mérő}} = 33,94$ 18,35 [MJ/m³]

$L_{\text{számláló}} = 9,5$ 5,33 [m³/m³]

$F_{\text{egén}} = 10,5$ 6,07 [m³/m³]

		0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		földgáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	kamragáz	x	x
1	[h,min]	11:23	11:43	11:47	11:50	11:53	11:57	12:00	12:04	12:08	12:13		
2	[°C]	27,6	27,5	27,7	28	28,1	28,5	28,3	28,4	28,3	28,4		
3	[%]	50	50	51	49	48	51	48	49	47	48		
4	[m ³ /h]	2,6	4,8	4,6	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,2	x	x
5	[Pa]	560	1810	2100	2230	2380	2500	2670	2890	3090	3200		
6	[m ³ /h]	35	35	33	32	31	30	29	27	26	25		
7	[Pa]	2960	2910	2440	2500	2450	2370	2250	2050	1950	1900		
8	[l]	1,42	1,37	1,35	1,36	1,38	1,41	1,43	1,41	1,43	1,47		
9	[m ³ /h]	0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	x	x
10	[Pa]	0	0	70	100	170	240	320	480	570	770		
11	[m ³ /h]	0	0	1,5	3	4	6	7	9	10	12		
12	[Pa]	0	0	300	750	1400	3400	5100	6800	8200	9500		
13	[l]	-	-	1,41	1,41	1,25	1,41	1,31	1,41	1,34	1,41		
14	[°C]	1302	1347	1361	1371	1375	1375	1378	1373	1371	1360	x	x
15	[°C]	1229	1256	1306	1314	1301	1305	1308	1302	1279	1289		
16	[°C]	1127	1134	1187	1209	1222	1230	1231	1235	1224	1212		
17	[°C]	1086	1100	1150	1181	1191	1191	1189	1188	1180	1174		
18	[°C]	1035	1049	1094	1125	1139	1139	1139	1140	1132	1128		
19	[°C]	620	640	640	650	650	650	660	660	670	670		
20	[l]	-	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	közép	x	x
21	[cm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
22	[Pa]	10	30	35	40	35	40	50	45	45	50		
(Testo)													
23	[tP%]	6,2	6,1	4,3	2,1	1,3	0,7	0,1	0	0	0	x	x
24	[ppm]	0	0	8	17	594	2000	2000	2000	2000	2000		
25	[tP%]	8,7	8,9	11,1	11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9		
26	[ppm]	53	84	76	66	57	50	44	37	35	31		
27	[ppm]	64,5	101,5	81,9	62,9	52,1	44,3	37,9	31,7	30,0	26,6		
Fix beépített műszerek + (Testo)													
28	[tP%]	6,4	6,2	6,2	6,3	6,2	6,1	6,1	6,2	6,3	6,2	x	x
29	[ppm]	0	0	0	0	0	0	7	19	25	27		
30	[tP%]	10,3	10,5	10,7	10,9	11,1	11,3	11,5	11,7	11,7	11,8		
31	[ppm]	51,9	81,4	75,6	59,8	56,6	52,6	43,5	39	36,4	33,1		
32	[ppm]	64,0	99,0	91,9	73,2	68,8	63,5	52,6	47,4	44,6	40,3		
x x													
33	[kW/h]	25	24	24	24	24	24	24	24	24	24	x	x
34	[m ³]	2,6	4,8	4,6	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,2		
34/b	[m ³]	0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6		
35	[m ³]	35	35	34,5	35	35	36	36	36	36	37		
36	[l]	1,42	1,37	1,35	1,37	1,37	1,41	1,41	1,41	1,41	1,45		
37	[l]	1,48	1,46	1,46	1,47	1,46	1,45	1,45	1,46	1,47	1,46		
38	[ppm]	51,9	81,4	75,6	59,8	56,6	52,6	43,5	39	36,4	33,1		
39	[ppm]	64,0	99,0	91,9	73,2	68,8	63,5	52,6	47,4	44,6	40,3		
40	[mg/m ³]	131,2	203,0	188,5	150,1	141,1	130,3	107,7	97,2	91,4	82,5		
41	[mg]	3581	5913	5263	4009	3598	3163	2485	2125	1886	1603		
42	[mg/kW]	146	242	215	164	147	129	102	87	77	66		
43	[%]	0	0	7,1	26,0	30,5	35,8	46,9	52,1	55,0	59,3		
44	[%]	0	0	7,1	20,4	6,0	7,7	17,3	9,7	6,0	9,7		