



## Fűtőanyagok katalizált elégetése és alkalmazásának módjai

*A fűtőanyagok láng keletkezése melletti elégetésének egyetlen alternatívája a katalizált égetés (vagy mélyreható oxidálás). A katalizátor kémiai reakciót vált ki, vagy megváltoztatja annak sebességét. Összeállításunk e témakör rendszerezett, módszertani kérdéseket is tárgyaló elemzését célozza, a gyakorlati alkalmazás feltételeit is számba véve.*

---

Tárgyszavak: katalizált égés; lángmentes égetés; katalizált égető erőmű.

---

A fűtőanyagok láng keletkezése melletti elégetésének egyetlen alternatívája a katalizált égetés (vagy mélyreható oxidálás). A katalizátor kémiai reakciót vált ki, vagy megváltoztatja annak sebességét. Bár e módszerrel kapcsolatban Oroszországban (pontosabban akkor a Szovjetunióban) már 1937–39-ben végeztek vizsgálatokat, a fűtőanyagok alacsony ára és az ökológiai problémák akkori kis jelentősége miatt azonban csak a 80'-as évek elejétől fordítottak rá ismét figyelmet. Különösen felerősödött ez azóta, hogy a decentralizált hőszolgáltatás, illetve az önállóan és környezet-

kímélő módon működőképes energiatermelő egységek piacképes fejlesztése is előtérbe került.

Bár az új típusú berendezések károsanyag-kibocsátása alig haladja meg az adott vegyületek környezeti háttérkoncentrációját, alkalmazási területeiket viszonylag kis kapacitásuk (legfeljebb 10–30 MW) korlátozza. Inkább kisebb, különálló lakónegyedek, települések, épületek és ipari létesítmények energiaellátásában, illetve az energetikai rendszerek rekonstrukciójához kapcsolódva lehet előnyösen

alkalmazni ezeket. Moszkvában például több mint 100 kisebb, egyes körzeteket ellátó kazánház működik, amelyeket ki lehetne cserélni katalitikus reakcióval működő berendezésekre – számukra tehát Oroszországban különösen bőven áll rendelkezésre piac. Miután e témában rendszerezett, módszertani kérdéseket is tárgyaló közlemények jelenleg meglehetősen szűkösen állnak rendelkezésre, jelen tanulmány most erre vállalkozik.

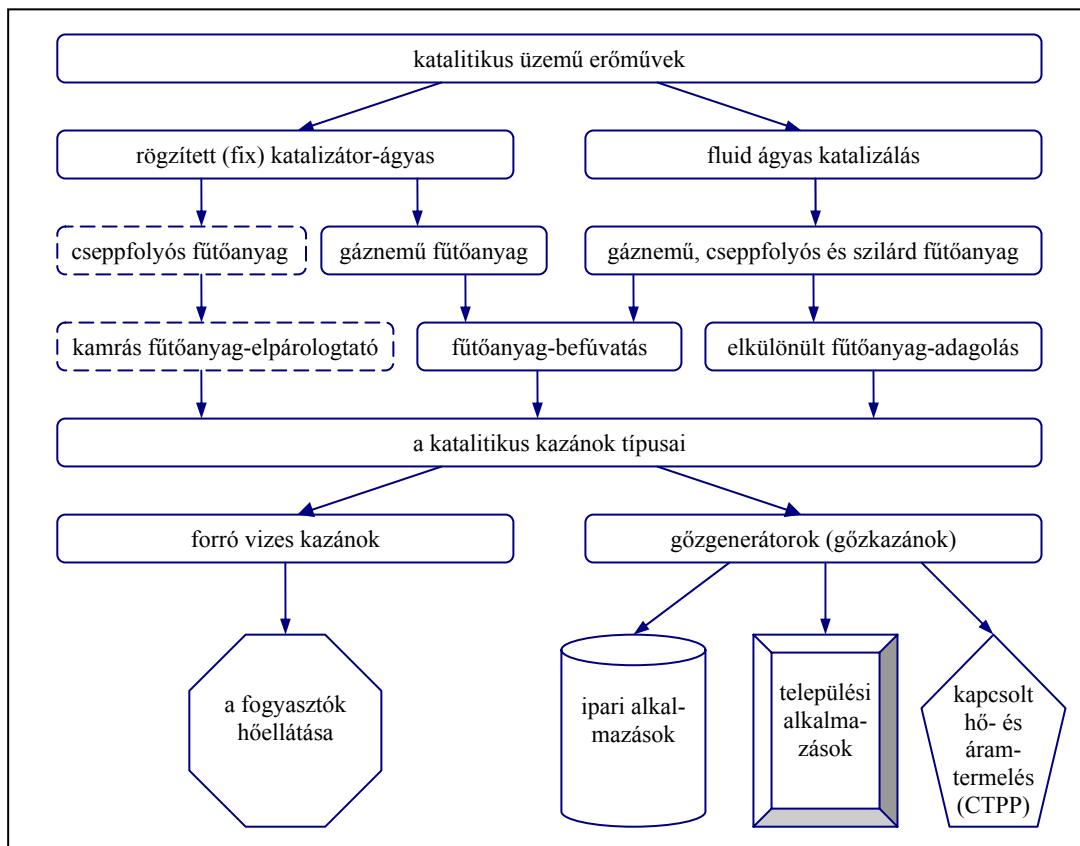
### **A katalizált égés jellemzői**

A jelenleg ismeretes, az égésre hatást gyakoroló több mint 2000 katalizátornak van néhány közös jellemzője: hatásuk csak meghatározott fűtőanyagokra érvényesül, elősegítik az adott kémiai reakciót, befolyásuk csak meghatározott hőmérséklet-tartományban érvényesül, bizonyos anyagok (katalizátor-mérgek) semlegesítik az általuk kifejtett katalizátor-hatást, ez utóbbi nagy reakciófelület esetén hatékony. Mindezek az élő szervezetek esetében szintén jellemzőek – gondoljunk a meghatározott étrendre, az állandó hőmérsékletre, a hő hasznosítására és egyes anyagok mérgező hatásaira. Az erjedés és az oxidáció folyamatainak katalízise ezért sok tekintetben közös jegyekkel jellemezhető. A katalizátorok ugyan részt vesznek a reakcióban, de nem szerepelnek annak termékei között. A biológiai katalizá-

torok figyelemre méltó jellemzője, hogy feladatukat – például a szervezet energiaellátását – viszonylag kis hőmérsékletváltozás ( $\Delta T$ ) mellett látják el. A madarak legmagasabb testhőmérséklete például legfeljebb  $+42,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , miközben növényi eredetű táplálékuk mechanikai energiává alakításának hatásfoka körülbelül 30%.

A fentieket a katalizátoros energiatermelő egységekre alkalmazva megállapítható, hogy hatékony működésükhöz kiterjedt hőelnyelő/sugárzó felületre, például bonyolult csőrendszerekre van szükség. Mindeközben biztosítani kell a füstgázok eltávolítását is (amely funkciót a biológiai rendszerekben a kiválasztás látja el), ezért a hőszugárzó és a hőelnyelő felületek között bizonyos szabad térre van szükség. Mivel az égést katalizáló anyagok legfeljebb  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig hatásosak, az égőfejes kazánokra jellemző  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérséklet-ről itt nem lehet szó. Az ilyen kazánok belső terének nagy hőenergia-sűrűségét ( $q_v$ ) ezért a katalizált reakciófelület megnövelésével érik el, így itt nem is kazánról, sokkal inkább reaktorról van szó. Mindez lehetővé teszi, hogy a hőcserélő közeget standard állapotban, például 40 bar nyomáson és  $440\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on tarthassák.

Mindezen megfontolások együttes figyelembevételével megállapítható, hogy katalitikus



1. ábra A katalitikus üzemű erőművek osztályozása

fűtőberendezésekben akár 98–99%-os termikus hatásfok is elérhető. Feltételezhető tehát, hogy az eljárás környezettisztasága, autonóm működőképessége, valamint az általa használható gyengébb minőségű fűtőanyagok miatt a XXI. században ugyanolyan gyors elterjedésre számíthat, mint amilyen fejlődési pályát a robbanómotoros gépkocsik tettek meg a XX. században. Ami a katalitikus üzemű erőművek osztályozását (1. ábra) illeti, két nagy csoportba sorolhatók: stacionárius (rögzített) katalizátor-réteggel, illetve fluid ágyas katalizátorral működőekre.

### Az egyes katalitikus üzemű erőműtípusok előnyei és hátrányai

A fluid ágyas és a rögzített katalizátorral működő erőművek között a fűtőanyag oxidálásának dinamikájában van a legnagyobb eltérés. Fluid ágyas berendezésekre a kinetikus üzemmód és a katalizátorszemcsék külső felületén lejátszódó oxidáció a jellemző. Az ágyban található szemcsék kaotikus mozgása folyamatos cirkulációt tesz lehetővé az aktív zónában a kazánban lévő katalizátor számára. A szemcsék állandóan ütköznek és kölcsönösen sűrűsödnek.

lódhatnak egymással, ami még szennyezett fűtőanyag esetében is tisztán tartja azok aktív felületét. A fluid ágyas kazánok ezért stabilabban viselkednek az esetleg bekerülő katalizátorméreggel szemben, mivel az ágyban keletkező buborékok hullámzó és rezgő mozgása jó keveredést eredményez a reagensek számára. Az intenzív keveredésnek köszönhetően javul a hőátvezető csövek felé irányuló hőátvitel, a berendezésben cseppfolyós és szilárd fűtőanyagok is elégethetők. Az utóbbi esetben a kazánt fel kell szerelni a fűtőanyagot daraboló és szállító mechanizmusokkal, a katalizátort a hamutól elválasztó készülékkel, valamint a keletkező hamu és zagy kezelésére alkalmas eljárással is.

A fluid ágyas berendezéseknek azonban lényeges hátrányaik is vannak a fixágyas megoldáshoz képest. Mindenekelőtt az, hogy a fluid ágyban egymással óhatatlanul súrlódó szemcsék a katalizátor egy részét elporlasztják, és e por bejuthat a gázrendszerbe is. Bár a por nagy része ciklonnal leválasztható, az 1 mikron körüli méretű részecskék ezen is átjutnak, ezért a füstgázok után megfelelő porleválasztót is be kell iktatni, ami költségesebbé teheti a berendezést. Másodsorban gondot okoz a fluid ágyra jellemző hidrodinamikai instabilitás is, mivel a gáz könnyen magával ragadhatja a katalizátort, és az távozhat a berendezésből. Emiatt igen érzékeny, nehezen karbantartható nyomásszabályozó rendszerekre van szükség.

Mindemellett számolni kell az ágy számottevő aerodinamikai ellenállásával is – 100 mm vastag, 1–1,5 mm átmérőjű részecskékből álló katalizátor fedőréteg kialakításához például a katalizátor szemcseméretétől és sebességétől függően 60–120 mm vízoszlopénak megfelelő nyomáskülönbségre van szükség. Végezetül pedig a fluid ágyas kazánokban a fokozatosan fogyó katalizátort manuálisan vagy gépi úton folyamatosan pótolni szükséges. Egy 1 MW-os forróvízes kazán esetében például a fűtési időnyben napi 2–10 kg katalizátor utántöltésére lehet szükség. Mindeközben a katalizátor anyaga koptatja magát az adott csővezeték is, nem beszélve arról, hogy a ciklonból kikerülő elporolt katalizátort tárolni és kezelni is kell, ami növeli az üzemeltetés kézimunka-igényességét.

A fix katalizátorágyas kazánok technológiája mentes az említett hátrányoktól, ebben az esetben a szénhidrogének elégetésének mértéke, illetve a nem tökéletes égés jelent elsősorban problémát. Emellett meglehetősen bonyolult a katalizátor-ágy cseréje is, amikor a rendszerbe katalizátorméreg kerül, vagy kopás és meghibásodás miatti javításra van szükség. Komoly veszélyt jelent a kazán felrobbanásának lehetősége is, amire a réteg felületének megrepedezése és lokális kiégése esetén kerülhet sor. A fix katalizátor-ágyas kazánok legnagyobb hátránya azonban az, hogy bennük csak gázfázisú fűtőanyagok égethetők. Jelentős megszorításokkal hasz-

nálni lehet tisztított kőolajat is, de ez a fűtőanyag túl költséges. A szennyezőanyagok iszapodást és katalizátormérgezést okozhatnak.

Megkülönböztethetők tehát a katalizátoros égetést alkalmazó kazánok a felhasznált fűtőanyagok szerint is. Fix ágyas berendezésekben a gáznemű fűtőanyagok együtt, összekeveredve haladnak át az égéstéren, míg fluid ágy esetén a reagensek külön-külön is bejuttathatók. Ha fluid ágyas kazánban folyékony fűtőanyagot használnak fel, külön elpárologtató készülék beállítására van szükség.

További tipizálási szempont lehet a kazán felhasználási területe. A forróvízes berendezéseket a fogyasztók – a lakóházakon kívül melegházak és más mezőgazdasági objektumok, raktárak stb. – hőszükségleteinek forró víz általi fedezésére alkalmazzák. A víz hőmérséklete általában 95/70 °C vagy 105/70 °C, de esetenként előfordul +115 °C-os „közvetlen” vízfűtés is. Ezt olyankor alkalmazzák, amikor a rendszer gyakorlatilag nem érintkezik a külső környezettel, és a fogyasztó közvetlen közelében, vagy éppen a pincében/padláson működik.

A gőzgenerátorok már veszélyesebbek a forróvízes kazánoknál, ezért például az oroszországi egészségügyi előírások nem engednek meg a gőzparaméterekre  $p \geq 40 \text{ kg/cm}^2$ , illetve  $t \geq 200 \text{ °C}$  értékeket, kivételt csak a hőerőmű-

vek és más speciális létesítmények jelentenek. Moszkvában még ennél is szigorúbb a szabályozás: a maximumok  $p = 14 \text{ bar}$  és  $t = 180 \text{ °C}$ . Az e határokat meghaladó paraméterekkel üzemelő gőzkazánokat csak külön hatósági engedéllyel lehet telepíteni. Gőzkazánok egyébként ipari célokra (pl. betonkeverés, élelmiszeripar, a Zil Autógyárban), kommunális ellátórendszerekben (pl. lakónegyedekben), illetve kapcsolt hőt is termelő katalitikus üzemű villamos erőműveknél is alkalmazhatók.

A katalizált reakciókra alapozott berendezések esetében általános követelmény, hogy a megfelelő reakcióparamétereket a tervezők még az erőmű részletes megtervezését megelőzően tisztázzák. A háztartási fűtő- és főzőkészülékeket, kiskazánokat ugyanis a katalizátoros technológiára jellemző diffúziós égési mechanizmushoz kell igazítani. Ilyenkor nincs szükség nagyméretű szellőző ventilátorokra, sőt azok esetenként a kéményhatásra támaszkodva el is nagyíthatók a rendszerből, ami egyszerűbb és helytakarékosabb berendezéseket eredményezhet. Ipari aggregátok tervezésénél viszont tanácsosabb kinetikus oxidációs mechanizmust alkalmazni, mivel így nagyobb fajlagos hőtartalom és erőművi kapacitás érhető el. Kinetikus folyamat esetén viszont nagyobb mennyiségben kell elvezetni a reakcióteréből a hőt, ellenkező esetben túlhevülhet, sőt meg is olvadhat a katalizátor.

## A folyamat energetikai diagramja és hőmérsékleti korlátai

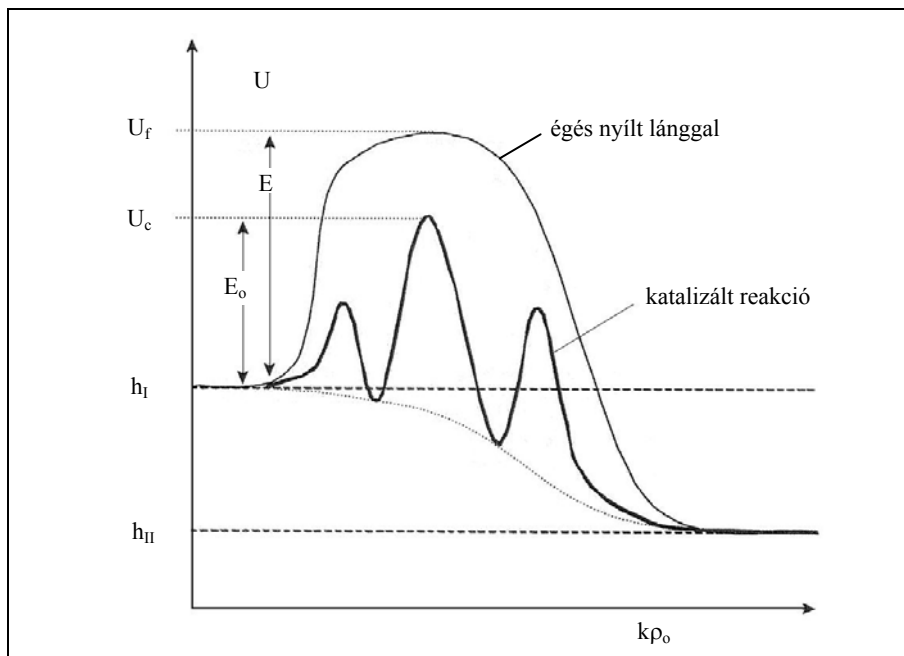
A reagensek entalpiájának kiindulási szintjét  $h_I$ -el jelölve a füstgázba kerülő megfelelő termékek esetében ez az érték  $h_{II}$  lesz – különbségük pedig a reakció (pl. metán elégetése) pozitív termikus hatásának mértékét adja:

$$Q_r = h_I - h_{II} > 0 \quad (1)$$

A rendszer első (I.) állapotából a másodikba (II.) kerüléséhez, a lánggal égéshez azonban bizonyos potenciális energiaküszöb ( $U_f$ ) leküzdésére, kívülről bejuttatott aktivációs energiára ( $E = U_f - h_I$ ) van szükség (2. ábra). E hőmennyiség mechanikus súrlódás (egy gyufa

meggyújtása) vagy elektromosság (szikra) segítségével is előállítható. Kazánokban erre a célra gyújtólángot – kis mennyiségű földgázt – alkalmaznak.

Kvantummechanikai megközelítésben a kívülről közölt energiának el kell szakítania a molekulákon belüli kémiai kötések „X” és „Y” vegyület között, hogy egy „Z” új reakciótermék képződhessen. Lehetséges a fordított irányú átalakulás is, a II. állapotból az I.-be, azonban ehhez nagyobb energiaküszöb ( $U_f - h_{II}$ ) áthidalására van szükség. Amennyiben az ellentétes irányú reakció  $W'$  sebessége zérushoz közelít, úgy a végső reakciósebesség az eredeti irányú reakció sebessége,  $W \rightarrow W'$  lesz.



2. ábra Fűtőanyagok lánggal és anélkül (katalizátorral) lezajló oxidálásának energetikai diagramja

Mivel ezek a megfontolások egyetlen elemi reakcióra vonatkoznak, egy mól fűtőanyagra számítva a megfelelő küszöbérték

$$E = N_A (U_f - h_f),$$

ahol  $N_A = 6,02 \times 10^{26}$  – az Avogadro-szám (2)

Katalitikus reakcióknál sokkal nehezebbnek tűnik az energiaküszöb leküzdése, amihez váltakozó csúcsértékek elérésére van szükség. A legmagasabb érték  $E_o$ , amely megfelel a fűtőanyag gyors oxidációjához szükséges energiamennyiségnek:

$$E_o = N_A (U_k - h_f), E_o \leq E \quad (3)$$

Az energiaküszöböt  $U_f$ -ről  $U_k$ -ra csökkentve az égés alacsonyabb hőmérsékleten, akár 300 °C-on is megvalósítható. Minél aktívabb ugyanis a katalizátor, annál kisebb az energiaküszöb ( $U_k$ ), lánggal való égésnél viszont  $U_f$  csökkentésére nincs lehetőség, ezért a folyamat legalább +1100 °C-ot igényel, ennél alacsonyabb hőmérséklet esetében az égés megszakad.

Az alacsony hőmérsékleten zajló katalitikus oxidáció egyik előnye, hogy a katalizátor és a felhevített csökemence a hőátadó egységgel egy szerkezeti elembe foglalható. A kimutatható mennyiségű nitrogén-oxid keletkezésének küszöbölése mellett további pozitívum a kiemelkedően magas, 98–99%-os termikus hatásfok is. Ugyanakkor, mint később látható lesz, a

mechanikus és az elektromos hatásfokot is beszámítva a ténylegesen elérhető általános hatásfok nem haladja meg itt a 30%-ot. Végezetül figyelembe kell venni azt is, hogy nyílt láng hiányában megnő az ilyen készülékek üzembiztonsága is. Ha viszont a fűtőanyagba kezelése vagy szállítása során akár kis mennyiségben is a katalizátor működését gátló szennyezőanyagok („mérgek”) kerülnek, a katalizátor aktivitása jelentős mértékben lecsökken. Az üzemanyagok oktánszámának növelésére hozzáadott ólomtetraetil például katasztrofális mértékben lerontja a katalizátor működését. Szervetlen szennyező anyagok esetében e káros hatás koncentrációjuk arányában lineárisan változik (*ld. a 3. ábrát*). A katalizátormérgek hatása erősen szelektív – egyeseknél például a kén katasztrofális hatású, mások működését viszont nem rontja le számottevő mértékben.

Felmerülhet a kérdés, hogy milyen hőmérséklet-tartományban lehet katalizátorokat alkalmazni, és adott hőmérsékleten, például +700 °C-on mennyi időre van szükség a fűtőanyag-részecskék teljes oxidálásához. E kérdésre válasz a katalizátor jellegének, illetve a Mengyelejev-féle periódusos rendszerben való elhelyezkedésének ismeretében adható. Katalizátorként itt általában átmeneti elemek vagy oxidjaik használatosak. Néhány katalizátorra vonatkozóan aktivitásukat illetően a következő rangsor állítható össze:

Pt<sup>(III)</sup>>Ir>Co>Cr>La>Ni>Cu>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>SiO<sub>2</sub>

Az ebben a listában szereplő kémiai elemek által alkotott vegyületek itt nem szerepelnek. Számos katalizátor esetében egyébként alkalmazásuk hőmérsékleti korlátait kísérleti úton határozzák meg, összetételüket pedig a gyártók rendszerint titokban tartják. Ismeretes például, hogy irídium-alapú katalizátorok +350 °C fölött nem használhatók, ruténium és lantán esetében pedig 400 °C ez a határ. A fenti listából a legmagasabb üzemi hőmérsékletű katalizátorok közé a Pt<sup>(III)</sup> (+700 °C-ig), a króm (+800 °C-ig) és a  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (+950 °C-ig) sorolható, míg az alsó hőmérsékleti tartomány a konkrét anyagtól függően 150–300 °C lehet. Az említett katalizátorok alkalmazása során a megfelelő hőmérséklet kiválasztásához az 1. táblázat adatai nyújthatnak segítséget. Ezen kívül figyelembe kell venni az adott katalizátor dörzsölési kopását, a hordozóhoz való tapadását, árát és piaci elérhetőségét is.

1. táblázat  
Katalizátorok alkalmazásának hőmérséklet tartományai

Katalizátor típus	Hőmérséklet tartomány, °C	Megjegyzések
Pt <sup>III</sup>	300– 700	–
Ir	250– 350	–
Co	560– 850	–
Cr	580– 870	oxid formájában is felhasználható
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	630– 950	–
SiO <sub>2</sub>	650–1050	hordozóként kémiailag semleges viselkedésű anyag szolgál

A katalitikus berendezésekben a fűtőanyag elégetésének teljes időtartama az alábbi összegből adódik:

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{\text{mix}} + \tau_{\text{h}} + \tau_{\text{x}} + \tau_{\text{decomp}} \quad (4)$$

ahol  $\tau_{\text{mix}}$  a keveredési,  $\tau_{\text{h}}$  a felmelegedési,  $\tau_{\text{x}}$  a kémiai reakció,  $\tau_{\text{decomp}}$  pedig a pirolitikus bomláshoz szükséges idő.

Katalizált reakcióknál a kémiai reakció a következő három fázisból adódik: adszorpció (a molekulák tapadása a szilárd felülethez), közvetlen oxidáció és deszorpció. Az időtartamot itt főként az adszorpció és a deszorpció határozza meg. A reakcióidő megnövekedése kedvezőtlenül befolyásolja a reakció kinetikáját, és nem teljes égéshez vezet. Változatlan adszorpciós állapot esetén a deszorpció erősen függ a reakciótermékeknek a katalizátor felülete közelében mért koncentrációjától és a hőmérséklettől.

Biológiai deszorpcióra jól ismert példa a CO<sub>2</sub> eltávolítása a szervezetből. A tüdő felületén lejátszódó katalitikus gázcserére diffúziós mechanizmussal kerül sor. A tüdőhólyagocskák felületénél még elfogadható maximális CO<sub>2</sub>-koncentráció 4%, de ha a külső levegőben a koncentráció eléri az 1,5–2,0%-ot, ez már nehezebb légzéshez vezet, ha pedig a belélegzett levegőben a szén-dioxid koncentrációja meghaladja a 3%-ot, beáll a halál.

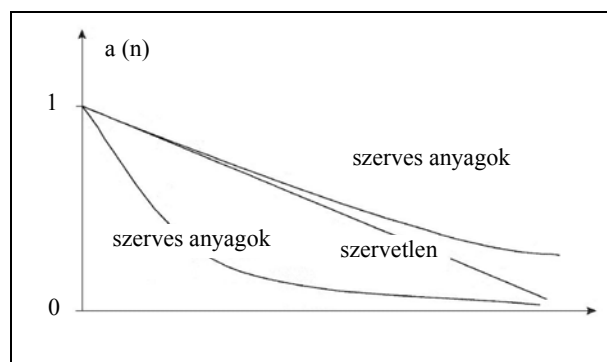


Lánggal égés esetén a folyamat egyidejűleg diffúziós és kinetikus mechanizmus szerint megy végbe. A reakcióidő nagyobb részét a fűvókából kiáramló fűtőanyag-levegő keverék alacsony hőmérséklet és kellő mennyiségű oxidálószer melletti, kis sebességgel történő oxidációja adja. Az égéstér közepe felé, majd tovább haladva a hőmérséklet emelkedik, az oxidálóanyag relatív mennyisége pedig csökken, behatárolva a kinetikus reakció sebességét. E problémát a bemenő reagensek recirkulált hővel való felmelegítésével próbálják enyhíteni.

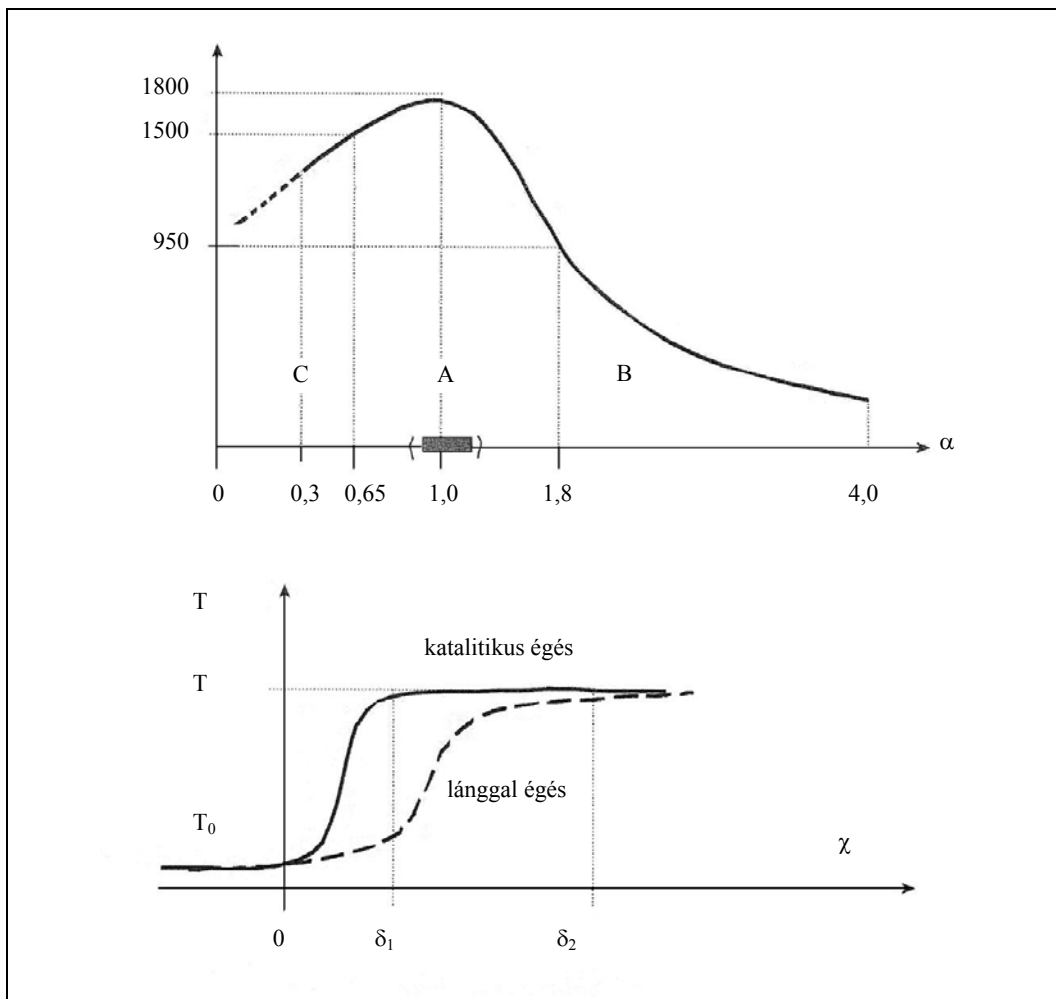
Bár katalitikus folyamat esetében  $\tau_h$  az adszorpció/deszorpció miatt nyilvánvalóan megnő, az oxidációs folyamat a reaktor rendkívül rövid, a konkrét típustól függően 0,1–1,5 mm-es szakaszán megy végbe – szemben az ugyanolyan kapacitású lánggal üzemelő berendezés 3–15 cm-es reakciótartományával. Nem kis mértékben csökkenti a katalitikus reakció idejét, hogy itt a reagensek gyakorlatilag molekuláris szinten előzetesen összekeveredve juttathatóak a reakciótérbe, míg lánggal égésnél a turbulencia csak durva összekeveredést tesz lehetővé. Csökkenti a katalitikus reakció időtartamát az is, hogy a reagenseket 200–300 °C-ra előmelegítve vezetik a rendszerbe, ahol csak kismértékű, gyorsabban végbemenő további felmelegítésre van szükség 700–800 °C-ig.

Mint ismeretes, 1 m<sup>3</sup> metán elégetéséhez 10 m<sup>3</sup> (valójában 9,5 m<sup>3</sup>) levegő szükséges – ezt

az égést nevezik sztöchiometrikusnak, amikor főlegesen levegő nincs jelen (a levegőfőleg-állandó:  $\alpha = 1$ ). Elméletileg ilyenkor a hőmérséklet csak a fűtőanyag típusától és fűtőértékétől függ (adiabatikus hőmérséklet). Földgáznál  $t_{ad} = 2000$  °C, szén esetében pedig minőségétől függően 1600–1800 °C. A bevezetett levegő mennyisége és  $\alpha$  növelésével a keverék felhígul, ami lassítja az égést és a hőmérséklet csökkenését eredményezi. Hasonló jelenség játszódik le  $\alpha$  csökkentésével is (dús keverék). Ezen kívül kisebb  $\alpha$ -nál a szénvesztesség és a szénhidrogének, illetve a fűtőanyag-gázokban jelenlévő más káros anyagok koncentrációja megnő. Metán esetében az égés  $\alpha \leq 0,65$ , illetve  $\alpha \geq 1,8$  esetében egyaránt leáll. Katalitikus üzemű berendezéseknél viszont e tartomány jóval nagyobb:  $\alpha = 0,3$ -tól  $\alpha = 4$ -ig, sőt ennél is tovább terjed. Nyílt lángú égés tehát csak az A-tartományban lehetséges (4. ábra), míg katalizált folyamatnál a teljes berendezés – A, B és C – is kihasználható, miközben nem fenyeget a keverék öngyulladás és a berendezés felrobbanása sem.



3. ábra Különböző katalizátorméreg hatása a katalizátor aktivitására



4. ábra Összefüggés a  $T_\infty$  adiabatikus hőmérséklet és az  $\alpha$  levegőfölösleg között, az égéstér különböző szakaszaiban metán elégetésénél

A katalizátor működési hőmérséklete a fűtőspirál hűtésével, hőárnyékolók beépítésével stb. csökkenthető. Amennyiben jelentős levegőtöbblet mellett (B-zóna) működik a berendezés, a katalizátorréteg közvetlen hűtésére nincs is szükség. Célszerű a berendezésben ezt a szakaszt különálló izotermikus felületeket képezve kialakítani, növelve a berendezés teljesítményét, és ilyen módon is szabályozva a hőigénybevételt. Problémát okozhat a katalizá-

torszemcsék klinkeresedése (kiégése), amit bordázott csövek alkalmazásával lehet elkerülni. Hibás konstrukció esetén a katalizátorszemcsék belseje akár 1400–1500 °C-ig is felhevülhet, ami először a katalizátor belső kapillárisai, majd az egész anyag megolvadását eredményezheti. Fluid ágyas berendezéseknél a reakcióterben a hőenergia-sűrűség elérheti az 1750 kW/m<sup>3</sup>-t, fix ágyas készülékeknél pedig a 350 kW/m<sup>2</sup>-t – az utóbbi eset-

ben ugyanis a fajlagos hőterhelést a katalizátor-réteg felületességéhez viszonyítják.

A katalitikus berendezések fontos előnye, hogy a fűtőanyag oxidációja kapcsán keletkező nitrogén-oxidok és más szennyezőanyagok mennyisége akár több százszor is kisebb, mint lánggal égető technológia esetében, és a szennyezőanyagok kibocsátása megfelelő konstrukciós megoldások alkalmazásával optimalizálható [3].

**Összeállította: Dr. Balog Károly**

## Irodalom

- [1] Polivoda, F. A.; Kabakov, V. I.: Catalytic combustion of fuels and existing ways for its implementation. = International Journal Global Energy Issues, 22. k. 1. sz. 2004. p. 1–6.
- [2] Polivoda, F. A.; Kabakov, V. I.: Some theoretical fundamentals of catalytic fuel combustion. = International Journal Global Energy Issues, 22. k. 1. sz. 2004. p. 7–18.
- [1] Polivoda, F. A.; Kabakov, V. I.: Kinetics of forming the nitrogen oxides and other harmful substances in catalytic power plants. = International Journal Global Energy Issues, 22. k. 1. sz. 2004. p. 71–77.

## Kíváncsi Ön mások raktárára?



Vagy ellátási láncára?  
Járműpark-irányítására? Ergonómiájára?  
Targoncáira? Beszállítói hálózatára?  
Azonosítási rendszerére?  
Információtechnológiájára?  
Állványrendszerére? Klaszterére?  
Csomagolására?  
Készletezési filozófiájára?  
Termelésirányítására? Konferenciáira?  
Kontrollingjára? Elosztó központjára?  
Logisztikai oktatására? Kiállításaira?  
Csomaglogisztikájára? Árukövetésére?  
Járattervezésére?  
**Logisztikájára?**

**Nyolcvan oldal logisztika - tudományos igényességgel.  
Azoknak, akik nem érik be egy magazinnal.**

**BME OMIKK**



**LOGISZTIKA**

1/45-75-322 [logisztika@info.omikk.bme.hu](mailto:logisztika@info.omikk.bme.hu)