

Tartalom

Bevezetés	3
1. Irodalmi áttekintés	5
1.1. A műanyagok kémiai újrahasznosítása	5
1.2. A termolízis technológiák elve	6
1.2.1. Elgázosító módszerek	12
1.2.2. Kommunális hulladék és műanyag termolízise	19
1.3. Katalikus pirolízis	22
2. A projekt keretében megvalósult termolízis üzem bemutatása	24
2.1. Üzem kialakítás körülményei	24
2.2. Az alkalmazott technológia bemutatása	25
2.2.1. A beépítésre került egységek bemutatása	26
2.2.2. A KDV 2x250 technológia általános bemutatása	32
2.2.3. Általános technológiai leírás	36
2.3. Az alkalmazott mérőeszközök bemutatása	45
2.4. A felhasznált alapanyagok és a keletkezett végtermék jellemzői	48
2.4.1. A felhasznált alapanyagok jellemzése	48
2.4.2. A keletkezett anyagok jellemzése	52
2.4.3. A technológia anyagmérlege	54
3. A technológia újdonságtartalma	56
3.1. Az újszerű RB-s technológia megoldásai	56
3.2. Inertizálás folyamata	59
3.3. A keletkezett végtermék gyakorlati alkalmazhatósága az iparban	61
3.3.1. Dízel-motor hatásági előírások összehasonlítása	61
3.3.2. Traktor dízelmotor kipufogógáz emissziós vizsgálatok	64
3.3.3. Dízel-motorok motorikus vizsgálata	69
3.3.4. Motorvizsgálati eredmények és kiértékelésük	75
Fékpadi mérések eredménye és kiértékelése gázolaj és műanyagolaj esetén	76
Motor indikálás mérési eredményei és kiértékelése gázolaj és műanyagolaj esetén	79
Emissziós értékek mérési eredményei és kiértékelése gázolaj és műanyagolaj esetén	81
Változtatott műszaki paraméterek hatása a belsőégésű motor tulajdonságaira	82
3.4. Az új technológia illeszkedése a környezetbe	88
4. További fejlesztési lehetőségek, javaslatok	89

Összefoglalás	90
Felhasznált irodalom	92
Bevezetés	

Katalitikus De-polimerizációs erőmű alkalmas az egyéb úton nem használható, műanyag termékek, melléktermékek – például komposztálási hulladék tárolására használt polietilén zsákok – újrahasznosítására. Az eljárás különös gondot fordít a károsanyag- és a szén-dioxid kibocsátás minimalizálására. A feldolgozás eredményeként a szilárd alapanyagból egy folyékony szénhidrogén keverék jön létre. A termikus hőbontás eredményeként keletkező anyagok, mint energiahordozók további energetikai célú hasznosításra egy igen költséghatékony és környezetkímélő megoldás. Az előállított végtermék alkalmas üzemanyagként vagy tüzelőanyag történő felhasználásra. További lehetséges felhasználási módok a vegyipari alapanyagként történő értékesítés, illetve a frakcionálás. Az alkalmazott technológia minden tekintetben megfelel a hatályos Európai Unió szabályozás követelményrendszerének.

A termo-katalitikus műanyag feldolgozó eljárás zárt rendszerben, 260-380°C közötti hőmérsékleten, levegőtől hermetikusan elzárt térben zajlik. A berendezés reaktorterében atmoszferikus nyomáson az alapanyag megolvad, majd forrásnak indul, a folyamatosan adagolt katalizátor felületén a szénatomok megkötődnek. Az anyag rendezett rácsszerkezete felbomlik, megtörténik a szénatomláncok közötti kötések törése, azaz a polimer degradáció. A folyamat eredményeként új anyagi jellemzőkkel bíró, egyenes szénláncú, könnyű frakciókat túlsúlyban tartalmazó szénhidrogén keverék keletkezik.

A telepített berendezés kialakításából adódóan alkalmas akár folyamatos üzemű technológia kiszolgálására. A két azonos kapacitású reaktortér a beadagolást követően, megfelelő ütemben indítva képes biztosítani a folyamatosan érkező – napi maximum 10 tonna – alapanyag ártalmatlanítását, újrahasznosítását.

A termolízis üzem működtetése egyszerű és biztonságos. A technológiailag indokolt helyeken szabványos érzékelők elhelyezésével és azok adatainak rögzítésével a teljes folyamat monitorozható. A beépített mérőeszközöknek köszönhetően a teljes technológiai folyamat, nyomon követhetővé válik és rendelkezésre állnak a megfelelő dokumentációs eljáráshoz szükséges alapadatok.

A létesített termolízis üzem újszerű „robbanásbiztos” kialakításának köszönhetően számtalan eddig nem engedélyezett helyre telepíthetővé válik. Az új szemléletmódnak köszönhetően kibővül a technológia felhasználhatóságának lehetősége.

A „tartósan tömített” gépelemek alkalmazásával az üzembiztonság növelésével és új monitoring pontok kialakításával az alap konstrukció módosításával, új távlatok nyílnak meg a technológia gyakorlati alkalmazhatóságának terén. A forgó tengelyek tömítésének adaptált kialakítása és a vízzárral ellátott kötések nem csak az üzembiztonság szempontjából nagy jelentőségűek, hanem az üzemi környezetben dolgozó kezelőszemélyzet humán egészségügyi védelmét is szolgálja.

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Az üzemeltetés és működtetés során szerzett tapasztalatok és mérések alapján az üzemben keletkezett pirolízis olaj fizikai paraméterei könnyebben megfelelnek a környezetvédelmi előírásoknak.

Az üzemben keletkezett „műanyag olaj” mérési eredmények alapján alkalmas belsőégésű motorok működtetésére. A motor beállításainak változtatásával a tengelyen leadott teljesítmény optimalizálható, illetve az emissziós értékek az elfogadott nemzetközi normák alatt tarthatók.

Vizsgálatok alapján elmondható, hogy a termolízis üzemben keletkező „műanyag olaj” felhasználható stabil üzemű villamos áram termelésre alkalmas csúcserőmű működtetésére is.

A helyben megtermelt és helyben felhasznált/értékesített villamos energia nemcsak a telepített rendszer hatásfokát javítja, de a környező vállalkozások üzemeltetésbiztonságát is nagymértékben növeli.

A helyben keletkező és hőcserélők útján hasznosítható, illetve értékesíthető hő energia szintén a telepített rendszer hatásfokát javítja.

1. Irodalmi áttekintés

1.1. A műanyagok kémiai újrahasznosítása

A kondenzációs polimerek (pl.: PET) és a poliuretánok esetében leggyakrabban alkalmazott kémiai újrahasznosítási eljárások a hidrolízis, metanolízis, ammonolízis. Az addíciós polimerek (pl.: PE, PP, PS, PVC), valamint kevert műanyagok esetében a depolimerizáció, elgázosítás, hidrokrakkolás vagy katalitikus krakkolás a legkézenfekvőbb.

A kémiai újrahasznosítás lehetőséget nyújt:

- monomer- és/vagy oligomer-visszanyerésre,
- a hulladék műanyagok vegyipari alapanyaggá, vagy egyéb értékes anyaggá alakítására,
- energia visszanyerésére fűtőanyaggá alakítás révén.

A kémiai újrahasznosítás hátránya, hogy csak nagy mennyiségű hulladék műanyag feldolgozásával (pl.: 50000 tonna/év), vagy különböző támogatásokkal lehet gazdaságossá tenni. A különféle műanyagok kémiai újrahasznosításának lehetőségeit világszerte kutatják és bár számos nehézség áll még a megvalósítás útjában, sok helyen dolgoznak annak megvalósíthatósága érdekében.

A folyamat szempontjából a depolimerizáció hőmérséklete és a felfűtés sebessége meghatározó paraméterek, mivel a nagy hőmérséklet ($> 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) és gyors felfűtés elősegíti a kötések felhasadását és a kis molekulák képződésének kedvez. A kis hőmérsékletű depolimerizáció ($< 400\text{ }^{\circ}\text{C}$) a viszkózus termékek és a szilárd maradék nagyobb mennyiségű képződését eredményezi. A legtöbb műanyag esetében kb. $250\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ körül indul meg hőbontás.

Dr. Szirmai Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A depolimerizáció időtartamának beállítása minden esetben a kívánt termékösszetétel és a depolimerizáció hőmérsékletének figyelembevételével történik. A hosszú tartózkodási idő kedvez az elsődleges bomlástermékek másodlagos termékekké történő átalakulásának, valamint a termikusan stabil vegyületek képződésének (H_2 , CH_4 , aromás vegyületek, szén, koks, kátrány).

A reaktor típusa technológiai szempontból igen fontos, hiszen meghatározza a hőátadás és a keverés minőségét, a betáplálási mennyiséget, a gáz és folyadékfázis tartózkodási idejét, valamint az elsődleges bomlástermékek távozását. Az alkalmazott KDV-2x250 technológia esetében egy forgókemencés reaktort alkalmazunk.

A műanyagokat felépítő kémiai elemek a folyamat alatt három termékfázisában különböző mennyiségben és formában jelennek meg (pl.: a szén koks formájában a szilárd fázisban dúsul fel), ezért a műanyagok kémiai összetételének nagy jelentősége van az elsődleges depolimerizációs termékek minőségére nézve. (Természetesen másodlagos reakciók is lejátszódnak a depolimerizáció során, melynek eredményeképpen az elsődlegesen képződő bomlástermékek még stabilabb vegyületekké alakulnak.) A makromolekulák kémiai szerkezete a bomlás mechanizmusát szabja meg.

A hetero-atomokat (oxigén, nitrogén, klór, bróm, fluor) és hetero-atomos szerves vegyületek, adalékokat (pl.: víz, ammónia, HCN , HCl , HBr , Br_2 , HF) tartalmazó műanyagok depolimerizációja során nemkívánatos melléktermékek megjelenésével kell számolni, melyeket többek között katalizátorokkal el lehet távolítani a rendszerből.

A műanyagok katalitikus depolimerizációja az elmúlt években egyre inkább a figyelem középpontjába került. A katalitikus depolimerizáció során a katalizátort a betáplált alapanyaghoz, vagy annak olvadékához keverik. A katalizátorral szemben követelmény, hogy a betáplált műanyag hulladék heterogenitása és az adalékok ne befolyásolják nagymértékben a katalizátor aktivitását, továbbá a többszöri regenerálás megvalósítható legyen az eljárás során. A katalizátorok és a depolimerizáció paramétereinek (reaktor típusa, hőmérséklet, tartózkodási idő, a betáplált műanyag összetétele) helyes megválasztásával az értékes vegyületek és vegyipari alapanyagok szelektív kinyerése, továbbá a veszélyes és környezetkárosító vegyületek eliminálása megvalósítható.

A műanyagok katalitikus depolimerizációjának gyakorlati szempontból legfontosabb célja a fűtő- vagy üzemanyag (benzin, kerozin, dízel olaj) kinyerése. A katalitikus depolimerizáció előnyei a műanyagok termikus hőbontással szemben:

- kevesebb energiaigény, gyorsabban végbenő reakciók,
- szabályozott termékösszetétel (pl. szűk forráspont-tartományú olaj) biztosítható,
- a nemkívánatos vegyületek képződése és/vagy a termékek közé jutása meggátolható,

A katalizátorok alkalmazásának azonban nehézségei, korlátai és hátrányai is vannak:

Dr. Szirmai Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

- a műanyagok heterogén jellege jelentős mértékben gátolhatja a katalizátorok sikeres alkalmazását,
- egyes nitrogén- és kéntartalmú vegyületek, továbbá néhány adalék katalizátorméregként hatnak és nagymértékben csökkentik a katalizátorok aktivitását,
- a katalizátorok alkalmazása, regenerálása vagy cseréje drágítja az eljárást.

1.2. A termolízis technológiák elve

A hőbontás (pirolízis) a szerves anyagú hulladék megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény vagy oxigénmentes közegben – esetleg inert gáz (pl. nitrogén) bevezetés közben –, szabályozott körülmények között bekövetkező kémiai lebontása.

A hőbontás során a szerves hulladékból:

- pirolízis gáz,
- folyékony termék (olaj, kátrány, szerves savakat tartalmazó bomlási víz),
- szilárd végtermék (pirolízis koks) keletkeznek.

Ezek összetétele, aránya és mennyisége a kezelt hulladék összetételétől, a reaktor üzemi viszonyaitól és szerkezeti megoldásától függ. A végtermék elsősorban energiahordozóként (fűtőgáz, tüzelőolaj, koks), ritkábban vegyipari másodnyersanyagként (pl. a gázterméket szintézisgázzá konvertálva metanol előállításához) és esetenként egyéb célokra (talajjavítás szilárd, szénben dús maradékkal; fakonzerválás vizes maradékkal; granulált salakolvadék építőipari adalékanyagként stb.) hasznosítható.

A hőbontás során döntőek a kémiai átalakulás reakció-feltételei. Ide tartoznak elsősorban a hőmérséklet, a felfűtési idő és a reakcióidő, továbbá a szemcse-, ill. darabnagyság és az átkeveredés mértéke, hatékonysága. A végtermék összetételének és részarányának alapvető meghatározója a hőmérséklet. A hőátadástól függ a felfűtési sebesség, amely szintén hat a termékek összetételére. Az alkalmazott hőmérséklet-tartomány általában 450–550°C, azonban egyes eljárások ennél nagyobb hőmérsékleten is üzemelnek.

A reaktorok a fűtési mód szerint lehetnek:

- közvetett (reaktorfalon keresztül, ill. cirkulációs közeg segítségével) és
- közvetlen fűtési megoldásúak.

A közvetlen fűtésű reaktorokban a pirolízis és a hőenergiát szolgáltató parciális égés közös térben megy végbe. A reaktorfalon keresztüli hőközlés egyrészt rossz hatásfokú, másrészt az ilyen reaktorok érzékenyek a tűzálló falazat minőségére, viszont egyszerű üzemeltetésűek és jól

Dr. Szirmai Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

szabályozhatók. A cirkulációs közegű hőátadás jó hatásfokú, ellenben bonyolultabb az üzemeltetése.

A legjobb hőátadási viszonyok a közvetlen fűtési módszerrel érhetők el, viszont ilyenkor megnő a gáztermékek szén-dioxid-, víz- és nitrogén-oxid tartalma és körülményesebb a folyamatszabályozás is. A reaktorban feldolgozott anyag és a pirolízis gázok egymáshoz viszonyított áramlási iránya szerint megkülönböztetünk egyen-, ellen- és keresztáramú eljárásokat. Az áramlási irány lényeges a gáztisztítás bonyolultsága szempontjából.

A hulladék hőbontására négyféle reaktortípus használatos:

- vertikális vagy aknás reaktorok,
- horizontális fix reaktorok,
- forgódobos reaktorok és
- fluidizációs reaktorok.

A szilárd maradékok a vízfürdős leválasztást követően különbözőképpen dolgozhatók fel (szervetlen maradékok elkülönítése után aktívszén előállítás, közvetlen elégetése stb.).

A gáz- és gőzállapotú termékek leválasztására és tisztítására a legkülönbözőbb gáztisztítási és gáz-gáz szétválasztási módszereket és kombinációikat (pl. ciklonokat, elektro filtereket, gázmosókat, utánégető kamrákat, krakkoló reaktorokat) alkalmazzák. A hőbontás legnagyobb előnye, hogy termékei értékesíthető alifás és aromás szénhidrogének, továbbá légszennyező hatása jelentősen kisebb, mint a hulladékégetése. Hátránya ugyanakkor a fokozott anyag előkészítési igény, valamint, hogy főként a kisebb hőmérsékletű eljárásokban a gáztisztítás összetettebb és komplikáltabb, és eközben keletkező, többnyire erősen szennyezett mosóvizet is komplex módon tisztítani kell.

Hátrányos továbbá, hogy az égetéshez képest nagyobb a lehetősége a nehezen bomló, nem tökéletes égéstermékek képződésének. A hőbontási eljárások fejlesztése folyamatban van. A költségek az égetéshez hasonlóak, esetenként az üzemeltetési költségek a végtermékek kedvező értékesítése következtében fedezhetők is.

A gyakorlatban azok az eljárások terjedtek először, amelyeket viszonylag homogén ipari hulladékok (pl. műanyag- és gumihulladék, savgyanta stb.) kezelésére fejlesztettek ki.

A települési és az egészségügyi veszélyes hulladék kezelésében az „áttörést”

- a redukatív és oxidatív eljárás soros összekapcsolása,
- a pirolízis menetét (oxigénadagolást) befolyásoló folyamatirányítási rendszerek kifejlesztése és alkalmazása jelentette.

A szabályozott termikus oxidáción alapuló pirolízis technológia lényege, hogy

Dr. Szirmai Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

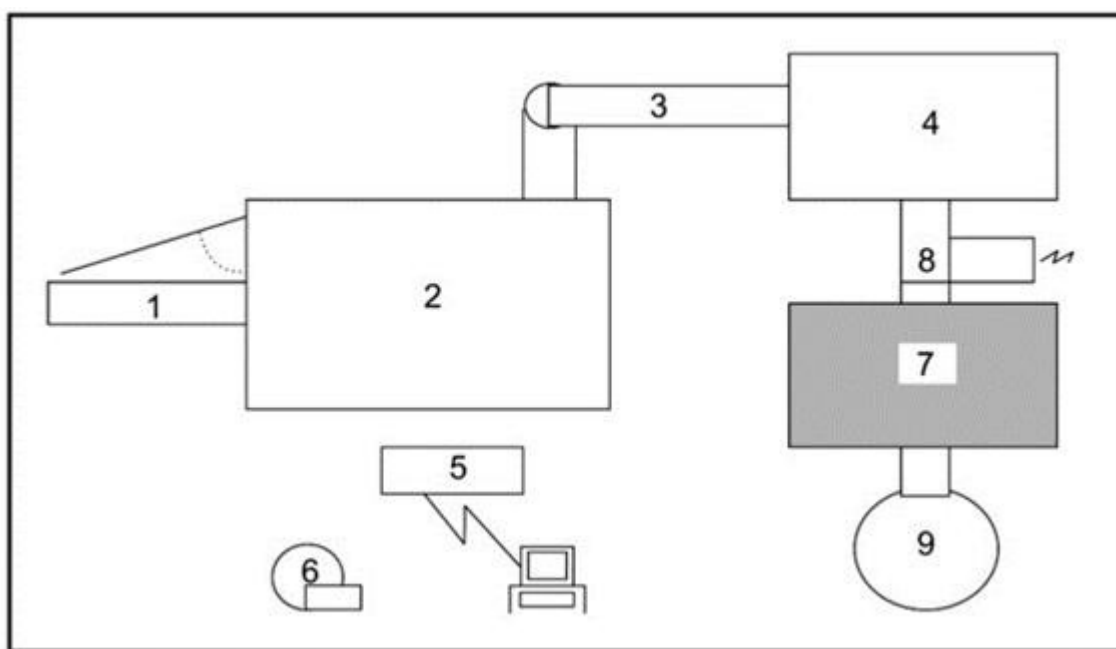
- az első kamrában oxigénmentes körülmények között, a szilárd hulladékot alkotó szénvegyületek gázfázisúvá alakulnak át,
- a második kamrában (az ún. utánégetőben) a gáz levegővel turbulens áramlással keveredik, ezáltal magasabb hőmérsékletet elérve, biztosítja a lehetséges veszélyes anyagok teljes ártalmatlanítását,
- a termikus folyamat különböző paramétereit betápláljuk egy számítógépes folyamatirányító rendszerbe, mely képes az ártalmatlanítási folyamat korrekcióját adott időközön belül megvalósítani.

A fenti elvet a gyakorlatban megvalósító ECO-WASTE rendszer felépítése szemléletű. A jelenlegi adatok alapján 1 tonna háztartási hulladék pirolízise során 100–120 kWh energia visszanyerésével lehet számolni.

A pirolízis-technika előzőekben ismertetett előnye, a tökéletesebb lebontás és a füstgáztisztító hatékony működése következtében mára a berendezések a legszigorúbb EPA, EU illetve hazai levegőtisztaság-védelmi előírásoknak is megfelelnek.

Az eljárás végterméke a salak, hamu már nem tartalmaz toxikus kioldható anyagokat, így külföldön ez az anyag minden megkötöttség nélkül lerakható (akár települési hulladékkal együtt.) Hazai alkalmazás esetén minősítő vizsgálatok szükségesek, de III. osztályú minősítés esetén pl. takaróföldként szintén elhelyezhető.

Összességében az ECO-WASTE szabályozott termikus oxidáció (pirolízis) anyagmérlege kedvezőnek mondható, rendkívül lecsökkentve a továbbkezelendő anyagmennyiséget, a környezetvédelmi határértékek betartása és energiahasznosítás mellett. (1.1. ábra)



1.1. ábra

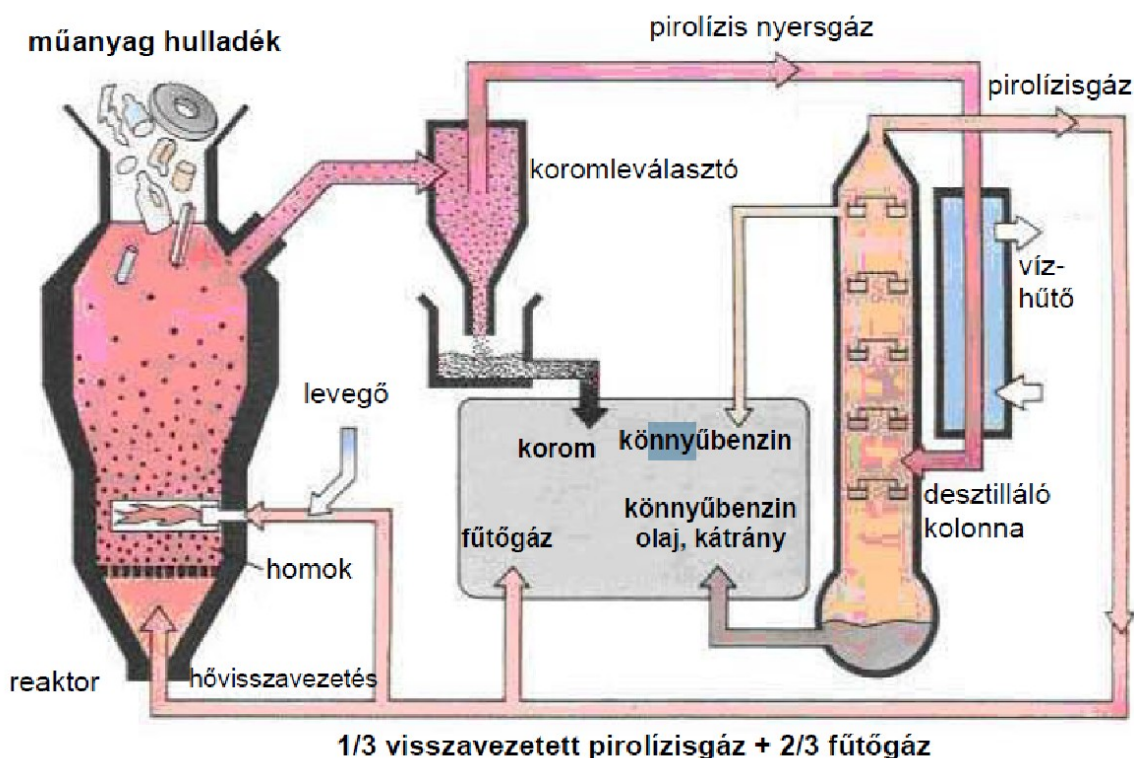
Az ECO-VASTE SOLITION pirolízis rendszer elvi technológiája

1. hulladékadagoló; 2. biolízis kamra; 3. gázvezető összekötő; 4. utóégető kamra;
5. submatikus szabályozó rendszer; 6. ipari vákuum rendszer; 7. füstgáztisztító;
8. energia visszanyerő; 9. kémény

Az ismertetett elven működő pirolízis berendezések ma már elterjedten alkalmazottak külföldön kistérségi, helyi települési és egészségügyi hulladékkezelési feladatok megoldására.

A technológia környezetvédelmi előnyei mellett a továbbiak is jelentkeznek:

- az egyes berendezések modul rendszerben összekapcsolhatók, a kapacitástartomány elérése mellett,
- a technológia szakaszosságából jelentkező hátrány több kamra párhuzamos – soros működésével kiküszöbölhető,
- a berendezések alkalmazása lehetővé teszi a komplex hulladékgazdálkodást, előzetes válogatás csatlakoztatásával



1.2. ábra

A pirolízis rendszer általános felépítése

A ma már elterjedten alkalmazott rendszerek felépítése a 1.2. ábra szerint a következő:

A hulladék adagolása

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A hulladék adagolása kétféle műszaki megoldással lehetséges:

- az első esetben a hulladékot egy kis markolóval egy tömörítő-etető garatba helyezzük, mely egy hidraulika segítségével a pirolíziskamrába tolja,
- a második esetben a hulladékot egy emelő-serlegbe helyezzük, melyet hidraulikus úton a pirolíziskamra felső részén, tömörítés nélkül táplál be.

Pirolíziskamra

Az első kamrában megy végbe a hulladék pirolízise, mely eredményeképpen a hulladék gázfázisra és szilárd maradéokra válik szét. Az előkamrát négyszögletes acélpanelek alkotják, az ajtót és a falakat kerámiabetétekkel szigeteljük, belül depressziós tűztérnyomást alkalmazunk. A hulladék meggyújtása és a segédtüzelés gázégőkkel történik, a kamra hőmérsékletét egy vezérlőszervezet 0-tól 1000°C-ig képes szabályozni.

Gázvezető és összekötő egység

Az egység funkcionális kapcsolatot nyújt az elő kamra és az utóégető között.

Utóégető rendszer (szekunder kamra)

Ebben az összekevert füstgáz és levegő nagy turbulenciájú intenzív oxidálása történik meg a minimum 2 másodperc tartózkodási idő mellett, ahol egy hőmérsékletről és emissziós értékről szabályozott égő biztosítja a szükséges 850–1150°C -ot. Az oxidáció gáz- vagy olaj-segédtüzeléssel történik.

Automatikus Szabályozó Rendszer

A rendszer feladata a technológiai paraméterek folyamatos vezérlésű optimalizálása részint a hőmérséklet, részint a füstgázösszetétel és egyéb tényezők szerint.

Ipari Hamu Vákuum Rendszer

Az egyes ciklusok végén a visszamaradó hamu eltávolítása egy magas nyomású, ipari vákuumtisztítóval történik.

Füstgázkezelő rendszer

A termikus oxidáló rendszerek esetében az a tapasztalat, hogy a dioxinok és furánok, SO_x, NO_x, keletkezése, a nehézfémek elpárolgása szignifikánsan alatta van a hagyományos égető berendezések szintjeinek, ugyanakkor a nedves leválasztó (scrubber) biztosít jó hatásfokú leválasztást.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Vízszintes „permetező kamra”

- a füstgázból a szennyező gázokat két, párhuzamosan kapcsolt szűrőközeggel elválasztott rekeszben folyamatosan cirkuláltatott és szabályozott pH-jú lúgos mosófolyadékkal abszorbeáltatjuk,
- a füstgázban jelen lévő szilárd részecskék a nedvesített falú, speciális műanyag szálú szűrőközegen fennakadva leválnak,
- a harmadik fokozat szűrőbetétje tovább javítja a leválasztást a gázáram szárításával, cseppmentesítésével.

A mosófolyadék újrafelhasználása és újrafeltöltő berendezése

A rendszerben folyamatosan cirkulál a mosófolyadék, melynek egy része a szennyvízkezelőbe kerül.

Szennyvízkezelő

A füstgázmosó szennyvizéből leválasztja a toxikus fémeket és egyéb szennyezőket, hogy a tisztított szennyvíz elérje az adott határértékeket.

Füstgázventilátor

A tisztított gáz 80–82°C hőmérsékleten távozik a füstgáztisztító kamrából a kéményen keresztül, a ventilátor segítségével.

Energia visszanyerő és átalakító rendszer

A füstgáz hőenergia-tartalmát hőcserélővel hasznosítjuk, a hőlépcsők segítségével gőzt állítunk elő. A hőcserélőben fejlesztett gőzzel meghajtunk egy kis turbinát, és a keletkező villamos energiát a hálózatba visszatápláljuk. A kondenzátum hőtartalmát másodlagos energetikai célra (pl.: kertészeti kultúra) hasznosíthatjuk.

1.2.1. Elgázosító módszerek

A hőbontási eljárások különleges típusát képviselik az elgázosítási módszerek, melyeknél a szerves anyagok hőbontása min. 850–950°C hőmérsékleten (max. 1600–1700°C hőmérsékletárig), segédanyagok – levegő, oxigén, vízgőz – segítségével megy végbe, a lehető legnagyobb gázkihozatal érdekében. Az elgázosításhoz szükséges energiát a szerves anyagok parciális égetése biztosítja. A gáztermék döntően hidrogént és szén-monoxidot tartalmaz, fűtőértéke jelentősen az

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

alacsony hőmérsékletű pirolízisgáz fűtőértéke alatt marad (levegővel történő elgázosításkor átlagosan 5000 kJ/m³, oxigénnel történő elgázosításkor átlagosan 10000 kJ/m³).

Az alkalmazott elgázosító reaktorok szilárd ágyas, fluid ágyas és áramlásos rendszerűek. A gáztisztításra a pirolízises módszereknél említett komplex tisztítási eljárások alkalmazottak. A gáztermék energetikai hasznosításra kerül, amennyiben szintézis gázfelhasználásra van mód, akkor az elgázosító segédanyagként oxigént kell alkalmazni és nyomás alatti üzemelés szükséges (pl. metanol előállításnál). Ez azonban csak a vegyipari vagy petrokémiai üzemekben gazdaságos.

Az elgázosítási eljárások intenzív fejlesztése az elmúlt évtized során felgyorsult, az alábbi előnyök miatt:

- kisebb, tisztítandó gázmennyiségek,
- a nagy molekulájú szénhidrogének, főként az ártalmas klórtartalmú vegyületek nagy hőmérsékletű lebontása a dioxinok és furánok redukáló atmoszférával gátolt képződésével,
- üvegszerű salak granulátum előállításával (nehézfémek megkötésével) a szilárd maradékok másodlagos környezetszennyező hatásának minimalizálása, egyúttal könnyebben hasznosítható végtermék kinyerése (hasonlóan a salak-olvasztásos égetéshez),
- a tiszta gáztermék előállítása, amely sokoldalúan (energianyerés, szintézisgáz) hasznosítható.

Az eredményes fejlesztési eljárásokból itt csak az üzemi megvalósítás alatt álló négy legjellemzőbb technológia rövid ismertetésére szorítkozunk. (Siemens-eljárás, Lurgi-eljárás, Noell-eljárás, Thermoselect-eljárás).

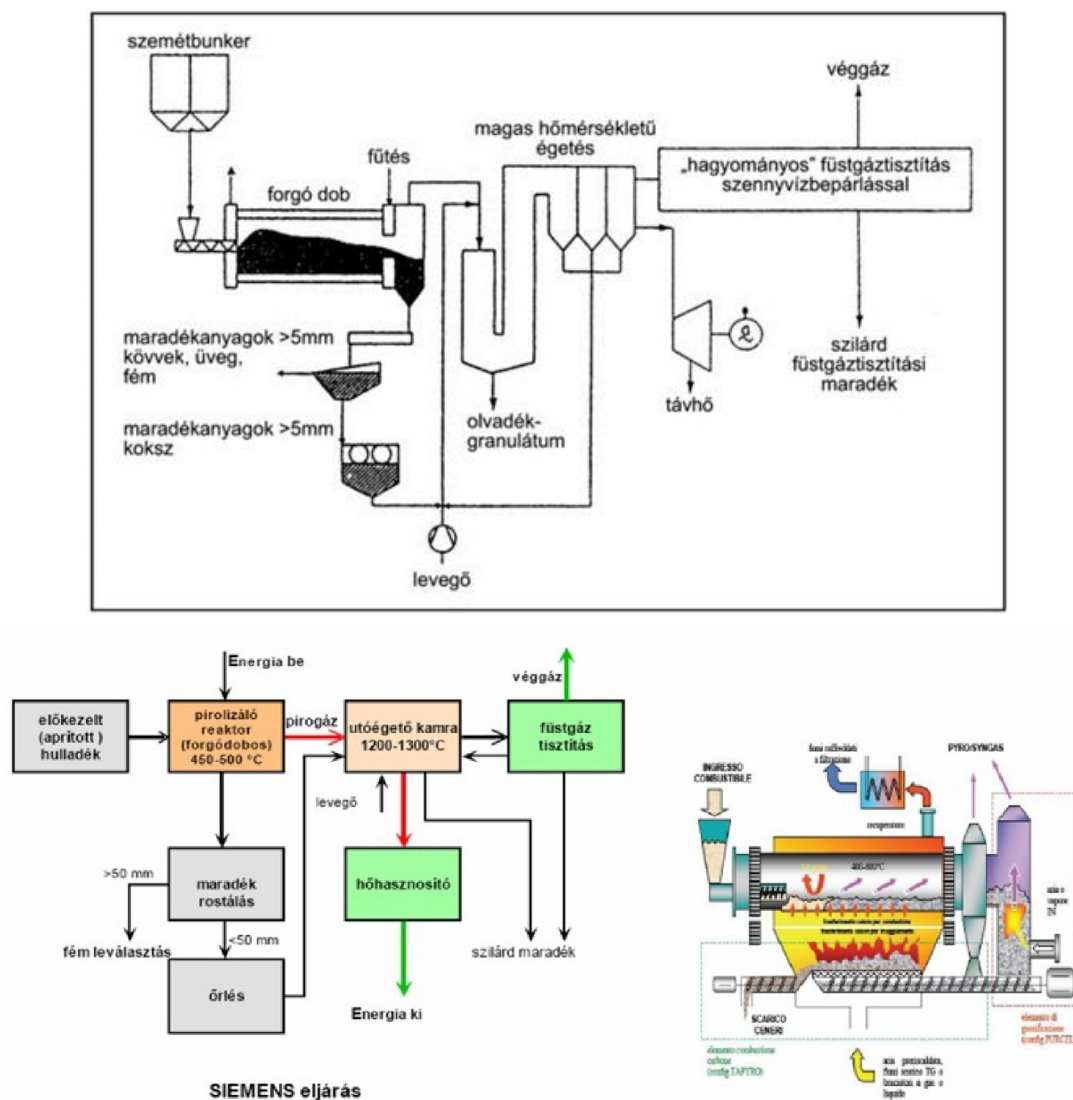
Az eljárások gyakorlatilag többfokozatú termikus hulladékkezelést valósítanak meg, így biztosítani tudják az egyes részfolyamatok jobb szabályozhatóságát és az előzetes és köztes válogatással az inert anyagok mennyiségének csökkentését. A Siemens és a Lurgi-eljárásoknál a gázfázis tökéletes kiégetése a berendezésben megy végbe, míg a másik kettő olyan gázt állít elő, amely a tulajdonképpeni hulladékkezelő berendezésen kívül is elégethető.

Siemens-eljárás

A Siemens által kifejlesztett eljárás a pirolízis és az azt követő nagy hőmérsékletű égetés kombinációja. A 150–200 mm-re aprított szilárd települési és ipari hulladékot közvetett fűtésű forgó dombkemencében 450–500°C hőmérsékleten pirolizálják, majd az így előállított pirolízis gázokat további kezelés nélkül közvetlenül a nagy hőmérsékletű – kb. 1300°C-on dolgozó – égetőkamrába vezetik. A szilárd pirolízis maradékot rostálják, a fémeket leválasztják. A tapasztalat szerint az 5 mm-nél kisebb részek gyakorlatilag az egész izzítási kokszot tartalmazzák. Ezt megőrlik és szintén

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

a nagy hőmérsékletű égetőkamrába vezetik. Itt égetik el a véggáz tisztításból származó szálló port és elhasznált adszorbenst is.



1.3. ábra
A Siemens-eljárás sémája

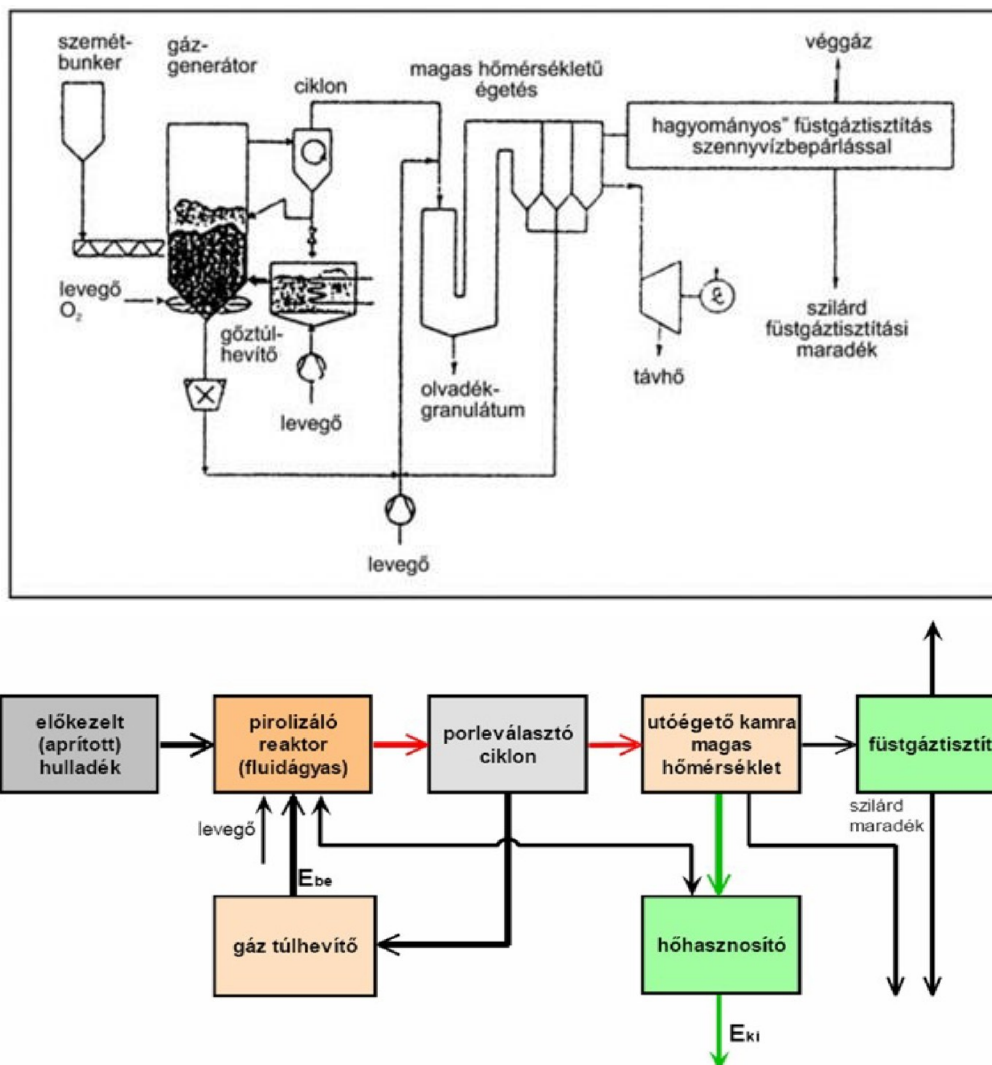
A hő hasznosítást követően (gőz-, ill. áramtermelés) a füstgázt a hulladékégetőkhöz hasonló komplex rendszerben tisztítják. A salakolvadékot vízfürdős hűtést követően tárolják ki. Nagy előnye a hagyományos égetéssel szemben, hogy a gáz és a finomra őrölt pirolízis kokszt elégetése az égetőkamrában alacsony (20–30%) léghélesleggel történik. (1.3. ábra)

Lurgi-eljárás

A Lurgi-eljárás (WIKONEX) az előzőtől főként az előző, termikus feltáró egységben különbözik, ahol cirkuláló fluidágyas kemencét alkalmaznak. A pirolízishez szükséges energiát a gáz és a

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

pirolízis kokszt részleges elégetésével biztosítják, a fluid ágy tehát önálló elgázosítóként működik. A keringtetett fluidizáló közeget olyan fűtőágy felett vezetik, amelyben a hő hasznosító kazánban előállított gőzt túlhevítik (hatásfoknövelés). A fűtőágyat az égetési levegővel fluidizálják és így az égetés véggáza nem okoz klórkorróziót. A gáz-és szilárd szén kiégetése, valamint a véggáz tisztítása az előző eljáráshoz hasonló. (1.4. ábra)



LURGI eljárás

1.4. ábra

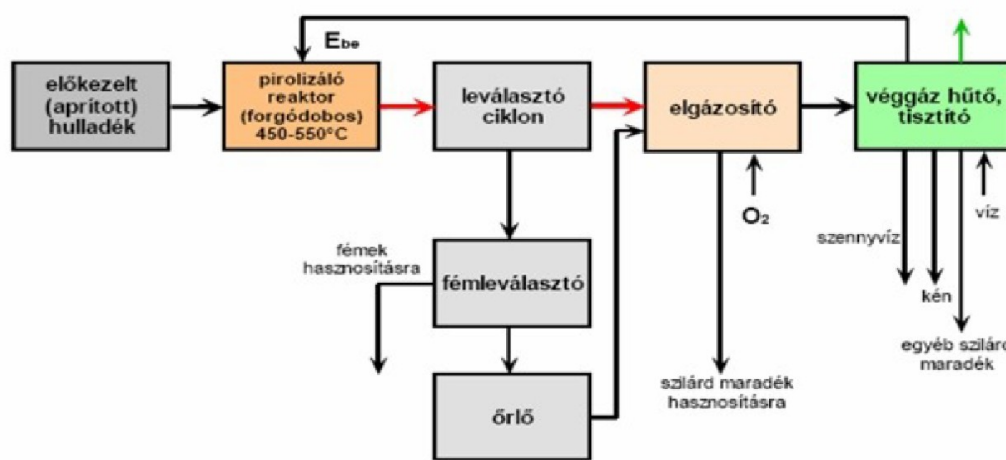
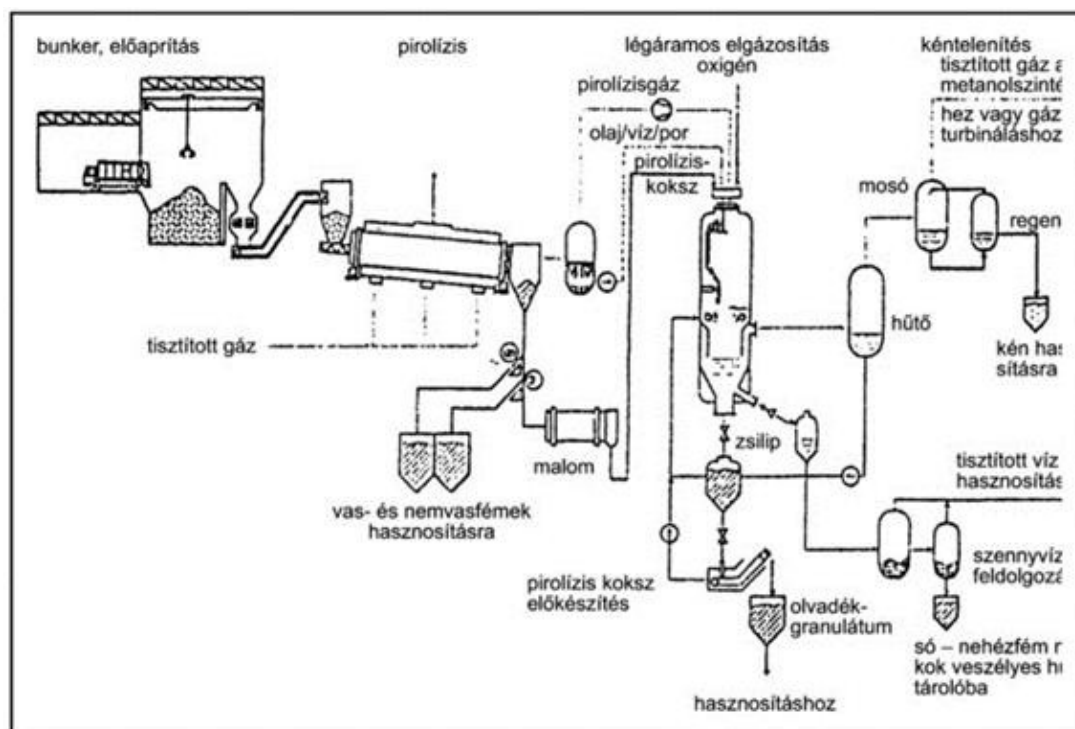
A Lurgi-eljárás sémája

Noell-féle eljárás

A Noell-féle konverziós eljárásban a szilárd hulladék termikus feltárása közvetetten fűtött forgódobos reaktorban, aprítás után, 450–550°C-on történik. A pirolízis kokszt szárazon hűtik, a fémtartalmát leválasztják, majd őrlést követően az áramlásos rendszerű elgázosító reaktorba

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

vezetik. A pirolízisgázokat gyors hűtéssel hűtik, a kondenzálható szénhidrogéneket leválasztják és a reaktorba vezetik. A pirolízis összes maradékanyaga elgázosításra kerül.



NOELL eljárás

A pirolízis gázokat hűtik, a kondenzálható szénhidrogéneket leválasztják.

A gázokat hűtik, tisztítják

A gáztisztításból különböző célra hasznosítható tisztított gázt nyernek.

1.5. ábra
A Noell-eljárás sémája

Az áramlásos gázosítóban oxigén felhasználásával parciális oxidáció megy végbe, salakolvasztási hőmérsékleten, 2–35bar túlnyomás mellett. A véggázt hűtik, tisztítják. A hűtővízzel előtisztított gáz alacsony hőmérsékletű gőzhasznosítás mellett hűl le és a gáztisztító berendezésben szabadul meg a kéntartalmától, a kinyert elemi kén értékesíthető. A szilárd olvadék vízfürdőben kerül lehűtésre és

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

további hasznosításra. A gáztisztító szennyvize a nyersgáz szennyezéseinek nagy részét tartalmazza, ezért az oldott gázoktól és szilárd részekről elválasztják, elgőzölik. A további gázhűtésből származó vizes kondenzátumot a gázmosóban újra felhasználgják. A gáztisztításból különböző célra hasznosítható tisztított gázt nyernek.

Thermoselect-eljárás

A Thermoselect-eljárás technológiai lépései a hulladék tömörítése, pirolízis (gáztalanítás), elgázosítás és nagy hőmérsékletű égetés. Alapvetően szilárd települési és ipari hulladékok kezelésére dolgozták ki. A települési hulladék előkezelés (aprítás) nélkül feldolgozható a berendezésben. A hulladék heterogén összetétele miatt a kezelés első lépése a hulladék tömörítése. Ezt követi a levegő kizárása és állandó nyomás mellett, közvetetten fűtött pirolizáló csatornában a kigázosítás vagy pirolízis 500–600°C hőmérsékleten, majd folyamatosan az elgázosítás tiszta oxigénnel 1200°C hőmérséklet feletti tartományban. A megolvadt szervesetlen alkotórészek homogenizálva, stabil vegyületekben kötődnek meg, amelynek további hasznosítása kedvező (építési és kohászati alapanyag). A nagy hőmérsékletű elgázosítás során valamennyi szerves anyag elbomlik, a képződő szintézisgáz lényegében hidrogénből, szén-monoxidból és vízgőzből tevődik össze, kis mennyiségű szilárd és gáznemű szennyező tartalommal. A gáz tisztítása a szokásos módon, több fokozatban történik.

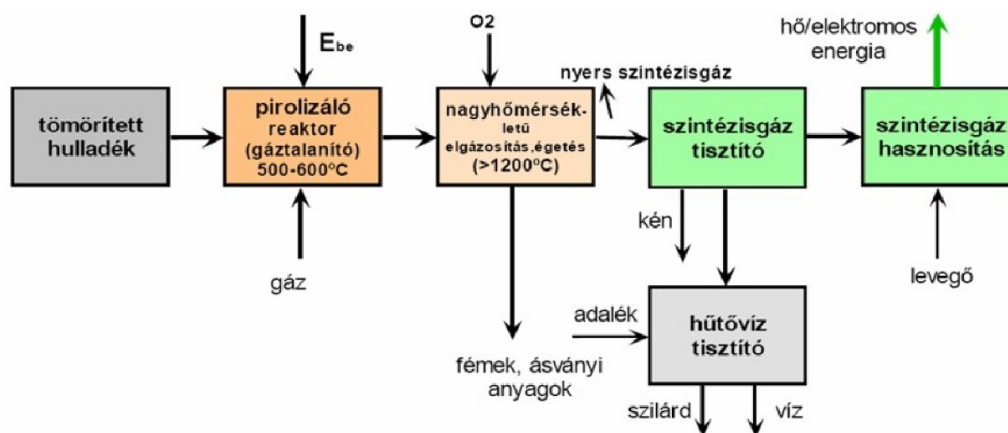
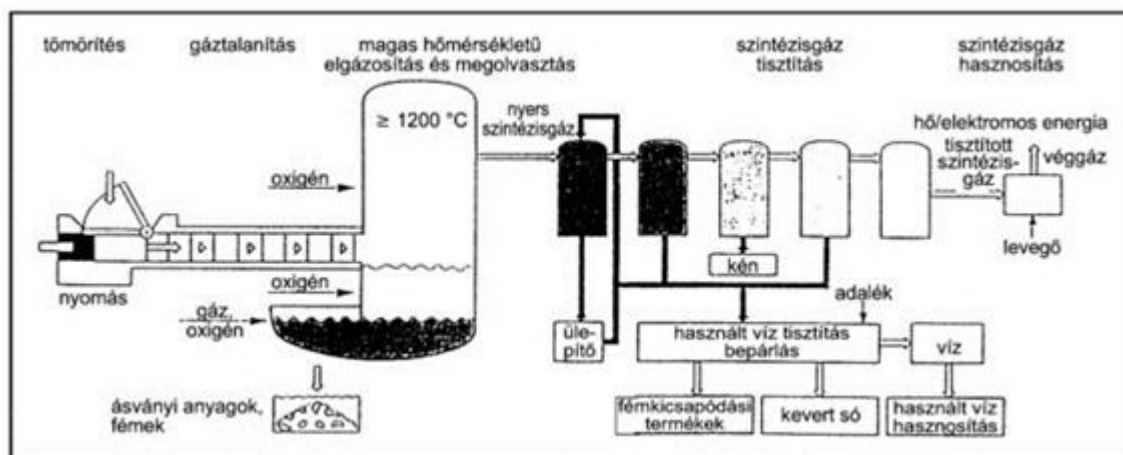
Az első lépés egy gyors hűtés (dioxin és furán vegyületek rekombinációjának megakadályozása), majd a kis mennyiségű szilárd szennyezést leválasztják és a termikus folyamatba visszavezetik. A gáz alakú szennyezőket mosással távolítják el, a kén-hidrogén eltávolítás speciális folyamatban történik, elemi kén leválasztásával.

Ezt követően a gázt hűtőben szárítják, majd aktív szemes szűrőben tisztítják. A gáztisztításból származó kondenzátumokat és szennyvizet szennyvízkezelő egység tisztítja. A folyamatban felhasznált vízből fordított ozmózissal és bepárlással kristályosított sókeveréket leválasztják. A gáztisztítás nem jár szennyvíz kibocsátással.

A tisztított gáz korlátlanul hasznosítható saját felhasználásra (pirolizáló csatorna fűtése, elgázosító reaktorba) vagy külső gőz, elektromos energia előállítására. Az a tény, hogy nem a füstgázból származó latens hőt, hanem kémiaiilag kötött energiát használnak fel, lehetővé teszi a magas hatásfokú energiahasznosítást. (1.6. ábra)

A röviden ismertetett fontosabb elgázosítási eljárások az égetés és a hőbontás előnyeit kombinálva, a másodlagos környezetszennyező hatásokat minimalizálva, a korszerű hulladékégetőkhöz hasonló beruházási és üzemeltetési költségekkel a jövő alternatív eljárásainak tekinthetők a szilárd hulladékok termikus kezelésében a már kiforrott égetéses technológiával szemben.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



THERMOSELECT eljárás

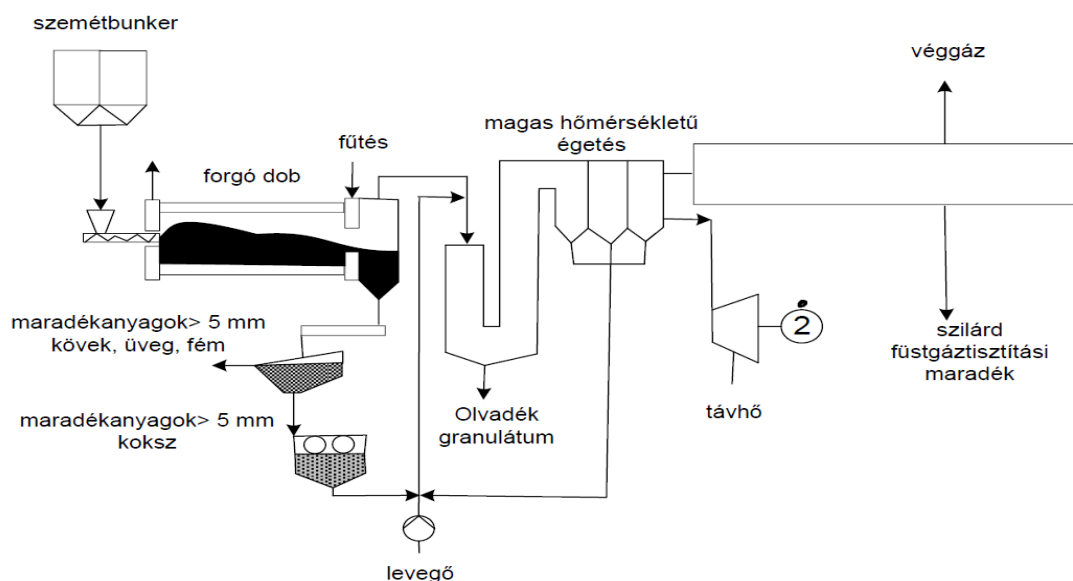
A nagyhőmérsékletű elgázosítás során az összes szerves anyag elbomlik, O_2
A gáz tisztítása a szokásos módon, több fokozatban történik.
A tisztított gáz hasznosítható

1.6. ábra

A Thermoselect-eljárás sémája

Schwel-Brenn eljárás

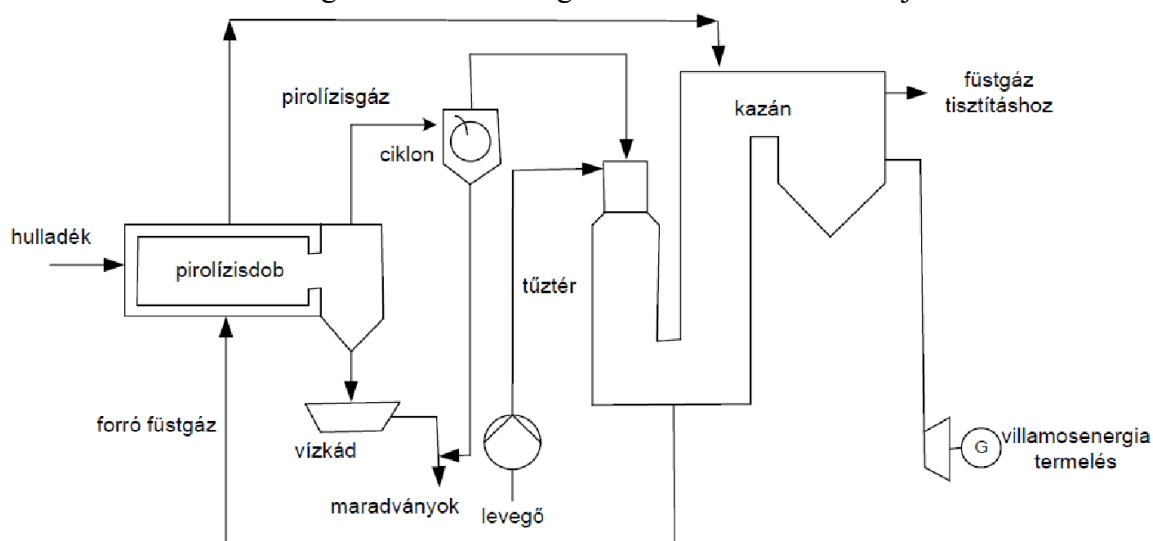
A **Schwel-Brenn** módszer során az aprított hulladékot a köpenyoldalról indirekt módon fűtött forgó dobba vezetik, ahol megtörténik a kiszáradás és a kigázosodás. A pirolízis kb. 450°C-on megy végbe, miközben pirolízis gáz ún. svélgáz keletkezik. Ezt a gázt közvetlenül a nagy hőmérsékletű égetőkamrába vezetik. A keletkezett szilárd maradékot osztályozzák, a fémeket leválasztják belőle. A finom frakció, melynek mérete kisebb, mint 5 mm, az izzítási kokszot tartalmazza, így ezt a svélgázzal együtt a nagy hőmérsékletű tüztérbe vezetik. A tüztér aljáról vezetik el az olvadékot, majd granulálják. A kazánban előállított hő energetikai célra felhasználható. A tüztérrel elhagyó füstgáz hagyományos füstgázkezelésre kerül. Egy tüztérhez több pirolízis dobba lehet használni. A dobok fűtése megoldható villamos fűtéssel vagy földgáz felhasználásával. (1.7. ábra)



1.7. ábra
Schwel-Brenn eljárás sémája

Babcock-eljárás

A pirolízises eljárások egy másik elterjedten alkalmazott módszere az ún. Babcock-eljárás. (1.8. ábra) Ennél a technológiánál az aprított hulladékot a forgó dobba vezetik, ahol $450\text{--}500^{\circ}\text{C}$ -on történik a kiszáradás és a kigázosodás. A hulladékhoz meszet adnak, hogy a gáz savas részeit megkössék. A pirolízis dobát elhagyó maradék vízkádas salakkihordóból kerül deponálásra. A dobban keletkezett forró pirolízis gázt ciklonba vezetik, ahol a gázzal elragadott szilárd anyagokat leválasztják. A szilárd anyagok a salakkal együtt deponálóba jutnak. A ciklont elhagyó gázokat kb. 1200°C -on elégetik. A forró füstgáz egy részét használják fel a dob fűtésére. A hőhasznosító gőzkazánban kb. 250°C -ra hűtik le a füstgázt, melyet azután a szokásos módon füstgáztisztításra vezetnek. A kazánban termelt gőzt villamos energia termelésre hasznosíthatják.



1.8. ábra

Babcock-eljárás

1.2.2. Kommunális hulladék és műanyag termolízise

Kommunális hulladékok termolízise

A szilárd települési hulladékok ártalmatlanításának világszerte és így hazánkban is leggyakrabban alkalmazott módszere a talajon vagy talajban történő rendezett lerakás.

A jelenleg is tapasztalható rendezetlen állapot felváltásában fokozatos előrelépést figyelhetünk meg úgy a regionális megoldások, mint a korszerű természetes és műszaki védelem alkalmazása mellett.

A rendezett lerakás hazai alkalmazásának elterjedésében két tényező:

- az alacsony beruházási és üzemeltetési költségek,
- a jelenlegi támogatási rendszer jelent komoly meghatározó szerepet.

A folyamatosan változó támogatási rendszereken rövid időtávon belül változtatni kellene, mert így az egyébként környezetvédelmi szempontból előnyös termikus eljárások nincsenek „versenyhelyzetben”. ugyanakkor a sokat hangoztatott EU-irányelvek is támogatják a termikus eljárások (így a pirolízis) alkalmazását:

- a hulladék által elfoglalt területek csökkentése, illetve véges lehetősége,
- a hulladék energetikai hasznosításának előnye miatt.

A pirolízis technológia a termikus ártalmatlanítási eljárások legdinamikusabban fejlődő területe, mely a kezdeti környezetvédelmi-technológiai problémákat komoly fejlesztési háttérrel megoldva, ma már teljes körű megoldást tud nyújtani a települési hulladékok kezelésében. A technológia elve régóta közismert és más területen alkalmazott hazánkban is (pl. szénégetők, kokszelektálás stb.).

A termikus eljárásokat két nagy csoportra osztjuk:

- oxidatív lebontás sztöchiometrikus vagy többszörös oxigén (levegő) adagolásával (égetés),
- redukatív lebontás a sztöchiometrikus aránynál kisebb oxigén biztosításával vagy annak teljes kizárása mellett (pirolízis).

A technológia anyagáramát általánosságban a következő input-output jellemzi:

A pirolízis technika előzőekben ismertetett előnye, a tökéletesebb lebontás és a füstgáztisztító hatékony működése következtében ma már a berendezések a legszigorúbb EPA, EU, illetve hazai levegőtisztaság-védelmi előírásoknak is megfelelnek.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Az eljárás végterméke a salak, hamu már nem tartalmaz toxikus kioldható anyagokat, így külföldön ez az anyag minden megkötöttség nélkül lerakható (akár települési hulladékkal együtt). Hazai alkalmazás esetén minősítő vizsgálatok szükségesek, de III. osztályú minősítés esetén, pl. takaróföldként szintén elhelyezhető.

Összességében a pirolízis technika anyagmérlege rendkívül kedvezőnek mondható:

- rendkívül lecsökkentve a továbbkezelendő anyagmennyiséget,
- a környezetvédelmi határértékek betartása és
- energiahasznosítás mellett.

Műanyag hulladékok termolízise

A pirolízis inert (oxigénmentes) atmoszférában történő hőbontást jelent. Bár a magyar ipari terminológiában (főként a petrolkémiaiában) megkülönböztetnek termikus krackeljárásokat (400-500 °C), középhőmérsékletű pirolízist (800-900 °C) és nagy hőmérsékletű pirolízist (1200 °C felett), itt a „pirolízis” hőmérséklet-tartománytól függetlenül, az angol „pyrolysis” kifejezésnek megfelelően szerepel, azaz a 300°C feletti termolízis szinonímiája. A pirolízis során a makromolekulák kémiai kötéseinek hő hatására átrendeződnek, elszakadnak és gáz, cseppfolyós valamint szilárd termékek képződnek. A szintetikus polimerek pirolízise általában 350-800 °C tartományban történik.

Bár a polimerek pirolízisével foglalkozó cikkek és tanulmányok többsége alapkutatás, léteznek már ipari eljárások és szabadalmak is.

A termékek mennyisége széles tartományban változhat a pirolízis hőmérsékletétől, a felfűtési sebességtől, a pirolízis időtartamától, a reaktor típusától, a nyomástól, reaktív gázok vagy folyadékok alkalmazásától, a műanyag kémiai összetételétől és felépítésétől, valamint a benne lévő adalékoktól, és katalizátorok jelenlététől függően. (1.1. táblázat)

1.1. táblázat Különböző műanyagok pirolízis termékei

Alapanyag	Pirolízis hőmérséklet, °C	Gáz tömeg %	Olaj tömeg %	Maradék tömeg %	Egyéb termékek tömeg %
Polietilén PE	760	55,8	42,4	1,8 C	42 paraffin viasz
Polietilén PE	530	7,6	50,3	0,1	42 paraffin viasz
Polipropilén PP	740	49,6	48,8	1,6 C	42 paraffin viasz
Polisztirol PS	580	9,9	24,6	0,6	64,9 sztirol
Keverék PE/PP/PS	750	52	46,6	1,4	64,9 sztirol

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Poliészter	768	50,8	40	7,1	2,1 víz
Poliuretán	760	37,9	56,3	0,5	5 víz, 0,3 HCN
ABS kopolimer	740	6,9	90,8	1,1	1,2 HCN
Poliamid PA	760	39,2	56,8	0,6	3,4 HCN
Polikarbonát	710	26,5	46,4	24,6	2,5 víz
Polimetil-metakrilát	450	1,25	1,4	0,15 C	97,2 MMA
Polivinil-klorid PVC	740	6,8	28,1	8,8	56,3 HCl
Politetra-fluoroetilén	555	18,8	5,2	0,3	76 TFE

A műanyagokat felépítő kémiai elemek a pirolizátum három termékfázisában különböző mennyiségben és formában jelennek meg (pl. a hidrogén és klór a gázfázisban, a szén kokszt formájában a szilárd fázisban dúsul fel), ezért a műanyagok kémiai összetételének nagy jelentősége van az elsődleges pirolízistermékek minőségére nézve. (Természetesen másodlagos reakciók is lejátszódnak a pirolízis során, melynek eredményeképpen az elsődlegesen képződő bomlástermékek még stabilabb vegyületekké alakulnak.) A makromolekulák kémiai szerkezete a bomlás mechanizmusát szabja meg.

hetero-atomokat és adalékokat tartalmazó műanyagok pirolízise során nemkívánatos melléktermékek megjelenésével kell számolni. A polimerekben megtalálható leggyakoribb hetero-atomok az oxigén, nitrogén, klór, bróm, fluor. A pirolízist követően ezek az elemek vagy hetero-atomos szerves vegyületek, vagy stabil szervesetlen vegyületek (pl.: víz, ammónia, HCN, HCl, HBr, Br₂, HF) formájában jelennek meg. Mivel mindhárom termékfázisba bekerülhetnek, jelentősen csökkentik a termékek piaci értékét, továbbá ezek a vegyületek többségükben veszélyesek vagy korrozívak és környezetvédelmi szempontból is aggályosak.

A műanyagok adalékai gyakran a figyelmet igénylő szennyezők forrásai. A szervesetlen adalékok többnyire a szilárd maradékban dúsulnak fel, míg a szerves adalékok vagy elbomlanak, vagy elpárolognak. Némelyik hatással lehet a hőbomlás kinetikájára és mechanizmusára is. Mivel a hetero-atomokat tartalmazó polimerekből és adalékokból származó káros anyagok a pirolízis ipari megvalósíthatósága szempontjából komoly kihívást jelentenek, továbbá környezetvédelmi szempontból is megkérdőjelezzik a pirolízis sikerességét, ezek eliminálása, átalakítása vagy további feldolgozása fontos kutatási terület.

A nagy hőmérsékletű elgázosítás során valamennyi szerves anyag elbomlik, a képződő szintézisgáz lényegében hidrogénből, szén-monoxidból és vízgőzből tevődik össze, kismennyiségű szilárd és gáznemű szennyező tartalommal.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Műanyagok pirolízise során hidrokarbon gáz és/vagy folyékony termék keletkezik. A szilárd frakció általában a teljes súlynak csak kis része.

A polietilének (PE) és a polipropilénnek (PP) nagyon hasonló a végterméke: magas olaj és hidrokarbon gáz és elhanyagolható szilárd fázis. A polisztrén (PS) és az arilonitrit-butadin-szerin (ABS) szintén hasonlóan magas olaj, de a gáz mennyisége kevesebb és a szén mennyisége szintén elhanyagolható. Végül a polietiléntreftalát (PET) magasabb gáz, magas olaj mennyiség és a szilárd végtermék magasan sziginifikáns. A szilárd frakció (char) a PET kivételével a felfűtési sebességtől független.

1. kg műanyagból kb. 0,95 liter olajat lehet nyerni, amennyiben a műanyagok proliolefinek, mint a polietilén (PE), polipropilén (PP) vagy polisztirol (PS). Az olaj tulajdonságai a kerozin és a tiszta olaj keverékének felelnek meg. (1.2. táblázat)

Haidekker (2004) vizsgálatot végzett, mely szerint PP- hulladékból több gáz képződik, mint a primer PP-ből. Ennek az lehet az oka, hogy a hulladék bomlási hőmérsékletén a kátrány és viasz elsődleges krakkolása játszódik le, ami gázképződéssel jár. A gázok közül a C5 szénatom-számú vegyület hiányzik.

Haidekker (2004) úgy véli, hogy a műanyag hulladékok pirolízisét döntően befolyásolja a hulladék szennyezettsége. A bomlástermékek mennyisége a hőbomlás hőmérsékletén kívül a szennyezőanyagoktól is függ.

1.2. táblázat Olaj visszanyerési arány műanyag típusonként

Műanyag típusok	Reakció hőmérséklet [°C]	Visszanyert olaj [l/kg]	Melléktermék ¹ [tömeg%]
PE	420	0,94	1,68 ²
PP	400	1,15	0,15
PS	350	0,95	5,82
PE (70), PP(15), PS (15) mix	420	1,02	0,96
Rugalmas konténer táskák (PP, PE)	390	0,96	2,20

¹ Visszamaradt anyagok az égés után (szárazszén, stb.), a betöltött műanyag százalékában

² PE szatyrok, magasabb kalcium karbonát tartalommal

1.3. Katalitikus pirolízis

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A műanyag hulladékok katalitikus pirolízise az elmúlt években egyre inkább a figyelem középpontjába került. A katalitikus pirolízis során a katalizátort a betáplált alapanyaghoz, vagy annak olvadékához keverik.

A katalizátorral szemben követelmény, hogy a betáplált műanyag hulladék heterogenitása és az adalékok ne befolyásolják nagymértékben a katalizátor aktivitását, továbbá a többszöri regenerálás megvalósítható legyen az eljárás során. A katalizátorok és a pirolízis paramétereinek (reaktor típusa, hőmérséklet, tartózkodási idő, a betáplált műanyag összetétele) helyes megválasztásával az értékes vegyületek és vegyipari alapanyagok szelektív kinyerése, továbbá a veszélyes és környezetkárosító vegyületek eliminálása megvalósítható.

A műanyag hulladékok katalitikus pirolízisének gyakorlati szempontból legfontosabb célja a fűtő- vagy üzemanyag (benzin, kerozin, dízel olaj) kinyerése.

A katalitikus pirolízis előnyei a műanyag hulladékok termikus hőbontással szemben:

- kevesebb energiaigény, gyorsabban végbenő reakciók,
- szabályozott termékösszetétel (pl. szűk forráspont-tartományú olaj) biztosítható,
- a nemkívánatos vegyületek képződése és/vagy a termékek közé jutása meggátolható.

A katalizátorok alkalmazásának azonban nehézségei, korlátai és hátrányai is vannak:

- A műanyag hulladékok heterogén jellege jelentős mértékben gátolhatja a katalizátorok sikeres alkalmazását.
- Egyes nitrogén- és kéntartalmú vegyületek, továbbá néhány adalék katalizátorméregként hatnak és nagymértékben csökkentik a katalizátorok aktivitását.
- A katalizátorok alkalmazása, regenerálása vagy cseréje drágítja az eljárást.

A polimerek katalitikus krakkolására használt katalizátorok:

- szilárd savak: zeolitok, FCC katalizátorok,
- nanokristályos zeolitok (n-HZYM-5),
- szilárd szupersavak (ZrO₂/SO₄ 2-),
- mezopórusos anyagok: MCM-41, FSM-16, Al-SBA-15,
- alumíniummal pillérezett agyagásványok,
- galloszilikátok,
- bázikus oxidok,
- szénhordozós fémek.

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A pirolízis termékek katalitikus átalakítása úgy történik, hogy a műanyagok termikus hőbomlása során képződő vegyületeket katalizátorágyon vezetik keresztül. Előnye, hogy a katalizátor folyamatos regenerálása könnyen megvalósítható. Alkalmazása főként akkor előnyös, ha a betáplált műanyag hulladék nagy százalékban tartalmaz olyan összetevőket, amelyek a katalizátor aktivitását csökkentik (pl.: PVC és nem műanyag komponensek (fémek, papír)). A nemkívánatos alkotók már a katalitikus átalakítást megelőzően eltávolíthatók a rendszerből, így azok nem kerülnek a termékfázisba.

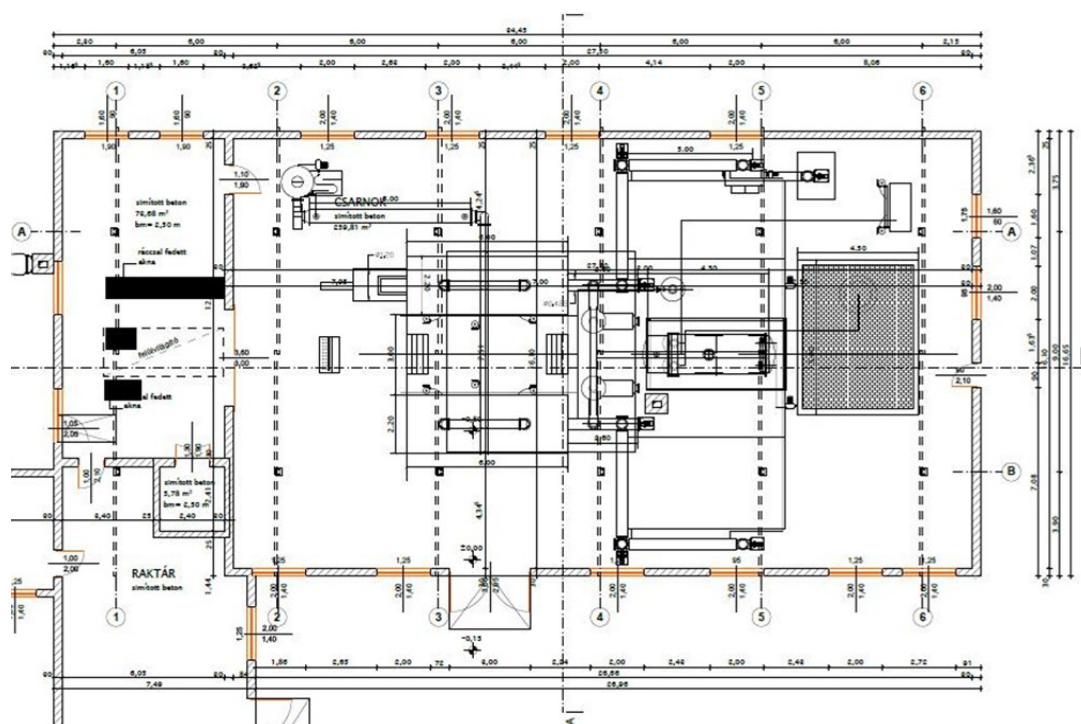
2. A projekt keretében megvalósult termolízis üzem bemutatása

A projekt keretében egy műanyag hulladékok termokémiai degradációs eljárással hasznosító berendezés megépítése volt az elsődleges cél. A kialakított műanyag újrahasznosító technológia levegőtől elzártan hevített hulladék műanyagokat alakít át ipari alapanyagként felhasználható anyaggá.

A következő fejezet az üzem kialakításának feltételrendszerét az alkalmazott technológiát, a beépítésre került eszközöket, berendezéseket és műszereket mutatja be.

2.1. Üzem kialakítás körülményei

Az épületet alapterülete $A=425 \text{ m}^2$, térfogata $V=2093 \text{ m}^3$. Az épület szellőztetése a felszabaduló hő elszállítása érdekében 2 db DX 630/R/8-8/40/400 $Q=14000 \text{ m}^3/\text{h}$ szállítóképességű befűvő ventilátor szellőzteti. Az alap szellőztetés mértéke 13-as légcserre, amely meghaladja a vész szellőztetés 5-ös légcseréjén biztosítását, így külön vész szellőztető ventilátor nem kerül beépítésre, csak a ventilátorok szünetmentes táplálása lesz biztosítva. A ventilátorok az épület elejében az oldalfal közép magasságában egymással szemközi oldalon kerülnek elhelyezésre és az épület hossza mentén szellőztetnek.



2.1. ábra

A berendezések épületen belüli elrendezésének korábbi terve

A levegő kiáramlása az épület ellentétes oromfalán alul és felül elhelyezett szabad nyílások szolgálnak. A technológiába reaktoronként elhelyezésre kerül 1-1 db gázérzékelő gyűjtőernyővel, amely ARH 20%-nál riasztást ad, 40%-nál áramtalanítja a nem RB-s berendezéseket. A 2mx2m-es gyűjtő ernyő a reaktor gáz és szlak kivezető csőve a folyadékszár alatti tengelytömítés felett lesz elhelyezve.

2.2. Az alkalmazott technológia bemutatása

A kialakításra került berendezés alkalmas a már nem hasznosítható, műanyag hulladékok feldolgozására. Az alkalmazott termokémiai kezelés során inert atmoszférában $T=350 - 490^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékleten a műanyag megolvad, melyből gőzök, gázok szabadulnak fel. A nagyobb szénláncú polimerek kisebb szénláncú szénhidrogén gyökökké degradálódnak. A feldolgozás eredményeként, egy folyékony szénhidrogén keverék jön létre. Ez az anyag, mint energiahordozó; lehet üzemanyag, vagy tüzelőanyag, de alkalmas lehet vegyipari alapanyagként további feldolgozásra is.

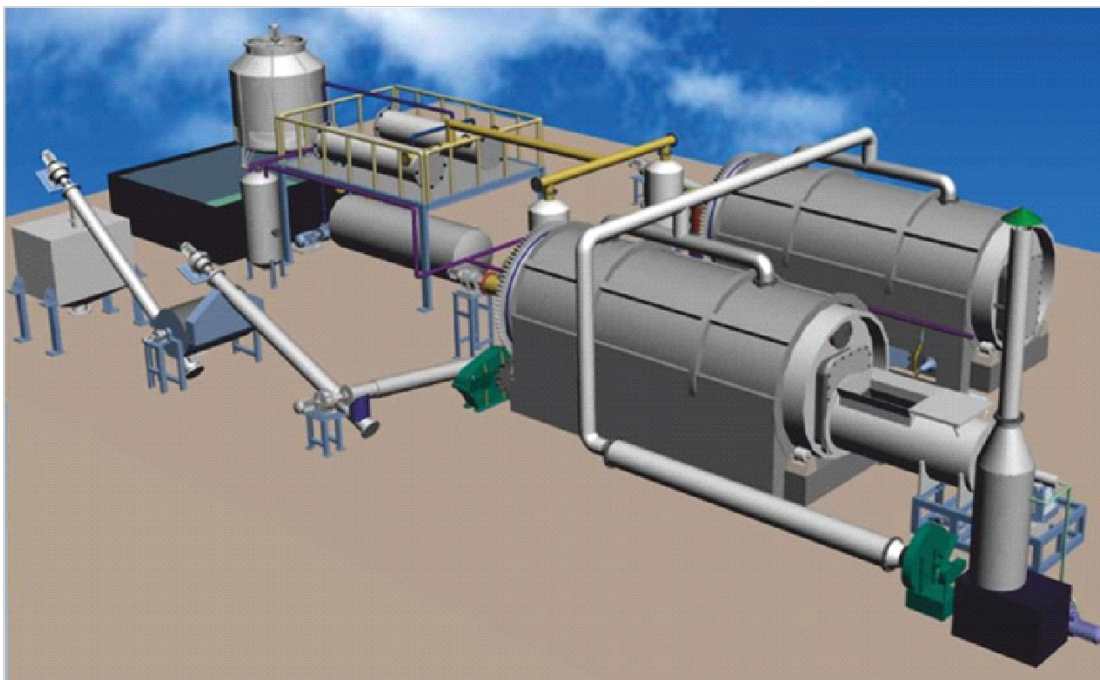
A készülék belsejében atmoszferikus nyomású feltételek mellett, a műanyag hulladék megolvad, majd forni kezd. Az alapanyaghoz adagolt abszorbens adalék felületén a szénatomok megkötődnek. A keletkezett szilárd maradék könnyen leválasztható.

A láncokból degradálódó szénatomok kiválnak az eredeti anyagszerkezetből, így az anyag szerkezete leépül. A hőbontás során, a hosszú polimer láncok és kötések felszakadnak, rövidebbek jönnek létre és szintézisgáz (szén-monoxid, metán, hidrogén, szén-dioxid) fejlődik. A folyamat

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

eredményeként, egyenes láncú szénhidrogén keverék, egy új fizikai és kémiai jellemzőkkel bíró, a könnyebb frakciókat aránylag jelentősebb arányban tartalmazó un. műanyagolaj jön létre, amely egy második generációs megújuló adalékanyag.

A termolízis üzem két párhuzamos technológiai sorból áll, melyek ütemezett indításával az üzem alkalmassá válik folyamatos üzemű technológia megvalósítására. A kialakításra kerülő termolízis üzem előzetes látványtervét a következő ábra mutatja.



2.2. ábra

Előzetes 3D-s szemléltető látványterv a termolízis technológiáról

A berendezésben három egymástól hermetikusan elzárt tömegáramot tartunk fenn. Az első a műanyag hulladék tömegárama. A második fűtésre felhasznált tüzelőanyag, amelyet elégetve füstgázt kapunk, és amely-jel fűtjük a műanyagáramot. A harmadik a hűtővíz tömegárama, amely a kondenzátorban hűti a műanyag gőzök tömegáramát.

2.2.1. A beépítésre került egységek bemutatása

A termolízis üzem kialakítása az előzetes vizsgálatok és engedélyek beszerzését követően a különböző részegységek megfelelő módon történő összeszerelésével kezdődik. A meglévő és beszerezhető technológiai eszközök még önmagukban nem képviselnek nagy értéket. Az esetlegesen rendelkezésre álló összeszerelési útmutatók is csak a geometriai illeszkedések esetében nyújtanak támpontot.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Az igazán nehéz és komoly szakmai felkészültséget igénylő feladat az előbbiek ismeretében a technológiai sor összeállítása, mely megfelel az adott ország, jelen esetben Magyarországon hatályos és érvényes jogszabályi követelményeknek is. A helyi sajátosságok és a hatósági előírások ismerete alapvető fontosságú, mivel nem csak üzembiztonsági, hanem üzemeltetés biztonsági kérdéseket is figyelembe kell venni.

A helyszíntre szállított részegységek képét a következő ábrák szemléltetik. A képsorok időrendi sorrendben mutatják az üzemi technológia alapjainak kialakítását.



2.3. ábra

Alapanyag beadagoló részegység a helyszínen



2.4. ábra

Reaktorok végleges helyükre emelése

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



2.5. ábra

A beadagoló egység mozgatásához szükséges beton alap kialakítása



Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



2.6. ábra

Reaktor tér kialakítása



2.7. ábra

A reaktor belső terének spirális kialakítása

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



2.9. ábra

A két reaktor a végleges helyén



2.10. ábra

A tengely nélküli csiga felszerelése a reaktor kimenetére

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



2.11. ábra

A későbbi beépítéshez szükséges részegységek a helyszínen



2.12. ábra

A gázmosó egység helyének kijelölése és kialakítása

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



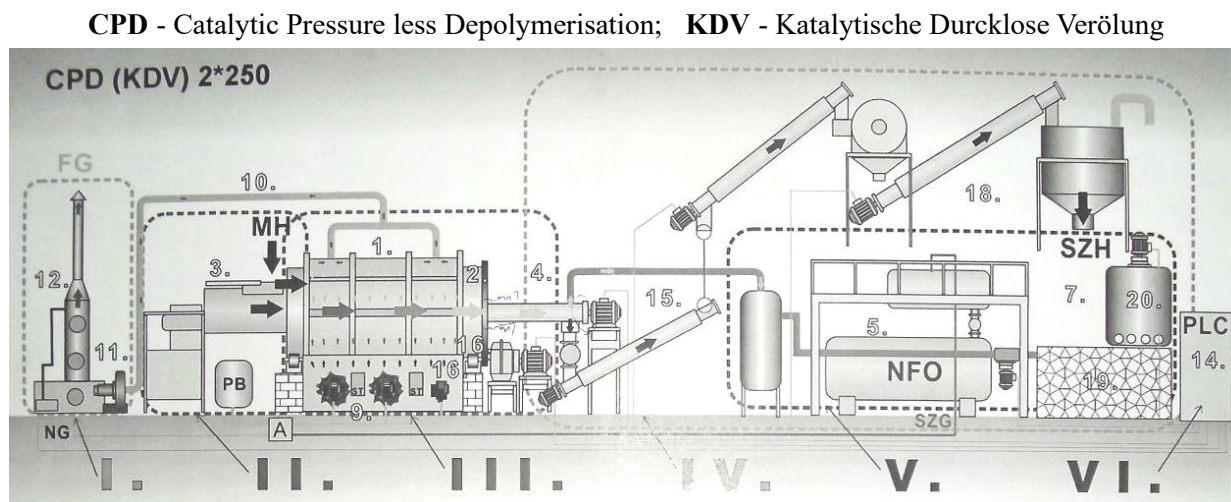
2.13. ábra

A kondenzátor egység helyének kialakítása és véglegesítése



2.14. ábra

A termolízis üzem a végleges helyükre beszerelt főbb részegységekkel



2.15. ábra

- I.: Maradék hő kezelő egység;
II.: Hidraulikus alapanyag betápláló egység;
III. Reaktor-katalitikus izzótérrel;
IV.: Gőz, gáz-szilárd rész leválasztó egység-szintézisgáz ciklonmosóval;
V.: Kondenzációs egység;
VI.: Vezérlő egység

A berendezésbe a (II.) hidraulikus alapanyag betápláló egységen keresztül (3.) juttatjuk a feldolgozandó elő válogatott műanyagot. A betáplálás történhet kézzel is, vagy géppel. Ennek és a biztonsági előírásoknak megfelelően képezzük ki az etető nyílást és a beadagolást végző dobogót. A gyakorlati tapasztalatok alapján, célszerű a berendezés betáplálási folyamatát manuális ellenőrizni. A nem oda való hulladék időben történő elterelésével, sok üzemzavar kerülhető el.

A prés a (III.) reaktortérbe préseli a műanyagot, amely ezáltal feltömörödik a kapuban eltömítve, útját állja a visszaáramló gázoknak, gőzöknek. A préselés kezdetén az etető nyíláson és ajtón keresztül még el tud szökni a maradék levegő. A reaktortérbe már csak a műanyag alapanyag érkezik. Nagyon kevés levegő, oxigén marad a töltetben. A termokémiai degradáció során inkább a műanyag anyagában tárolt oxigénnel létrejött égéssel kell számolni. A szintézisgáz képződéssel a levegő kiszorul a reaktortérből. A reaktort egy (16) reaktor vázszerkezet tartja, amelyben három katalitikus izzótérrel szerelt (9) gázégőnek és két szilárd tüzelőnek lettek kialakítva tűz és hamuterek. Az alapozás helyben összeállítható vasbeton, cement, hőálló téglá, falazott kivitelű.

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A (I.) maradékhő hasznosító egység egy (12) növelt felületű füstgáz/levegő hőcserélő amelyben a 300 - 400°C-os maradékhők, előmelegítik a (13) befűjt levegőt. A katalitikus izzótérre (9), már az előmelegített levegő fűjjük be. A füstgáz rekuperációval jelentősen csökkenthető a műanyag termokémiai degradációs hő előállításához szükséges tüzelőanyag tömegáram. Abból a tüzelőanyagból, amit nem égettünk el, nem lesz káros anyag, nem lesz szén-dioxid. A reaktorban (2) levegőtől elzártan, a hő hatására a műanyagból gázok, gőzök szublimálnak a masszából. Az alapanyaggal adagolt adszorbens a felületén megköti a szabad aktív szén gyököket. Az alacsonyabb szénláncú részek könnyebben szabadulnak fel.

A reaktortérbe helyezett műanyag hulladék legnehezebb része szilárd maradék formájában – egy speciálisan erre a célra kialakított – (4.) kivezető csövön keresztül távozik a reaktorból és a (IV.) gőz, gáz-szilárdrészt leválasztó egység rostáin akad fenn.

A műanyag anyagáram elméletben három részre választható. Az (15.) elsődleges ill. (18.) másodlagos kihordó segítségével a műanyag tömegáramról leválasztjuk a szilárd részeket. A megvalósított technológiában itt az ábrához képest módosításokat kellett végrehajtani. A gőzök és gázok az (V.) kondenzátor egységben a hőkivonás mértéke és sebessége függvényében akár több frakcióban is leválasztható.

A szintézis gázok visszaáramlását és öngyulladását a (8.) tűzi vízzár egység akadályozza meg. A leggyakoribb üzem szerint, egy a fűtőolajhoz hasonló tulajdonságú folyadék (6.) kondenzálódik, mely fő terméke a berendezésnek. Az (5.) tartályba gyűjtjük és tároljuk. A kondenzátorban felmelegedett hűtővizet a (19.) hűtőtoronyban hűtjük vissza, melyhez a (20.) víztárolóban tároljuk a vizet.

A legkönnyebb frakció szintézisgáz formájában (17.) a ciklon mosókban megtisztítva, az (9.) égőfejekhez vezetve – a beindulást követően energia forrása a műanyag feldolgozásnak. Amennyiben a berendezésbe nem válogatott műanyag kerül betáplálásra, benne található PVC és erősen halogénezett (32-75%) műanyagokból, a felszabaduló maró gázok erősen rongálják a berendezés szerkezeti elemeit. A műanyag olajban oldódva akár 1-1,5% koncentrációt is elérhetnek. Az így készült műanyag olaj energetikai hasznosítása súlyosan károsíthatja az azokat felhasználó hőerőgépeket. Súlyosan szennyezheti a levegőt.

A következő lényeges egység a (17.) szintézisgáz ciklon mosó berendezés. A füstgázokat a (10.) füstgáz összekötő és elvezető csöveken keresztül vezetjük el a reaktorból.

A (I.) maradék hő hasznosító berendezés a füstgázok maradékhőinek 90% feletti részét képes hasznosítani. Előmelegíti a katalitikus izzótérbe beszívott levegőt. A tűztér és a reaktor (1.) burkolat közötti teret egy légelszívó (11.) ventilátorral szívjuk meg. Ennek köszönhetően a katalitikus izzás során keletkező füstgáz nem áramlik ki a forgó reaktor és burkolata közötti réseken, mert ott a vákuum hatására a levegő áramlik be. A (13.) légbefúvó a (12.) maradékhő hasznosító levegő füstgáz hőcserélőbe préseli a friss levegőt. Azt felmelegedett „forrószél” túlnyomással táplálja a katalitikus izzótérek. A folyamatok irányítását a későbbiekben egy (14.) PLC vezérlő egység végezheti.

A termelés tervezéséhez a következő alapadatok állnak rendelkezésre:

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

- A termelés segédanyag igénye: 0,3 kg/óra abszorbens
- A termelés segéd elektromos áram igénye: 46 kW
- A termelés hűtővíz igénye: 50 liter/óra
- A termelés szintézis/ PB gázigénye: 75 kg/óra

A berendezés üzemeltetési adatai:

Névleges feldolgozási teljesítmény: maximum 500 kg/h

A folyamat anyagátalakítási hatásfoka: 45- 65 %

A folyamat energia hatékonysága: 42-48 %

Tápfeszültség: 230/400 [V]

Frekvencia: 50 [Hz]

Beépített segéd elektromos teljesítmény: 46 [kW]

Havi elektromos áramfogyasztás: 27600 [kWh]

A termelő csarnok ajánlott magassága: min. 6 m

A termelő csarnok ajánlott területe: min. 20x20 m

A technológiai víz hűtőrendszer térfogata: 2,5 m³

A technológiai folyamathoz felhasznált vízmennyiség: 50 l/nap

Átlagos földgázfogyasztás: 39 m³/h

A feldolgozáshoz szükséges hő meghatározása:

A műanyag felmelegítési hője: ~ 400 0C kb. 400 kcal/kg

Fázisváltás I. hője (képlékenyítés): kb. 300 kcal/kg

Fázisváltás II. hője (olvasztás): kb. 300 kcal/kg

Összesen: 1 000 kcal/kg = 4 186,8 kJ/kg

Egy kilogramm szénhidrogén polimer gramm-molekulája megközelítőleg C71H144.

A C-C kötések hasításához egy mol polimerben 350 kJ/mol hő energia felhasználásra van szükség.

Leegyszerűsítve, elfogadva, hogy a szénhidrogén termék egy molekulája 27 szénatomot tartalmaz, a kiinduló polimer gramm-molekulája 10 folyékony polimer gramm-molekulára osztódik.

Az feldolgozott műanyag gramm-molekulájában a kötések hasításához még plusz 3500 kJ/kg energia szükséges.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Az átalakítás összes hő (energia) értéke megközelítőleg **7 690 kJ/kg**.

A folyamat elméleti 100%-os teljesítőképessége esetén 1 kg műanyagból 1 kg termék lesz, amelynek fűtőértéke 43000 kJ/kg, azaz 43 000 kJ energia. A tényleges rendszerekben 1 kg műanyagból kb.: 0,8 kg termék keletkezik, amelyből $0,8 \times 43000 \text{ kJ} = 34400 \text{ kJ}$ értékű energia keletkezik.

A maradékot a könnyű frakciók alkotják, amelyek az alkalmazott berendezés hűtőrendszerében nem válnak cseppfolyóssá. Ha ezt a terméket energetikailag fel lehet használni, úgy a rendszer energetikai hatásfoka magas, mivel $0,2 \text{ kg energiaforrással } 0,2 \text{ kg} \times 43000 \text{ kJ/kg} = 8\,600 \text{ kJ}$, ami fedezi a folyamathoz szükséges hőt, amely 7 690 kJ/kg.



Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



2.16. ábra

(A számok a technológiai lépések sorrendjét jelzik)

2.2.3. Általános technológiai leírás

A kialakított berendezésben az engedélyezett feldolgozható nyersanyagok a polipolefin műanyagok, mint például a **polietilén (PE)** és a **polipropilén (PP)**.

A folyamat hőmérséklete (a reakciótömeg hőmérséklete): $T=350 - 4900^{\circ}\text{C}$.

Nyomás – az atmoszferikus nyomáshoz közeli ($P=5-50\text{mbar}$), a technológiai ciklus egésze folyamán. A szénhidrogéneket átalakító reaktor és a szénhidrogén kondenzátor zárt rendszerben üzemelnek. A hűtő egység is zárt rendszerben működik együtt a szellőztetett hűtő berendezéssel, mely elvezeti a hőt a rendszerből.

Az alapanyag beadagolás – a reaktorhenger másodlagos műanyaggal való megtöltése – a műanyagbetöltő egység feladata.

A betöltő DN 800-as karimával csatlakoztatható a reaktorhoz. A betöltést egy hidraulikus munkahenger végzi, az elmozdulási úthossz $l_{\text{út}}=1100\text{mm}$. A betöltő nyílás mérete $1050 \times 680\text{mm}$. A betöltő adagolása a vezérlő egységről indítható.

A felhasználható tüzelőanyag mérete alapanyag= $3-10\text{cm}$ közötti aprított, idegen anyagtól mentes műanyag hulladék.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Az aprítatlan alapanyagot és a beadagoló egységet a következő ábra mutatja.



2.17. ábra

Az aprítatlan alapanyag és az alapanyag beadagoló egység

A beadagolás után az ajtót becsukva a lecsavarozott tömített ajtó gondoskodik arról, hogy a reaktortér folyamatosan el legyen zárva a környezettől, elzárva a nemkívánatos oxigén bejutást a reakciózónába és a folyamat során keletkező gáz kijutását megakadályozza.

A reaktort a tüzelőanyag betöltése után inertizálni szükséges. A reaktor térfogata 22 m³.

Az reaktor forgáspontjában, az ajtó közepén elhelyezésre kerül egy elosztó, amelyhez csatlakozik az inertizáló nitrogéngáz, egy mágnes szelep az inertizáló gőzt létrehozó vízbefecskendezés fúvókája és a lehűtés utáni levegőöblítés vezérlő mágnesszelep.

A reaktor ajtó képét a következő ábra szemlélteti.



2.18. ábra

A reaktortér ajtó

- folyadékzár alatti tömítéssel,
- inertizáló nitrogéngáz csatlakozással,
- vízbefecskendező fűvókával, és
- levegőöblítésre alkalmas szeleppel

A rendszerbe iktatott 2. db reaktor megfelelően ütemezett működtetéssel alkalmas a folyamatos termolízis biztosítására. A reaktor geometriai méretei: átmérő $D=2200$ mm, hossza $L=6000$ mm, falvastagsága $h=16$ mm.

A reaktor 4 db alátámasztó görgőn forog. Meghajtása görgős koszorúval, lánckerékkel történik. A hajtómű rugós egységen helyezkedik el, amely kompenzálja a reaktor excentricitását. A hajtóművet egy 7,5kW 4p 3×400/690V 50Hz IP55 aszinkronmotor hajtja ékszíjártételen keresztül. A reaktor fordulatszáma $n=0,33$ 1/min.

A következő ábra a forgó reaktor dob lánckerékkel történő meghajtását mutatja.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



2.19. ábra

A forgó reaktor dob meghajtása lánckerékkel történik

A reaktor betöltő ajtájával szemben a másik oldalán helyezkedik el a DN 200-as gáz és salak kivezető rozsdamentes cső, amely folyadékszár alatti tömítéssel ellátott, tartósan tömített. A DN200-as csőben egy rozsdamentes tengely nélküli csiga van, amelynek meghajtó tengelye szintén folyadékszár alatti kettős tömítéssel ellátott. A következő ábra a vízzárral ellátott tartósan tömített rozsdamentes gáz és salak kivezető csövet mutatja.



2.20. ábra

DN 200-as gáz és salak kivezető rozsdamentes cső folyadékszár alatti tömítéssel

A reaktor fűtése a külső palástján keresztül történik 2 db 265kW-os hő teljesítményű hárompont szabályozású olajégővel. A reaktor köpenyt egy hőszigetelt füstgázterelő burkolat veszi körül. Innen

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

kerül két ponton összegyűjtésre és elvezetésre a füstgáz. Az olajégőket és a füstgáz elvezetését a következő ábra mutatja.



2.21. ábra

Az olajégőkkel történő betáplálás és a füstgáz elvezetés a reaktortérből

A reaktorból a szilárd végtermék lehűtés ($T_{\text{reaktor}} < 200^{\circ}\text{C}$) és inertizálás után távolítható el. A kiürítés során a DN 200-as gáz és salak kivezető rozsdamentes cső alatt elhelyezett tolózárát ki kell nyitni, amelyen keresztül a kitároló csigához jut a szilárd végtermék. A kitároló csiga DN200-as rozsdamentes csőben elhelyezett rozsdamentes tengely nélküli csiga van megoldva, amely egy zárt cserélhető tartályba tölti a szilárd végterméket. A csiga hajtását egyenes hajtóművön keresztül egy

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

hajtóművet egy 5,5kW 4p 3x400/690V 50Hz IP55 aszinkronmotor hajtja. A következő ábra a zárt tartályba történő szilárd végtermék ürítését mutatja.



2.22. ábra

Zárt cserélhető tartály a szilárd végterméket kitárolására

Kitárolás során a reaktor ellentétes irányba kell forgatni, így a reaktorban elhelyezett belső spirál és emelő lapátok a szilárd maradványokat a gáz és salak kivezető rozsdamentes csigába emeli. Kitárolás során a gáz és salakkivezetőben elhelyezett csigát is járatni szükséges. A csiga megszorulásakor a motor áramfelvétele megnő. Ilyenkor a csiga forgásának irányát a vezérlés megfordítja.

A gázvezeték nyomvonalán az összes karimakötés tartós tömítést biztosító fésűs tömítéssel kerül szerelésre. A folyamat során a forgó reaktorból a keletkező szerves gőzöket és gázokat a folyadékszár alatti tömítéssel ellátott álló DN200-as rozsdamentes gáz és salak kivezető cső vezeti ki, amelyhez karimakötésen és csővezetéken keresztül kapcsolódik a kátrány kicsapató és katalizátor tartály. A következő ábra a katalizátor tartályt mutatja.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



2.23. ábra

Kátrány kicsapató és katalizátor tartály (háttérben)

A kátrányt (nehéz olajt) időszakosan üríteni szükséges. A gáz és gőz ezután az elzáró szerelvénnel leválasztható 2 db csöves kondenzátorba kerül, amely vízzel hűtött, hőmérséklete szabályozható. Itt történik meg a gőzfázis kondenzálása. A keletkezett kondenzátum és nem kondenzálható gáz egy zárt tartályba kerül. Itt kerül tárolásra a "műanyagolaj". A következő ábra a kondenzátort és a könnyű olaj tartályt mutatja.

A műanyagból kinyerhető kondenzátum egy 1,4 m átmérőjű 6,5 m hosszú 7,5 m³-es zárt tartályban kerül összegyűjtésre. Az olaj elvezetésére a tartály alján elhelyezett 6/4-os golyóscsap szolgál. Az olaj átszivattyúzását a szállítójárművön elhelyezett szivattyú biztosítja.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



2.24. ábra

Csőes kondenzátor és „műanyagolaj” (könnyű olaj) tartály

A nem kondenzálható gáz a tartályból elvezetésre kerül egy vizes leválasztón keresztül egy gáz nyomásfokozóba (2.2 kW 230/400V-50Hz besorolása ATEX II 3G cb IIc T3). A nyomásfokozó a reaktor nyomását tartja 10mbar-on frekvenciaváltóval biztosított fordulatszám szabályozással. Ha a nyomás 10 mbar alá csökken, a fűvő leáll. A fűvő biztosítja a gáznyomást a fáklyának. A nyomásfokozót a következő ábra mutatja.



2.25. ábra

Dr. Szirmai Rókus PHD.
(**pirolízis és termo-katalitikus eljárások**)

A nyomásfokozó a gázfáklya előtt

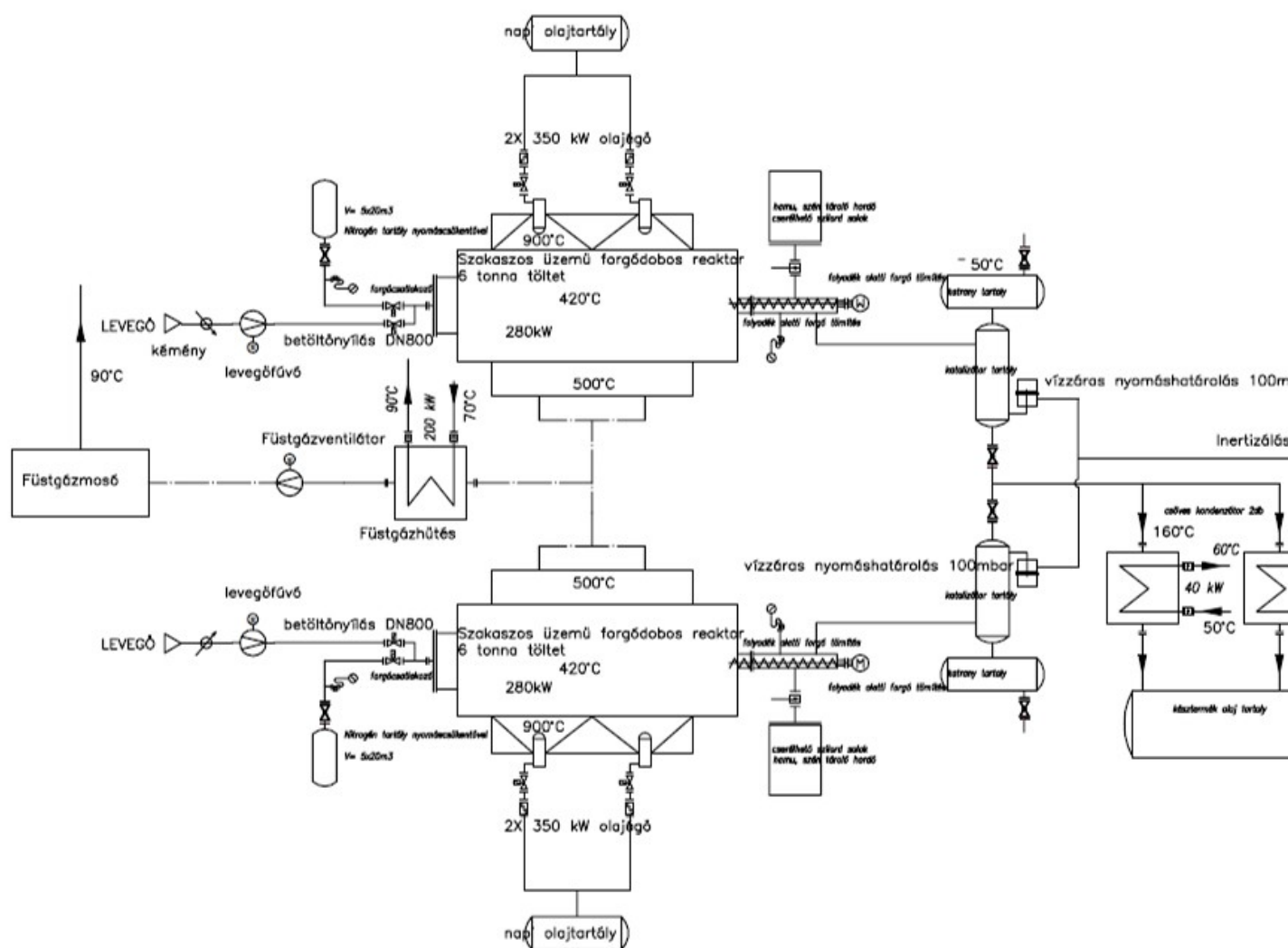
A reaktor üzeme alatt nem kondenzálható gázt fáklyázni szükséges. A gázfáklya egy DN 80-as karimapáron keresztül csatlakozik a vizes visszaégésgátlóra. A vizes visszaégésgátló egy MADAS EVPS 80-as (Ex II 3G) mágnesszelepen és pillangószelepen keresztül csatlakozik a nyomásfokozó utáni DN 80-as rozsdamentes gázvezetékhez. A pillangószelep folyamatosan nyitva van, mikor üzemel a reaktor. A gázfűvő leállításakor az esetlegesen keletkező kis mennyiségű gáz a visszaégésgátló 5mbar-os túlnyomással a fáklyán keresztül szabadba engedi. A fáklyán található a szikragyújtás és láng hőmérséklet érzékelés, a begyújtás szabályozására. A kiépített gázfáklyát a következő ábra mutatja.



2.26. ábra

A gázfáklya

Az újonnan létesített termolízis technológia üzem blokk sémája alapján a teljes technológiai folyamat nyomon követhető az alapanyag betárolástól a végtermékek keletkezése és azok tárolásán és felhasználásán keresztül. A termolízis üzem technológia blokk sémája a következő ábra segítségével érthető meg.



2.27. ábra
A termolízis üzem technológia blokk sémája

2.3. Az alkalmazott mérőeszközök bemutatása

A meglévő bonyolult technológia és a rendszer üzemeltetése szempontjából elengedhetetlen, hogy a folyamatban lévő műveleti lépésekről mindig legyen értékelhető információnk. A pillanatról pillanatra változó paraméterek kijelzésére a változásokhoz gyorsan alkalmazkodó, kis beállási idővel rendelkező mérőeszközök alkalmazása javasolt. A következőkben a beépítésre került érzékelők felsorolását láthatjuk.

A termolízis technológiába beépítésre került hőmérők fényképét mutatja a következőábra.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



2.28. ábra

A technológiába beépítésre került és alkalmazott hőmérők

A termolízis technológiába beépítésre került nyomás és hőmérséklet érzékelő szenzorok fényképét mutatja a következőábra.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



2.29. ábra

Az alkalmazott nyomás- és hőmérsékletmérők a temolízis technológiában

Az opcionálisan beépíthető nyomásérzékelő szenzor képét a következő ábra szemlélteti.



2.30. ábra

Az opcionálisan beépíthető nyomásérzékelő szenzor képe
(mérési tart.: 0 – 100mbar)

A következő ábra a javasolt gázérzékelő távadó képét mutatja.



2.31. ábra

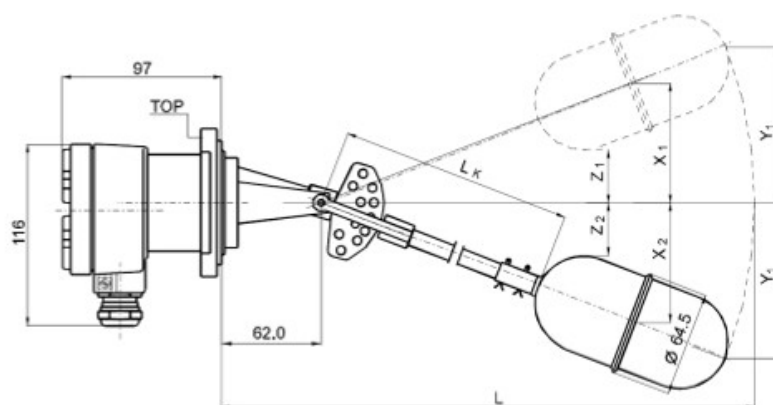
E-TD-S1/M gázérzékelő távadó,

Anyag ;	Érzékelő típusa
hidrogén;	TGS-813
metán;	TGS-842

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

propán-bután; TGS-842
Kimenő villamos jel: koncentrációfüggő ellenállás

A következő ábrán a javasolt állítható hiszterézisű szintérzékelő kapcsoló vázlatja látható.



2.32. ábra

NIVOPOINT MKA-220-7 állítható hiszterézisű szintkapcsoló

Kapcsolási minimum: 30-72mm; differenciamagasság: 176-431mm

2.4. A felhasznált alapanyagok és a keletkezett végtermék jellemzői

2.4.1. A felhasznált alapanyagok jellemzése

A mesterségesen előállított anyagok egyik családja a szerves vegyületek. Nevüket onnan kapták, hogy az élő szervezet felépítéséhez hasonlóan ezek molekulái is szénatomokat tartalmaznak. A szénatomnak igen nagy jelentősége van világunkban. Négy vegyértékével igen sok más kémiai elemhez képes kapcsolódni, hihetetlen bonyolult struktúrákat kialakítva. Ezen alapul az élet a Földön.

Azokat a szén alapú molekulákat, melyekben ezen kívül csak hidrogén található, szénhidrogéneknek nevezik. Az összekapcsolódás lehet láncszerű, a láncokon elágazások is lehetnek. Tovább színesíti a képet, ha a molekula láncok közt további kapcsolódás (úgynevezett térhálósodás) alakul ki.

Feldolgozva a legkülönfélébb anyagok állítható elő belőle, akár óriásmolekulák is. A keletkező molekulák sokféleségét tovább gazdagítja, ha a szintézis során más kémiai elemek is bekapcsolódnak, mint pl. a klór (Cl) vagy az oxigén (O).

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Az elfogadott definíció szerint a műanyagok olyan makromolekulás anyagok, amelyek makromolekulák mesterséges átalakításával vagy kisebb molekulájú szerves vegyületekből, szintetikus úton állíthatók elő.

A polimerizáció során ugyancsak melléktermék nélkül kapcsolódnak össze az alkotórészek, az azonos, úgynevezett monomer kis molekulák. Ilyen folyamat terméke pl.: a polietilén (PE), a polipropilén (PP), a poli(vinil-klorid) (PVC).

Az egyes műanyagok fizikai tulajdonságait és alkalmazhatóságukat a 2.1. táblázat mutatja be.

2.1. táblázat Egyes műanyagok fizikai tulajdonságai és alkalmazhatóságuk

Megnevezés	Jelölés	Tulajdonságok	Megmunkálás és alkalmazás
Polipropilén	PP PP/EPDM	nem kemény 130°C-on lágyul 165-175°C-on olvad sűrűsége 0,9 g/cm ³	Jól alakítható, hegeszthető, forgácsolható. Lökharítók, doblemezek, műszerfalak, hűtőrácsok, tűkörburkolatok, kerti bútorok, háztartási cikkek.
Polietilén és nagy sűrűségű PE	PE HDPE	kemény és lágy kivitel is készül szilárdság 10-25 MPa sűrűsége 0,94 g/cm ³ lágyulás 110°C-on savakkal, lúgokkal szemben ellenáll	Jól olvadó, alakítható, nehezen hegeszthető. Doblemezek, ablakmosó tartályok, üzemanyag tartályok, csővezetékek, csőelemek (HDPE), fóliák, játékok.
Poliamid	PA	kemény, kopásálló szilárdság 60-80 MPa sűrűsége 2,2g/cm ³ lágyulás 160°C-on 180-220°C-on olvad	Alakítható, forgácsolható, hegeszthető. Vízhűtők oldal-vízterei, kiegyenlítő tartályok, ventilátor lapátok és házak, huzalok, fogaskerekek, védősisakok, ruhaanyagok
Akrilnitril – butadién - sztirol	ABS	kemény, szívós szilárdság 50-70 MPa sűrűség 1.1g/cm ³ lágyulás 100°C-on 160-185°C-on olvad	Jól forgácsolható, csiszolható, alakítható, hegeszthető. Hűtőrácsok, dísz tárcsák, visszapillantó tükrök, kismotor burkolatok.
Polimetil metakrilát (plexi)	PMMA	átlátszó, vegyi ellenálló szilárdság 55 MPa sűrűsége 1,8 g/cm ³ lágyulás 90°C 160°C-on olvad	Jól alakítható, forgácsolható, polírozható, hegeszthető és ragasztható. Biztonsági üvegek, burkolatok, motorszélvédők, szemüvegek.
Poli(vinil-klorid)	PVC	lágy és kemény kivitelben készül szilárdság 10-50 MPa sűrűsége 1,2-1,4g/cm ³ lágyulás 60°C-on	Jól alakítható, formázható, forgácsolható. Jól hegeszthető és ragasztható. Csomagtér burkolatok, kárpitok, fóliák, csőszerelvények.

A PE és a PP kiindulási molekulája (monomerje) az etilén (C₂H₄). A két szénatomot két vegyérték kapcsolja össze. A polimerizáció során ezek a vegyértékek hasadnak fel és ezekkel kapcsolódnak a monomerek egymáshoz.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A polimerek csoportosíthatók előállításuk szerint, molekula felépítésük szerint, feldolgozásuk szerint, molekula szerkezetük alapján. A következő táblázat a polimerek csoportosítását mutatja.

2.2. táblázat Polimerek csoportosítása

Előállításuk szerint:	• polimerizációval (P-poli(etilén), Polipropilén, PVC-poli(vinil-klorid), PS-polisztiról) • polikondenzációval (PA-poli(amid), PET-poli(etilén-tereftalát)) • poliaddícióval (Poliuretán, EP-epoxigyanta) • természetes (alapú) polimerek (cellulóz, üveg, bazalt, azbeszt)
Primer szerkezetük, molekula felépítés szerint:	• homo polimer, melyben azonos monomerekből áll a főlánc (PE, PP, PVC, PS) • kopolimer, a főmonomerhez kis mennyiségű más monomerkeverék is polimerizálódik (ABS-Akrilnitril/butadén/stirol, POM-poli(acetát))
Feldolgozás szerint:	• rugalmas = elasztomer (Poliuretán) • hőre keményedő = duroplaszt • hőre lágyuló = termoplaszt (PE, PP)
Molekula szerkezet alapján:	• lineárisak (HD-PE-nagy sűrűségű, vagy lineáris polietilén) • elágazóak (LD-PE-kis sűrűségű, vagy lágy polietilén) • térhálósak (PE-X-térhálósított polietilén)
Forma alapján:	• részben kristályos • amorf = alaktalan, nem kristályos (PSU-poliszulfon)
Az őket felépítő kémiai atomok szerint:	• szerves (szénhidrogének) • szervetlen (szén helyett más elem, pl. kén) • elemorganikus (szén helyett szilícium alapú) polimerek

A leírt technológiában, jelen pillanatban az átalakítandó anyagban még nem szükséges az összetevő proliolefin műanyagcsoportok mélyebb, százalékos elemzése. Tetszőleges arányban lehetnek jelen, ez azt jelenti, hogy úgy, ahogy ténylegesen előfordulnak a hulladékban. Elfogadhatjuk tehát, hogy a technológiai folyamatokhoz az alábbi műanyag hulladékokat használják: **PE/PP-100%, PS-0%, PVC-0%, PA-0%, PET-0%.**

A nyersanyagként használt műanyagoknak a termokémiai degradációs felbomlás során két, az alábbiakban megadott elvárásnak kell megfelelniük:

- A nyersanyag nedvességtartalma – az adagolt anyag tömegének max. 10%-a
- Ásványi szennyezettség az adagolt anyag tömegének maximum 10%-a. (homok, por, üveg, apró fémek)

Ugyanakkor nem megengedett a mérgező anyagokkal, valamint a fentiekben nem említett műanyagokkal szennyezett műanyagok feldolgozása. Mindenféle szennyezettség, így a víz is jelentősen csökkenti a berendezés üzemképességét, az adagolt anyag maximum összes szennyezettsége nem haladhatja meg az adagolt anyag tömegének 20%-át, ebben maximum 10% víz lehet.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A műanyagok feldolgozhatósági tulajdonságaik azonosításának megkönnyítése céljából a következő táblázat adataira lehet támaszkodni.

2.3. táblázat A műanyagfélések feldolgozhatósági tulajdonságai

No	Műanyagok	A minta viselkedése a reagensben történő hevítésnél	Kilépő gázok reakciója	A minta viselkedése nyílt láng hatására	Melegítés hatására vagy lánggal égés eloltása után felszabaduló gázok illata	Sűrűség kg/m ³
1.	Poliolefin: Polietilén PE Polipropilén PP	Könnyen olvad, olvadásban színtelen	Alkalikus	Gyulladás után magától ég, kéken világító fénnnyel, olvadva égésben csepeg	Gyengén égett gyertyára emlékeztető	900 - 960
2.	Polisztirol PS	Olvad, majd lebomlik, elgőzölög Olvadva bomlás közben először sárga majd sötétbarnára vált	Semleges	Gyulladás után magától ég, világító lángok erős füstképződés	Édeskés virágillat (jácint)	1080
3.	Poli-vinilklorid PVC	Leépül, közben sötétbarna színre vált	Erősen savas	Láng hatására ég, lángtéren kívül égés megszűnik, a lángja sárga, peremen zöld, fehér a füstje, zöld szikrák képződnek.	Sósavra emlékeztető és jellegzetes égett gyanta szag.	1410
4.	Poliészter z.B. PET	Elsötétülve, olvadva leépül.	Semleges	Begyullad, magától is ég, erős fénnnyel és füstképződéssel, majd kokszosodig.	Sztirolokra emlékeztető virág illat (jácint)	1300
5.	Poliamid PA	Erős hőképződés kíséretében olvadva leépül.	Alkalikus	Begyullad, magától is ég, erős kék fénnnyel, sárga peremmel, csepeg, hólyagok és nyúló szálak keletkeznek.	Tipikusan, égő szarura emlékeztető szag	1090-1130

A következőkben csak a polietilén és a polipropilén tulajdonságaival foglalkozunk.

A polietilén tulajdonságai

A polietilén polimerizációval nyert termék. A legegyszerűbb kettős vegyérték-kötést tartalmazó szénhidrogén, az etilén polimerizációját az 1930-as években angol vegyészeknek sikerült megvalósítani, vagyis polietilént előállítani. A polietilénnek többféle változata ismert:

- a kis sűrűségű polietilén (rövidítése az angol „low density” kifejezésből LDPE),
- és a nagy sűrűségű (rövid jelölése HDPE, a „high density” alapján) polietilén,
- az egyik legújabb változat a lineáris kis sűrűségű (LLDPE), ami speciális katalizátorok segítségével állítható elő. A kis sűrűség ellenére jó mechanikai tulajdonságai vannak.

Dr. Szirmai Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A tulajdonságokban megmutatkozó különbséget az eltérő előállítási körülmények okozzák. A kis sűrűségű polietilént nagy (150-200 MPa) nyomáson 200°C körüli hőmérsékleten végrehajtott polimerizációval nyerik. Ilyen körülmények között a polimerizáció során a CH₂-csoportól leszakadhat egy hidrogénatom, amelynek a helyére –CH₃-csoport kapcsolódhat. Így elágazások jönnek létre az összekapcsolódó szénláncok bizonyos helyein, ami azt eredményezi, hogy a molekulák nem illeszkednek jól egymáshoz, ezért az anyag sűrűsége kisebb lesz. Más fizikai tulajdonságai is eltérnek a nagy sűrűségű polietilénétől. A kis sűrűségű polietilént fóliák, csomagoló- és szigetelőanyagok készítésére használják.

Az 1950-es évek elején egy német kémikus, Karl Ziegler olyan katalizátort fedezett fel, amelynek alkalmazásával légköri nyomáson és 60°C-os hőmérsékleten is lejátszódik az etilén polimerizációja. Az így képződő polimer igen hosszú, fonalszerű molekulákból áll. A molekulák jól illeszkednek, ezért az anyag sűrűsége nagyobb, mint a nagynyomású polimeré. A nagy sűrűségű polietilénből edényeket, csöveket, játékokat stb. gyártanak.

A polimerizációval képződő makromolekulák láncossza sohasem azonos, hanem szűkebb vagy tágabb határok között változik. Így konkrét molekulatömeget sem lehet megadni, csak átlagos molekulatömeggel jellemezhetjük az anyagot. A kis sűrűségű polietilén láncossza 20000 – 48000. A nagy sűrűségű polietilén az 50000 – 300000 tartományba esik.

A legutóbbi időben egy új termék jelent meg: a különlegesen nagy moláris tömegű polietilén. Ez igen stabil, nagyon szilárd, ezért ebből készítenek pl. a csípőprotézisek gömbfejét. Az ilyen nagy molekulatömegű és rendezett szerkezetű polietilénből (rövidítése: HOPE „highly oriented” PE) készülő műszál szilárdsága vetekszik az acélével.

A polipropilén tulajdonságai

A propilén polimerizációjából keletkezik a polipropilén. Benzinből krakkolással etilént és propilént állítanak elő. A krakkolás a molekulák széthasításának folyamata. Ezt követően ebből a bomlástermékből épülnek fel az új molekulák. A folyamat lejátszódását katalizátorokkal irányítják. Az alkalmazott katalizátornak döntő befolyása van a polimer térszerkezetére. A propilén polimerizációjával többféle szerkezetű molekula alakulhat ki, attól függően, hogy a minden második szénatomhoz kapcsolódó metilcsoportok hogyan helyezkednek el.

A polipropilén fizikai tulajdonságai, így a szilárdság, a törékenységi modulus, az átlátszóság erősen függ a metilcsoportok térbeli elhelyezkedésétől. Ha metilcsoportok elhelyezkedése szabályos, a láncmolekulák egymáshoz képest rendezetten helyezkednek el, és kristályos régiókat alkotnak. Ez eredményezi a szilárdságot. A rendezetlen, amorf régiók a rugalmassághoz és az ütésállósághoz járulnak hozzá.

A polietilén (PE) és a polipropilén (PP) fizikai tulajdonságainak összevetése

Dr. Szirmai Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A PE és PP fizikai tulajdonságai nem különböznek jelentősen egymástól. A közműiparban a PE terjedt el szélesebb körben, a PP magasabb hőmérsékletű közegek szállítására alkalmas (pl. padlófűtés).

A polipropilén elsősorban termikus tulajdonságaiban különbözik a polietiléntől. Alacsonyabb hőmérsékleten hamarabb ridegedig, viszont a PE-vel szemben 60°C helyett 90°C-ig alkalmazható. A legkisebb sűrűségű műanyag. Lágulási hőmérséklete valamivel alacsonyabb a PE-nél, hegesztési hőmérséklete megegyezik azzal. Oldószerállóságuk hasonló, a PP ellenálló képessége vegyszerekkel szemben valamivel jobb.

A polietilén (PE) és a polipropilén (PP) kémiai tulajdonságainak összevetése

A PE és a PP alapanyag kémiaiilag hasonló. Molekuláik csak C és H atomokat tartalmaznak, melyek közt egy vegyértékű kötések vannak. Ebből következik egyik legfontosabb tulajdonságuk, a nagy kémiai ellenálló képesség és a nagyon kis elektromos vezetőképesség is. Kémiai behatásoknak igen jól ellenállnak, csupán oxidációra érzékenyek. Ezt a tulajdonságot a tárolás során jelentkező napfény besugárzásnál, valamint a feldolgozás (hegesztés) során jelentkező hőhatásoknál kell elsősorban figyelembe venni.

2.4.2. A keletkezett anyagok jellemzése

Az átalakítási folyamat végterméke a hőmérséklet és katalízis hatására létrejött telített és telítetlen frakciók keveréke. A végtermék szénhidrogének keveréke, amely felhasználható üzemanyag előállításához, háztartási vegyszerek alapanyagaként, valamint egyéb vegyi termékek (petróleum, viasz, parafin, hígító folyadékok) előállításához.

A termékek mennyisége széles tartományban változhat a pirolízis hőmérsékletétől, a felfűtési sebességtől, a pirolízis időtartamától, a reaktor típusától, a nyomástól, reaktív gázok vagy folyadékok alkalmazásától, a műanyag kémiai összetételétől és felépítésétől, valamint a benne lévő adalékoktól, és katalizátorok jelenlététől függően.

. táblázat: A különböző műanyagok pirolízis termékei

Alapanyag	Pirolízis hőmérséklete [oC]	Gáz tömeg [%]	Olaj tömege [%]	Maradék tömege [%]	Egyéb termék tömege [%]
Polietilén PE	760	558	42,4	1,8 C	42 parafin viasz

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Polietilén PE	530	7,6	50,3	0,1	42 parafin viasz
Polipropilén PP	740	49,6	48,8	1,6 C	42 parafin viasz
Polisztirol PS	580	9,9	24,6	0,6	64,9 sztirol
Keverék PE/PP/PS	750	52	46,6	1,4	64,9 sztirol

. táblázat: Az olaj visszanyerési arány műanyag típusonként

Műanyag típus	Reakció hőmérséklet	Visszanyert olaj [l/kg]	Melléktermék [tömeg %]
PE	420	0,94	1,86
PP	400	1,15	0,15
PS	350	0,95	5,28
PE (70) PP (15), PS(15)mix	420	1,02	0,96
Rugalmas konténer tárkánk	390	0,96	2,20

A mennyiségi adatok mellett igen fontos a technológia szempontjából is és a környezetterhelés szempontjából is az anyagok minőségének alakulása a

A műanyagolaj laboratóriumi vizsgálata során a jegyzőkönyv adatai alapján a vizsgálati eredményeket a következő részben ismertetjük.

Műanyagolaj vizsgálati eredmények

A termolízis során keletkezett végtermékek közül az olajat laboratóriumi vizsgálatoknak vetették alá. A laboratóriumi vizsgálatokat érvényes és elfogadott nemzetközi szabványok alapján végezték. A laboreredményekről jegyzőkönyvek készültek.

Az olajminták jegyzőkönyvei alapján történt összehasonlítás eredményeit a következő táblázat mutatja.

2.4. táblázat: Olaj végtermék bemérés jegyzőkönyvének eredményei (SGS labor):

Megnevezés (EN)	Megnevezés (HU)	Oil-Plastic pyrolysis oil	Oil-Plastic distillation oil,

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

		(ST17-02795.002)	(ST17-02795.001)
Sulfur	Kén	< 0,030 % (m/m)	< 0,030 % (m/m)
TAG Flash Point (Closed cup)	Lobbanáspont	25,5 oC	<10 oC
Ash	Hamu	< 0,001 % (m/m)	< 0,001 % (m/m)
Cadmium	Kadmium	<1 mg/kg	<1 mg/kg
Chromium	Króm	<1 mg/kg	<1 mg/kg
Lead	Ólom	<1 mg/kg	<1 mg/kg
Arsenic Content (Spot)	Arzén tartalom	<1 mg/kg	<1 mg/kg
Density at 15oC	Sűrűség	782,5 kg/m ³	785,7 kg/m ³
Kinematic Viscosity at 40oC	Kinematikai viszkozitás	1,556 mm ² /s	1,615 mm ² /s
Atmospheric Distillation 90% Recovered at	Atmoszférikus desztilláció	332,6 oC	341,1 oC
Pour Point at 1oC Intervals	Dermedéspont	2 oC	2 oC
Copper Corrosion 3 h at 50 oC	Réz korrózió	1a	1a
Cetane Index by Four-variable Equation	Cetán index	>56,5 Rating	>56,5 Rating
Visual Colour	Szín	Brown	Yellow
Gross Heat of Combustion	Bruttó égéshő	46,230 MJ/kg	46,400 MJ/kg
Net Heat os Combustion of Light Oil	Nettó égéshő	42,970 MJ/kg	43,300 MJ/kg
Acid Number (Inflection end-point)	Savszám (Inflexió végpont)	0,4 mg KOH/g	<0,1 mg KOH/g

A vizsgálatba bevont két minta esetében számos esetben kimutatási határérték alatti eredményeket láthatunk. Számos esetben a két minta mért értékei azonos mérési tartományba estek. Néhány mért paraméter esetében különbség mutatkozott a mért értékek között ezek:

- lobbanáspont,
- sűrűség,
- kinematikai viszkozitás,
- atmoszférikus desztilláció,
- szín,
- égéshő
- savszám

Dr. Szirmai Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A felsorolt mért paraméterek közötti különbség ugyanakkor nem túl nagymértékű, így felmerül a kérdés, hogy a két vizsgálatba bevont minta felhasználás szempontjából mennyire különbözik egymástól.

A termolízis folyamat során a gyakorlatban, a helyben keletkezett végtermék és a kereskedelmi forgalomban alkalmazott hajtóanyagok között milyen különbség mutatható ki. Ha fizikai tulajdonságaik között nem túl nagy jelentőségű különbségek mutathatók ki, akkor jogos a feltételezés, hogy hasonló felhasználási célra alkalmasak lehetnek.

2.4.3. A technológia anyagmérlege

A feldolgozási folyamat az anyag átalakításával a reaktorokon belül kezdődik. A működés folyamatos, a rendszer napi termelést, és - a karbantartási, tisztítási ciklusokat figyelembe véve - évi 300 napot képes üzemelni. A folyamat a következő lépésekből áll:

- A szükséges mennyiségű feldolgozandó anyag beszállítása a telephelyre.
- A beszállított alapanyag előkészítése a műszaki követelmények kielégítése érdekében (ezáltal biztosítható a végtermék jobb minősége és a termelés folyamatossága).
- Az alapanyag betöltése a hidraulikus présrendszeren keresztül.
- Folyamatos polimer degradálási eljárás fenntartása.
- A végtermék tárolása és kiszállítása.
- A rendszer szükséges karbantartása és a kiegészítő berendezések működési hatékonyságának a biztosítása.

Az üzemeltetési feltételeket figyelembe véve a feldolgozás során felhasznált és keletkezett anyagok mennyiségét az anyagmérleg alakulása mutatja meg. A következő táblázat a folyamat anyagmérlegét mutatja.

2.5. táblázat: Az anyag mérleget alakulása

Adsorbens:	0,75 kg/óra	18 kg/nap	450 kg/hó	5 400 kg/év	
Hűtővíz fogyasztás:	50 kg/óra	1200 liter/nap	30 t/hó	360 t/év	
Fűtésre fel nem használt szintézisgáz:	51 kg/óra	1224 kg/nap	31 t/hó	367 t/év	
Levegő:	729 kg/óra	17 t/nap	437 t/hó	5 249 t/év	
Bemenő nyers műanyag tömegáram:	500 kg/óra	12,0 t /nap	300 t/hó	3 600 t/év	
Nyers műanyag fűtőolaj:	315 kg/óra	7,6 t /nap	189 t/hó	2 268 t/év	63%

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Szintézisgáz:	90 kg/óra	2 t /nap	54 t/hó	648 t/év	18%
Füstgáz (ebből):	819 kg/óra	0 t /nap	491 t/hó	5 897 t/év	
Nitrogén, vitt szén-dioxid, nemes gázok, egyéb:	330 kg/óra	7,93 t /nap	198 t/hó	2 378 t/év	
égésből: Szén-dioxid:	293 kg/óra	7,02 t /nap	176 t/hó	2 106 t/év	
Égés során keletkezett víz:	196 kg/óra	4,71 t /nap	118 t/hó	1 413 t/év	
Korom, a füstgáz szilárd tömegaráma (PM):	3 mg/nm ³	61 g/nap	2 kg/hó	22 kg/év	
Nitrogén oxidok (NO _x):	3 mg/nm ³	25 g/nap	1 kg/hó	9 kg/év	
Szén-monoxid (CO):	3 mg/nm ³	22 g/nap	1 kg/hó	8 kg/év	
El nem égett szénhidrogének (TOC):	3 mg/nm ³	15 g/nap	0,4 kg/hó	5 kg/év	
Szilárd maradék:	60,75 kg/óra	1,44 t /nap	36 t/hó	432 t/év	12%
műanyagból:					
Víz:	35 kg/óra	0,84 t /nap	21 t/hó	252 t/év	7%
összesen:					
Víz:	281 kg/óra	1,2 t /nap	30 t/hó	360 t/év	10%

Éves működési idő: 7200 üzemóra; 600 móra/hónap

Az anyagszámlálás megmutatja egy adott termelési ciklusra vonatkozó felhasznált és keletkezett anyag mennyiségét. A folyamat tovább jellemezhető az energiafélések elkülönítésével és az energetikai jellemzők elemzésével. A következő táblázat az energetikai adatokat szemlélteti.

2.6. táblázat: Energia folyamatok

BE	Energia félése	Energia	Teljesítmény	Hőmérséklet	
	Műanyag hulladék energia tartalma:	17000 MJ	4722 kW	20 °C	39
	Segéd energia: elektromos áram:	165,6 MJ	46 kW	20 °C	kalkulált
	Segéd energia: PB vagy szintézisgáz:	216 MJ	60 kW 6db	850 °C	1 326MJ
KI	Kitermelt műanyag olaj égéshő:	11050 MJ	3069 kW	20 °C	65%
	Fel nem használt szintézisgáz égéshő:	1734 MJ	482 kW	20 °C	
veszteségek:	Füstgáz maradék entalpia:	2040 MJ	567 kW	450 °C	12%
	Szilárd maradék entalpia:	510 MJ	142 kW	145 °C	3%
	Hőkisugárzás entalpia:	680 MJ	189 kW	65 °C	4%

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

	Hűtővíz entalpia:	2720 MJ	756 kW	85 °C	16%
	Energia hatékonyság:	74%			

3. A technológia újdonságtartalma

Ebben a fejezetben az újszerű, egyedi kialakítású termolízis technológia (RB) robbanásbiztos technológiai megoldásai kerülnek bemutatásra.

Majd a technológia részét képező inertizálás folyamatát mutatjuk be az üzemi körülményekre alkalmazva.

Végül a termolízis üzemben keletkezett végtermékek hasznosíthatóságának kísérleti eredményeit szemléltetjük.

3.1. Az újszerű RB-s technológia megoldásai

Az újonnan kialakított termolízis technológia módosítására azért volt szükség, hogy a reaktoron, csővezetéken, hőcserélőkön, tartályon kívül, ne legyen robbanásveszélyes a környezet.

Az újonnan kialakított rendszer esetében elsősorban a következő újítások kerültek a technológiába beépítésre:

- a tartósan tömített kötésekkel sikerült elérni az előírásoknak való megfelelést,
- a telepített rendszernél menetes kötés DN50-ig került csak alkalmazásra,
- az alkalmazott karimatömítések mindenhol fésűs (spirál) tömítéssel vannak ellátva,
- a technológiába épített forgó tömítések folyadékszár alattiak,
- a folyadékszárallal ellátott tömítések folyadékszintjét – azaz a tömítettséget – egy külső tartályban elhelyezett elektronikus jel kiadására alkalmas jeladóval érzékeljük.

A következőkben a robbanásbiztos technológiai folyamat rövid leírására térünk ki.

Az alkalmazott termokémiai kezelés során inert atmoszférában 350 - 490 °C közötti hőmérsékleten a műanyag megolvad, abból gőzök, gázok szabadulnak fel. A nagyobb szénláncú polimerek kisebb szénláncú szénhidrogén gyökökké degradálódnak. A berendezés alkalmas, az egyéb úton már nem hasznosítható, műanyag hulladékok feldolgozására is. A feldolgozás eredményeként, egy folyékony szénhidrogén keverék jön létre. Ez az anyag, mint energiahordozó; lehet üzemanyag, vagy tüzelőanyag, de lehet vegyipari alapanyag további feldolgozásra is alkalmas.

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A készülék belsejében atmoszferikus nyomású feltételek mellett, a műanyag hulladék megolvad, majd felforr. Az alapanyaghoz adagolt abszorbens adalék felületén a szénatomok megkötődnek, lekocszosodnak. A szilárd maradék ezáltal könnyen leválaszthatóvá válik. A láncokból degradálódó szénatomok kiválnak az eredeti anyagszerkezetből, így az anyag szerkezete leépül. A hőbontás során, a hosszú polimer láncok és kötések felszakadnak, rövidebbek jönnek létre és szintézisgáz (szén-monoxid, metán, hidrogén, szén-dioxid) fejlődik. Ez a folyamat a polimerek termokémiai degradációja. A folyamat eredményeként, egyenes láncú szénhidrogén keverék, egy új fizikai és kémiai jellemzőkkel bíró, a könnyebb frakciókat aránylag jelentősebb arányban tartalmazó un. műanyagolaj jön létre, amely egy második generációs megújuló adalékanyag.

A berendezésben jelen pillanatban engedélyezett feldolgozható nyersanyag a polipolefin műanyagok, olyanok, mint **a polietilén (PE) és a polipropilén (PP).**

A folyamat technológiai hőmérséklete (a reakciótömeg hőmérséklete): $T=350 - 490\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A technológiai nyomás értéke az atmoszferikus nyomáshoz közeli ($P=5\text{-}50\text{mbar}$), a technológiai ciklus egésze folyamán. A szénhidrogéneket átalakító reaktor és a szénhidrogén kondenzátor zárt rendszerben üzemelnek. A hűtő egység is zárt rendszerben működik együtt a szellőztetett hűtő berendezéssel, mely elvezeti a hőt a rendszerből.

Az alapanyag betöltő egység feladata a reaktor henger másodlagos műanyaggal való megtöltése. A betöltő DN 800-as karimával csatlakozik reaktorhoz. A betöltéshez a betöltő karimáját a reaktor karimájához kell csavarozni legalább 12 db M16-os csavarral. A betöltést egy hidraulikus munkahenger végzi, melynek elmozdulási úthossza 1100mm. A betöltő nyílás mérete 1050×680mm. A betöltő adagolása a vezérlő egységről indítható. (A hidraulikus tápegység motorja 7,5kW 4p 3x400/690V 50Hz IP55.) A felhasználható tüzelőanyag mérete 3-10cm közötti aprított, idegen anyagtól mentes poliolefin műanyag.

A reaktoron üzemszerűen elhelyezett szabványos PN10-es DN800-as karimához csatlakozik forgásponton elhelyezett PN10-es DN800-as vakkarima ajtó, amely spiráltömítés felhasználásával biztosítja a tartósan tömített kötést. A beadagolás után az ajtót becsukva 120Nm-re kell meghúzni a 24 db M20-as csavart. A lecsavározott tömített ajtó gondoskodik arról, hogy a reaktortér folyamatosan el legyen zárva a környezettől, megakadályozva a nemkívánatos oxigén bejutást a reakciózónába és a folyamat során keletkező gázok kijutását a környezetbe. Az reaktor forgáspontjában, az ajtó közepén elhelyezésre kerül egy folyadékzár alatti tömítéssel ellátott forgó 6/4"-os elosztó, amelyhez csatlakozik az inertizáló nitrogéngáz, 3/4"-os mágnes szelep az inertizáló gőzt létrehozó vízbefecskendezés fűvókája és 1/2"-os mágnes szelep és a lehűtés utáni levegőöblítés 6/4"-os mágnes szelep.



3.1. ábra

A reaktor ajtaján folyadékszár alatti tömítéssel ellátott forgó 6/4"-os elosztó

Mind a két reaktor görgős alátámasztáson forog. A reaktor hátsó oldalán helyezkedik el a DN 200-as gáz és salak kivezető rozsdamentes cső, amely folyadékszár alatti tömítéssel ellátott, tartósan tömített. A DN200-as csőben egy rozsdamentes tengely nélküli csiga van, amelynek meghajtó tengelye szintén folyadékszár alatti kettős tömítéssel ellátott. A tároló csiga hajtását egyenes hajtóművön keresztül egy 5,5kW 4p 3x400/690V 50Hz IP55 aszinkronmotor hajtja. A folyadékszár egy 60 literes szelepes tartályból van ellátva víz utánpótlással, amely keringetését szivattyú végzi a folyadékszárban a tömítés hűtése érdekében. A tartályban található egy szintérzékelő, amely a vízszint esése esetén reteszelő jelet szolgáltat az irányítástechnikának. Ezzel leállításra kerül a reaktor fűtése és elindul az inertizálás.

A következő ábrán a rozsdamentes tengely nélküli csiga folyadékszár alatti kettős tömítéssel látható.



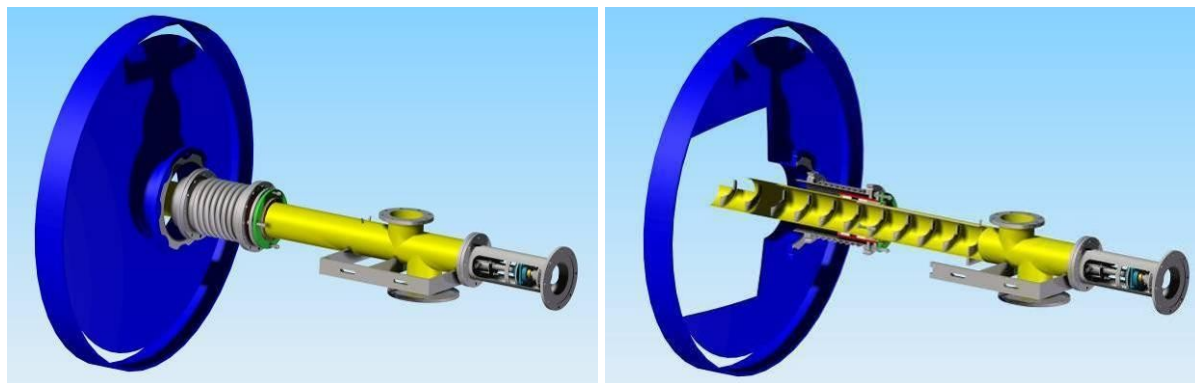
Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



3.2. ábra

Rozsdamentes tengely nélküli csiga folyadékzár alatti kettős tömítéssel

A következő 3.3. ábra a tengely nélküli kitároló csiga műszaki rajz dokumentációját mutatja a könnyebb érthetőség kedvéért.



3.3. ábra

A tengely nélküli kitároló csiga műszaki rajz dokumentációja

Kitárolás során a reaktor ellentétes irányba kell forgatni, így a reaktorban elhelyezett belső spirál és emelő lapátok a szilárd maradványokat a gáz és salak kivezető rozsdamentes csigába juttatja. Kitárolás során a gáz és salakkivezetőben elhelyezett csigát is járatni szükséges.

3.2. Inertizálás folyamata

A 22 m³-es reaktort belső terét a tüzelőanyag betöltését követően inertizálni szükséges. A közel 6 tonna laza térfogatú töltet kitölti a reaktorteret. A szabad térfogat megközelítőleg 10m³, ennek inertizálására felhasználásra kerül 50m³ nitrogén gáz, amelyet 5x10m³ (50l-es palack 200 bar nyomás) nitrogénpalack szolgáltat. A nitrogénpalackokra nyomáscsökkentő kerül, a forgócsatlakozónál a mágnesszelep előtt az inert gáz nyomása 2 bar. Az inertizálás során a gáztöbblet a fáklyán keresztül kerül a szabadba. A maradéknyomást a fáklyánál elhelyezett vízzár biztosítja, amely 5mbar. A reaktor gáz és salak kivezető csövön elhelyezésre kerül egy 100mbar-os

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

nyomás távadó (Cressto TMG418Z3FJBI; ATEX I M1 Ex ia I Ma), melynél az inertizálási nyomás ellenőrizhető. Ha a nyomás csökken, akkor a forgócsatlakozón elhelyezett mágnes szelep nitrogént enged a rendszerbe. Ha a nyomás 3mbar alá csökken, a fűtés azonnal leállításra kerül.

A rendszer gáztömörsége is a feltöltés utáni inertizálással ellenőrizhető. Ha 15 percig a rendszer tartja az 5mbar-os túlnyomást rátöltés nélkül, akkor gáz-tömörnek tekinthető és a folyamat indítható.

A betöltés után sikeres inertizálás esetén indítható a reaktor fűtése. A reaktor túlnyomással üzemel. Ha a gázok nyomása meghaladja a 10mbar-t elindul a nyomásfokozó és a gáz elszívásával és tartja a beállított reaktornyomást.

A folyamat két paraméter bekövetkezésekor tekintjük befejezettnek és leállítjuk a reaktor fűtését. Ha elértük a beállított hőmérsékletet (340-490°C) és a gázképződés is leállt. A gázképződés megszűnését a reaktornyomásból látszik. Ha a fűvő leállt (Preaktor<10mbar) és visszaesett 5mbar-ra melyet a vízzár biztosít.

A standard vagy vész leállítás utáni inertizálás

A reaktort 300°C-ig hagyjuk hűlni, a füstgázventilátor elszívás működtetésével az égőfejeket keresztül a szabadból friss levegőhűtéssel. Ha elértük az előző hőmérsékletet, akkor elzárjuk a kondenzáló hőcserélők felé vezető gázcsövet és kinyitjuk a megkerülő inertizálási gázvezetékét és megkezdődik a ködképző fűvőkán keresztül a reaktorba a vízbefecskendezés 2,7 l/min-nel 30 percen keresztül. Az így befecskendezett 80 liter víz 135m³ gőzt produkál és várhatóan 230°C-ra hűti a reaktort. Mivel még 100°C feletti a rendszerhőmérséklet nem várható kondenzáció. Ezután a reaktor tovább hagyjuk hűlni. A 180°C elérés után friss levegővel 5-ös légcserével átöblítjük a reaktort egy 290m³/h szállítású oldalcsatornás fűvő segítségével 40 percen keresztül.

A leállítás utáni inertizálás elvégzésével kezdődhet meg szilárd maradványadag kiadagolás. A szilárd maradványanyag kitárolása után válik nyithatóvá a reaktor betöltő nyílás

Az épület szellőztetése

Az épületet alapterülete 425 m² , térfogata 2093 m³ . Az épület szellőztetése a felszabaduló hő elszállítása érdekében 2 db DX 630/R/8-8/40/400 14000m³/h szállítóképességű befűvő ventilátor szellőzteti. Az alap szellőztetés mértéke 13-as légcseré, amely meghaladja a vész szellőztetés 5-ös légcseréjének biztosítását, így külön vész szellőztető ventilátor nem kerül beépítésre, csak a ventilátorok szünetmentes táplálása biztosított. A ventilátorok az épület elejében az oldalfal közép magasságában egymással szemközti oldalon kerültek elhelyezésre és az épület hossza mentén szellőztetnek. A levegő kiáramlása az épület ellentétes oromfalán alul és felül elhelyezett szabad nyílások szolgálnak. A technológiába reaktoronként elhelyezésre kerül 1-1 db gázérzékelő

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

gyűjtőernyővel, amely ARH 20%-nál riasztást ad, 40%-nál áramtalanítja a nem RB-s berendezéseket. A 2mx2m-es gyűjtő ernyő a reaktor gáz és salak kivezető csöve a folyadékszár alatti tengelytömítés felett került elhelyezésre.

3.3. A keletkezett végtermék gyakorlati alkalmazhatósága az iparban

A műanyagolaj felhasználására az olyan motorok tűnnek a legalkalmasabbnak, amelyek a mezőgazdasági erőgépekben találhatók. Ezek a motorok dízel tüzelőanyag ellátó rendszerrel ellátott, kompresszió gyújtásúak.

Ezen motoroknak attól függetlenül, hogy elsősorban nem a közúti közlekedésben vesznek részt, számos hatásági előírást kell betartaniuk. A legfontosabb az égés során keletkezett kipufogó gázokra vonatkozó emissziós előírások betartása.

3.3.1. Dízel-motor hatásági előírások összehasonlítása

A konstruktőrök az elmúlt évtizedekben a dízel-motor hátrányos jellemzőit igyekeztek megszüntetni. (Ilyen hátrányos jellemzők: a téli hidegindítási nehézségek, fokozott zajkibocsátás, kis fordulatszám-tartomány, erőteljes füstölési hajlam, irritáló hatású, kellemetlen szagú, szmogképző szénhidrogén-emisszió, nagy NO_x és részecske emisszió, nagy motortömeg.) Törekedtek a kis tüzelőanyag fogyasztásra, nagy motor fajlagos teljesítményre és nyomatékra. Nemzetközi igény mutatkozott arra, hogy a káros anyag kibocsátást mérsékeljék. Előtérbe került a környezetvédelem, ezen belül a légszennyezés. Világszinten több erre vonatkozó előírást hoztak létre, amely pontosan előírta a kibocsájtható káros anyagok mennyiségét. Az évek során ezeket a határértékeket fokozatosan szigorították az egyre növekvő számú kibocsájtó forrás miatt. A fokozatosság okai a megvalósíthatóság és a költséghatékonyság voltak.

Erőgépek dízel-motorjainak emissziós hatásági előírásai

A mezőgazdasági erőgépek dízel-motorjainak emissziós előírásait az ENSZ-EGB-96. számú (2012) előírás tartalmazza. Ez az előírás pontosan meghatározza a mérés körülményeit és menetét. A különböző traktor kategóriákat motorteljesítmény szerint osztályozza és rögzíti az adott kategóriához tartozó emissziós határértékeket.

A traktor dízelmotor levegőszennyező hatásának mérséklésével az országok hatásági kezdetben nem foglalkoztak. A közúti gépjárművek levegőszennyeződésre vonatkozó hatásági vizsgálatok 1952-ben kezdődtek el, először az USA-ban, amelyet hamarosan a világ más országai is követtek.

Dr. Szirmai Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A mezőgazdasági traktorok levegőszennyeződésének mérséklésére először 1994-ben az USA-ban született hatósági előírás, amelynek vizsgálati módszerét és előírásait kisebb módosításokkal 1996-ban Japán, 1997-ben az Európai Unió, 2007-ben Kína és legutóbb 2008 decemberében India és Törökország is átvette.

Az Amerikai Egyesült Államokban a környezetvédelmi ügynökség már 1979 óta foglalkozik különböző előírások bevezetésével a levegőszennyezés szabályozására. Az ő általuk alkalmazott előírás az NSPS (New Source Performance Standards). Amerikában Európától független szabályozás szerinti előírások vannak a káros anyag kibocsátás határértékeire, de ezek a határértékek minimális eltérést mutatnak az európai Stage szabvánnyal. Az amerikai előírások sajátossága, hogy helyi szinten eltérhetnek ezek az előírások. Erre láthatunk példát Kaliforniában, ahol a helyi törvényhozás az állami szabályoktól eltérő, szigorúbb előírásokat alkalmaz.

Általában a következő kipufogógáz-összetevők korlátozására vonatkoznak a hatósági előírások:

- szén-monoxid (CO)
- szénhidrogének (HC), nem metán tartalmú szénhidrogének (NMHC),
- nitrogén-oxidok (NO_x),
- részecske (PM).

Az új traktor dízelmotor (new nonroad diesel engines) típusvizsgálatára vonatkozó amerikai emissziós határértékeket az U.S. EPA (Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala) előírása rögzíti. Ezt a következő táblázatokban láthatjuk. A 3.1. táblázat Dízel kipufogógáz U.S. EPA Tier 1-3 emissziós határértékeit mutatja.

Az EPA előírásaiban a besorolási fokozatokra a „tier” (tiőr) angol szót használják, amelynek magyar jelentése sor, számsor. A Tier 4 fokozatos, részleges bevezetése miatt előzetes (Interim Tier 4) és végleges (Final Tier 4) fokozatot is megkülönböztetnek. A 3.2. táblázat Dízel kipufogógáz U.S. EPA Tier 4 emissziós határértékeit szemlélteti.

3.1. táblázat Dízel kipufogógáz U.S. EPA Tier 1-3 emissziós határértékei

Traktor dízelmotor kipufogógáz U.S. EPA Tier 1-3 emissziós határértékei

P nettó teljesítmény (kW)	Kategória	Alkalmazás éve	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NMHC+NOx (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)
P < 8	Tier 1	2000	8	-	10,5	-	1
	Tier 2	2005	8	-	7,5	-	0,8
8≤P<19	Tier 1	2000	6,6	-	9,5	-	0,8
	Tier 2	2005	6,6	-	7,5	-	0,8
19≤P<37	Tier 1	1999	5,5	-	9,5	-	0,8
	Tier 2	2004	5,5	-	7,5	-	0,6
37≤P<75	Tier 1	1998	-	-	-	9,2	-
	Tier 2	2004	5	-	7,5	-	0,4
	Tier 3	2008	5	-	4,7	-	.*
75≤P<130	Tier 1	1997	-	-	-	9,2	-
	Tier 2	2003	5	-	6,6	-	0,3
	Tier 3	2007	5	-	4	-	.*
130≤P<225	Tier 1	1996	11,4	1,3	-	9,2	0,54
	Tier 2	2003	3,5	-	6,6	-	0,2
	Tier 3	2006	3,5	-	4	-	.*
225≤P<450	Tier 1	1996	11,4	1,3	-	9,2	0,54
	Tier 2	2001	3,5	-	6,4	-	0,2
	Tier 3	2006	3,5	-	4	-	.*
450≤P<560	Tier 1	1996	11,4	1,3	-	9,2	0,54
	Tier 2	2002	3,5	-	6,4	-	0,2
	Tier 3	2006	3,5	-	4	-	.*
P≥560	Tier 1	2000	11,4	1,3	-	9,2	0,54
	Tier 2	2006	3,5	-	6,4	-	0,2

Megjegyzés: * Nem előírt, de illő alkalmazni a Tier 2 PM-re vonatkozó előírást

3.2. táblázat Dízel kipufogógáz U.S. EPA Tier 4 emissziós határértékei

Traktor dízelmotor kipufogógáz U.S. EPA Tier 4 emissziós határértékei, 560 kW motorteljesítményig

P nettó teljesítmény (kW)	Alkalmazás éve	CO (g/kWh)	NMHC (g/kWh)	NMHC+NOx (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)
P<8	2008	8,0 (6,0)	-	7,5 (5,6)	-	0,4a (0,3)
8≤P<19	2008	6,6 (4,9)	-	7,5 (5,6)	-	0,4 (0,3)
19≤P<37	2008	5,5 (4,1)	-	7,5 (5,6)	-	0,3 (0,22)
	2013	5,5 (4,1)	-	4,7 (3,5)	-	0,03 (0,022)
37≤P<56	2008	5,0 (3,7)	-	4,7 (3,5)	-	0,3b (0,22)
	2013	5,0 (3,7)	-	4,7 (3,5)	-	0,03 (0,022)
56≤P<130	2012	5	0,19	-	0,4	0,02
	2014c	3,7	0,14	-	0,3	0,015
130≤P<560	2011	3,5	0,19	-	0,4	0,02
	2014d	2,6	0,14	-	0,3	0,015

Megjegyzés: léghűtéses motorra PM értéke 0,8 g/kWh 2009-ig; illetve 0,6 g/kWh 2010-ig;

b – PM 0,4 g/kWh (Tier 2), ha a gyártó vállalja a 0,03 g/kWh érték elérését 2012-ig;

c – PM/CO 2012-ig, NOx és HC teljesítése folyamatos a külön szabályozás szerint 2014.12.31-ig;

d – PM/CO 2011-ig, NOx/HC a motorok 50 %-ának eleget kell tenni 2011-2013 időszakban;

interim Tier 4, vagy Tier 4i jelölés, ha a határértékek nem érik el a zárójelben szereplő értéket;

transitional Tier 4, vagy Tier 4A jelölés, ha a NMHC+NOx értéke nem éri el a zárójelben szereplőt

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Az Európai Unió először 1997. december 16-án (Directive 97/68EC - Európai Parlament és Tanács 97/68/EK irányelve) szabályozta a traktor (nonroad mobile equipment) dízelmotor típusvizsgálat során betartandó kipufogógáz emissziós határértékeket. Az EU Stage I és Stage II szabályozási fokozat határértékeit (3.3. táblázat tartalmazza) és vizsgálati módszerét az uniós csatlakozásunk előtt a 44/2001. (XII. 18.) KÖHÉM rendelet hazánkban is kötelezővé tette.

3.3. táblázat Dízel kipufogógáz EU Stage I/II emissziós határértékei

Traktor dízelmotor kipufogógáz EU Stage I/II emissziós határértékei (Az emissziós mérések: ISO 8178 C1 szerint 8 pontos vizsgálattal)

Motor-kategória jele	P nettó teljesítmény (kW)	Hatályos	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)
Stage I [I. szabályozási fokozat]						
A	$130 \leq P \leq 560$	1999	5	1,3	9,2	0,54
B	$75 \leq P < 130$	1999	5	1,3	9,2	0,7
C	$37 \leq P < 75$	1999	6,5	1,3	9,2	0,85
Stage II [II. szabályozási fokozat]						
E	$130 \leq P \leq 560$	2002	3,5	1	6	0,2
F	$75 \leq P < 130$	2003	5	1	6	0,3
G	$37 \leq P < 75$	2004	5	1,3	7	0,4
D	$18 \leq P < 37$	2001	5,5	1,5	8	0,8

Az európai előírások is rendre szigorodnak, Az EU Stage III A (3.4. táblázat tartalmazza), a Stage III B (3.5. táblázat tartalmazza), és Stage IV (3.6. táblázat tartalmazza) szabályozási fokozat határértékeit és bevezetésük határidejét is mutatja.

3.4. táblázat Dízel kipufogógáz EU Stage III A emissziós határértékei

Traktor dízelmotor kipufogógáz EU Stage III A emissziós határértékei

Motor-kategória jele	P nettó teljesítmény (kW)	Hatályos	CO (g/kWh)	NOx+HC (g/kWh)	PM (g/kWh)
H	$130 \leq P \leq 560$	2006	3,5	4	0,2
I	$75 \leq P < 130$	2007	5	4	0,3
J	$37 \leq P < 75$	2008	5	4,7	0,4
K	$19 \leq P < 37$	2007	5,5	7,5	0,6

3.5. táblázat Dízel kipufogógáz EU Stage III B emissziós határértékei

Traktor dízelmotor kipufogógáz EU Stage III B emissziós határértékei

Motor-kategória jele	P nettó teljesítmény (kW)	Hatályos	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)
L	$130 \leq P \leq 560$	2011	3,5	0,19	2	0,025
M	$75 \leq P < 130$	2012	5	0,19	3,3	0,025
N	$56 \leq P < 75$	2012	5	0,19	3,3	0,025
P	$37 \leq P < 56$	2013	5	4,7*		0,025

Megjegyzés: Az ammónia emisszió nem haladhatja meg a 25 ppm értéket a vizsgálati ciklus alatt

* NOx+HC

3.6. táblázat Dízel kipufogógáz EU Stage IV emissziós határértékei

Traktor dízelmotor kipufogógáz EU Stage IV emissziós határértékei

Motor-kategória jele	P nettó teljesítmény (kW)	Hatályos	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)
Q*	$130 \leq P \leq 560$	2014	3,5	0,19	0,4	0,025
R	$56 \leq P < 130$	2014	5	0,19	0,4	0,025

Megjegyzés: Az ammónia emisszió nem haladhatja meg a 25 ppm értéket a vizsgálati ciklus alatt

3.3.2. Traktor dízelmotor kipufogógáz emissziós vizsgálatok

A traktor dízelmotor kipufogógáz emissziós vizsgálatának módszere az amerikai és az európai szabványok szerint megegyezik. A traktorból kiszerelt dízelmotor kipufogógázának emissziós értékeit fékpadra szerelve vizsgálják, előírt körülmények és külön vizsgálatokra előállított hajtóanyag alkalmazása mellett.

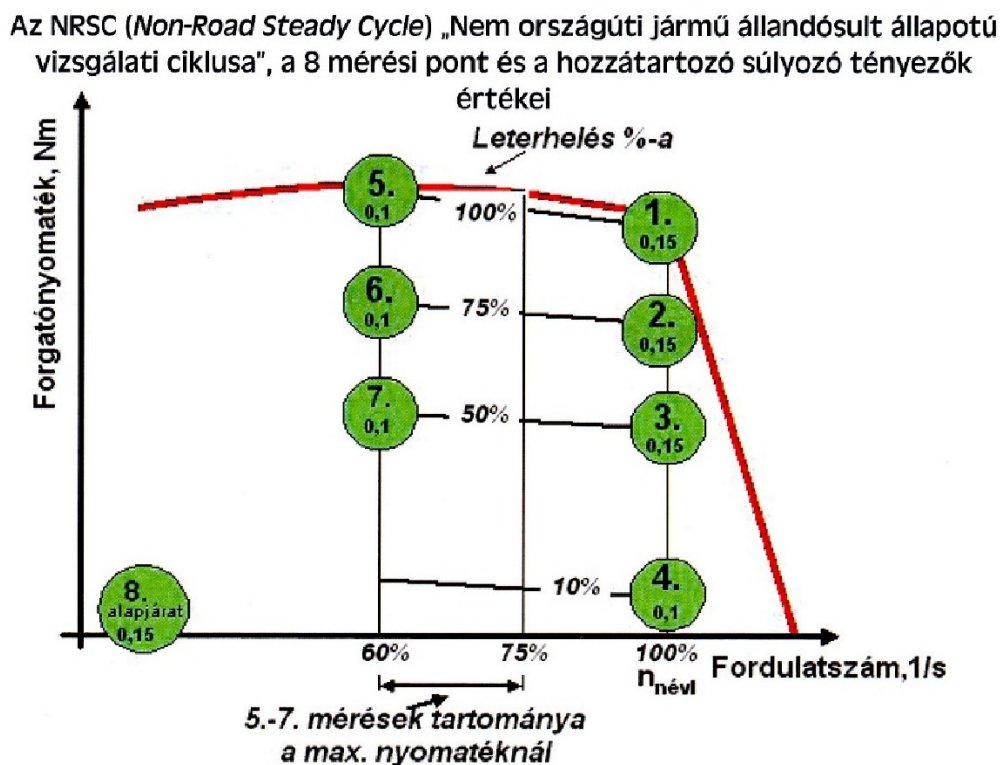
A motor mérésére kerülő kipufogási emissziói tartalmazzák a gáznemű összetevőket (szén-monoxid, összes szénhidrogén és nitrogén-oxid) és részecskék. Azon felül, gyakran használnak szén-dioxidot, mint nyomjelző gázt a részleges és teljes hígító rendszerek hígítási arányának meghatározásához. Jó mérnöki gyakorlat tanácsolja a széndioxid általános mérését, mint kitűnő eszközt a mérési problémák észleléséhez a vizsgálat alatt.

NRSC vizsgálati módszer emisszió mérésre

A vizsgálatok elvégzésére két módszert alkalmaznak.

Az egyik módszer az NRSC (Nonroad Steady Cycle) „Nem országúti jármű állandósult állapotú vizsgálati ciklusa”, amelyet az ISO 8178 C1 (8 mérőpontos) előírása szerint végeznek, ahol az állandósult mérési pontokban mért emissziós értékeket, a motor által kifejtett munkamennyiségre

vonatkoztatnak, és amelyeket különböző súlyozó tényezővel vesznek az összegzésnél figyelembe. Egy ilyen vizsgálati ciklust mutat az 3.4. ábra.



3.4. ábra

NRSC vizsgálati ciklusa emisszió mérésre

NRSC vizsgálatot kell alkalmazni a traktor dízelmotor kipufogógáz U.S. EPA Tier 1, Tier 2 és Tier 3 emissziós érték meghatározásához, illetve az EU Stage I, Stage II és Stage III határértékek vizsgálatához.

Az előírt működési feltételek sorozata alatt, bemelegített motorral, vizsgálják meg a fenti kipufogási emissziók mennyiségét folyamatosan mintát véve a nyers kipufogógázból. A vizsgálati ciklus fordulatszámokból és nyomatéki (terhelési) módokból áll, amelyek lefedik a dízel-motor tipikus működési tartományát. Mindegyik mód alatt meghatározzák mindegyik gáznemű szennyező koncentrációját, kipufogási áramát, a teljesítmény leadást, és a mért kondicionált környezeti levegőt.

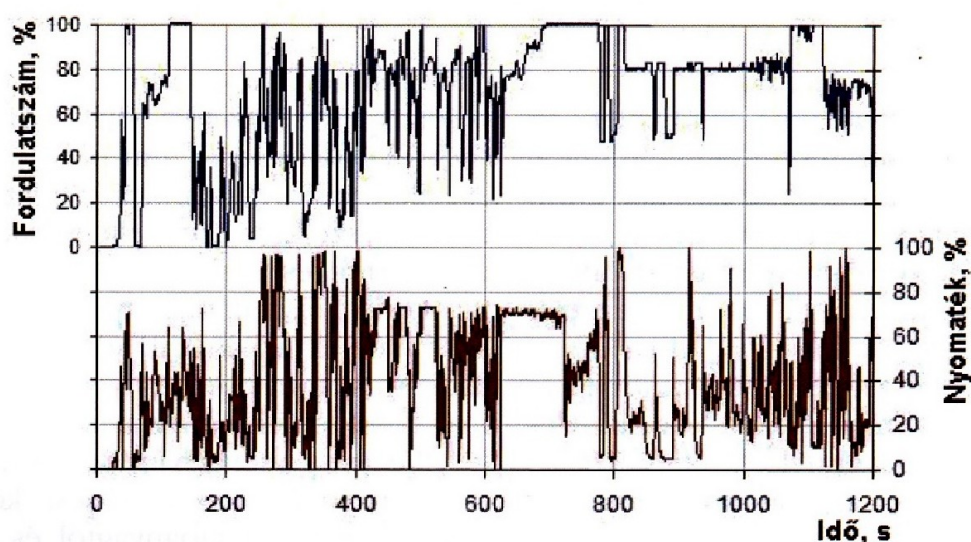
NRTC vizsgálati módszer emisszió mérésre

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A másik vizsgálat az NRTC (Nonroad Transient Cycle) „Nem országúti jármű tranziens vizsgálati ciklusa”. A 3.5. ábra mutat egy ilyen vizsgálati ciklust. Ezt a vizsgálatot az U.S. EPA dolgozta ki a Tier 4 előírásokhoz.

Az NRTC vizsgálat számítógép vezérlésű dinamikus motorvizsgáló fékpaddal végezhető el. Az 1200 másodperc időtartalmú vizsgálat alatt másodpercenként változtatják a dízelmotor fordulatszámát és a terhelését (motor nyomatékát), miközben folyamatosan méri a káros anyagok kibocsátásának mennyiségét, amelyet a motor által kifejtett munkamennyiségre vonatkoztatnak. Ezt a reprezentatív új tranziens emissziós vizsgálatot Európa is átvette és a közeljövőben a megfelelő teljesítmény kategóriákban az EU Stage III B és Stage IV előírásokhoz fogják alkalmazni.

Az NRTC (Non-Road Transient Cycle) „Nem országúti jármű tranziens vizsgálati ciklusa” fent fordulatszám-idő diagram, alul a hozzárendelt nyomaték-idő diagram



3.5. ábra

NRTC vizsgálati ciklus emisszió mérésre

Az NRTC vizsgálatot egy hideg és egy meleg kezdeti állapotú motorral végzik el. Az összesített eredmény meghatározásához a hideg indítású motor emissziós értékeinek 5 %-át, a meleg motorral kezdetű vizsgálat emissziós értékeinek 95 %-át veszik figyelembe.

Az előírt változó ciklus, szorosan a nem-közúti munkagépbe szerelt dízel motorok üzemi feltételein alapulva, kétszer futnak.

- az első idő (hideg indítás), miután a motort szobahőmérsékletre temperálják és a motor hűtőfolyadékának és olajának hőfoka, utókezelő rendszerek és minden kiegészítő vezérlőkészülék 20 és 30°C között állandósult.

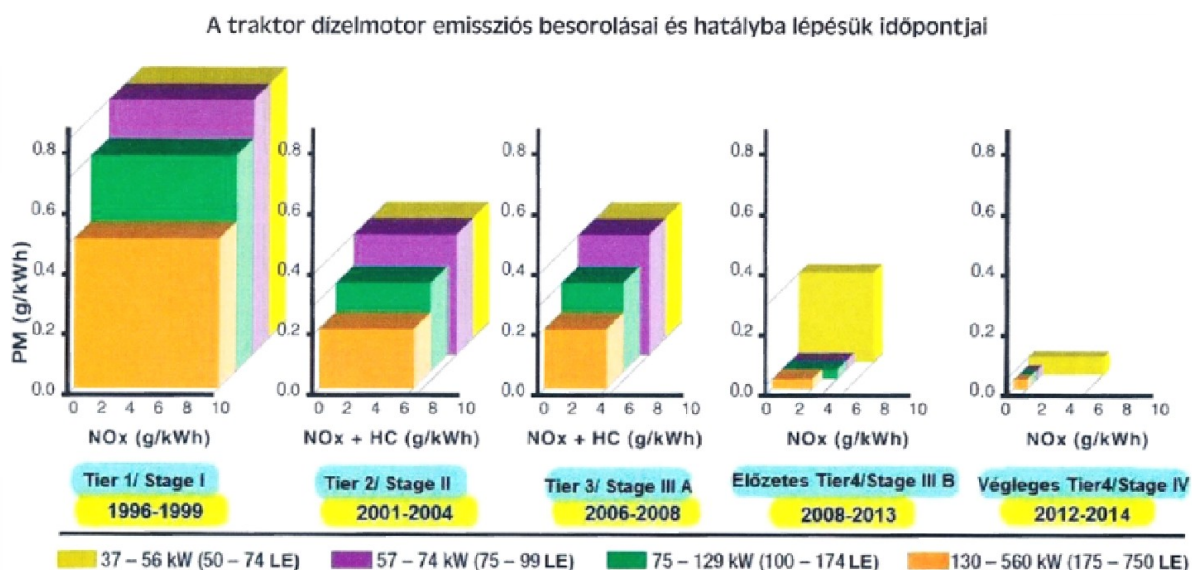
- a második idő (meleg indítás) húsz perc meleg temperálás után, ami megkezdődik közvetlenül a hideg indítási ciklus befejezése után..

E vizsgálati sorozat alatt vizsgálják a fenti szennyezőket. A vizsgálati sorozat hideg indítási ciklusból áll, amit a motor természetes vagy mesterséges lehűtése követ, egy forró periódus és egy meleg indítási ciklus, összetett emissziós számításban végezve. A motorfékpad nyomaték- és fordulatszám visszajelzését használva, integrálják a teljesítményt figyelemmel a ciklusidőre a ciklus alatt a motor által végzett munkában végezve. Meghatározzák a gáznemű összetevő koncentrációját a ciklus alatt vagy a nyers kipufogógázban az elemző jeleinek integrálásával vagy a CVS teljes áramú hígító rendszer hígított kipufogógázában integrálással vagy zsákos mintavétellel. Részecskénél, arányos mintát gyűjtenek a hígított kipufogógázból a meghatározott szűrőn vagy részleges áramú hígítással vagy teljes áramú hígítással. Az alkalmazott módszertől függően meghatározz a hígított vagy nem hígított kipufogógáz áramlási sebességét a ciklusban, hogy kiszámítsák a szennyezők tömeg-emisszió értékét. A tömeg-emisszió értékei vonatkoznak a motor munkájára, ami megadja minden kibocsátott szennyező gramm per kilowattóra értékét.

Mérik az emissziókat (g/kWh) mind hideg, mind meleg indítás alatt. A fentiek alapján megállapítható, hogy az évek elteltével az új traktor dízelmotor levegőszennyező hatása jelentősen csökkent.

Emissziós határértékek összefoglalása

Az 3.1-6. táblázatok adatainak áttekintését könnyíti meg a 3.6. ábra és a 3.7. táblázat, ahol szemléletesen látható a két legkellemetlenebb káros anyag az NOx és a PM mennyiségének drasztikus korlátozása.



3.7. ábra

Korábbi táblázatok áttekintése

3.7. táblázat Dízelmotor kipufogógáz emissziós határértékei (összefoglaló táblázat)

Szabályozási szakasz	2000/25/EK szerinti jelölés	98/67/EK szerinti jelölés (motorkategória)	Teljesítmény (P, kW)	Szennyezőanyag megnevezése és határértékei			
				Szén-monoxid (CO: g/kWh)	Szén-hidrogének (HC: g/kWh)	Nitrogén-oxidok (NOx: g/kWh)	Részecskék (PT: g/kWh)
I.	A	A	130≤P≤560	5,0	1,3	9,2	0,54
		B	75≤P<130	5,0	1,3	9,2	0,70
		C	37≤P<75	6,5	1,3	9,2	0,85
II.	B	E	130≤P≤560	3,5	1,0	6,0	0,2
		F	75≤P<130	5,0	1,0	6,0	0,3
		G	37≤P<75	5,0	1,3	7,0	0,4
		D	19≤P<37	5,5	1,5	8,0	0,8
III. A	C	H	130≤P≤560	3,5	4,0		0,2
		I	75≤P<130	5,0	4,0		0,3
		J	37≤P<75	5,0	4,7		0,4
		K	19≤P<37	5,5	7,5		0,6
III. B	D	L	130≤P≤560	3,5	0,19	2,0	0,025
		M	75≤P<130	5,0	0,19	3,3	0,025
		N	56≤P<75	5,0	0,19	3,3	0,025
		P	37≤P<56	5,0	4,7		0,025
IV.	E	Q	130≤P≤560	3,5	0,19	0,4	0,025
		R	56≤P<130	5,0	0,19	0,4	0,025

Az is látható, hogy a gyártónak érdeke kisebb teljesítménycategóriába besorolni (beállítani) motorját, mert így könnyebben, kisebb ráfordítással teljesíthetik a környezetvédelmi előírásokat. A környezetszennyezésének mérséklése a tisztább traktormotor kialakítás, a dízelmotor tartozékainak fejlesztése, a kipufogógáz utókezelés berendezéseinek látványos alkalmazása (AdBlue), a kisebb kéntartalmú gázolaj stb. természetesen pénzbe kerül, amelyet az üzemeltető fizet meg. A kulturáltabb üzemeltetéshez és az igényes karbantartási feladatok elvégzéséhez nagyobb szakmai ismeretek szükségesek.

3.3.3. Dízel-motorok motorikus vizsgálata

Ahhoz, hogy egy belsőégésű motor, motorikus paramétereit meghatározzuk, különböző vizsgálatokat kell elvégeznünk.

Az összehasonlítás csak ellenőrzött és reprodukálható mérési környezetben végezhető el. A mezőgazdasági erőgépek vizsgálata során, a motort kiszerelik az erőgépből, és egy úgynevezett fékpadra installálják.

Fékpadi mérés

A motorvizsgálatok alapvető eszköze a motor terhelésére, fékezésére szolgáló motorfékpad, amely beállítja és méri a motort terhelő fékerőt. Ezzel párhuzamosan, egyéb műszerek segítségével, méri

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

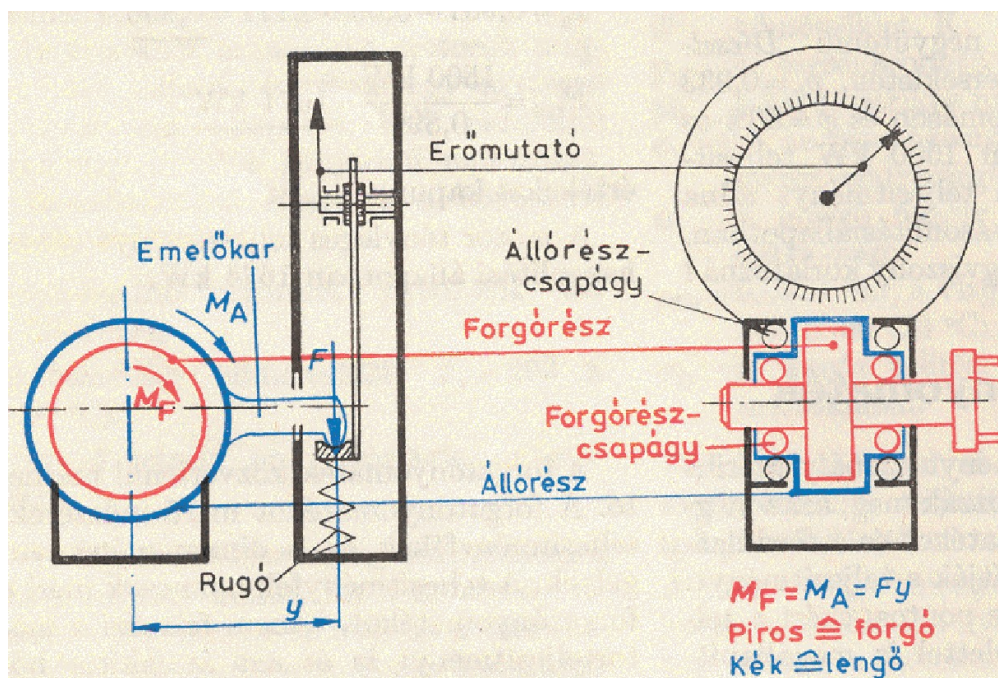
a főtengely fordulatszámát, az elfogyasztott tüzelőanyag mennyiségét, a hengertérben uralkodó pillanatnyi nyomásváltozásokat, valamint a kipufogógáz károsanyag tartalmát. A mért paraméterekből a mérést felügyelő számítógép meghatározza, a motor teljesítményét, nyomatékát, effektív középnyomását, az órák- és valójában fajlagos hajtóanyag fogyasztását.

A motor fékpadi mérésének lényege, hogy a motor főtengelyét adott nyomatékkal terheljük, azaz fékezzük.

A vizsgálatok egy vízörvény fékpaddal lettek elvégezve.

A hidraulikus vagy vízfékpadoknál általában a motor főtengelyéhez, tengelykapcsolón keresztül változtatható mennyiségű vizet magába foglaló házban forgó rotor kapcsolódik. A fékező nyomatékot a folyadék által felvett kinetikai energia szolgáltatja. Az energia felvétel miatt a víz felmelegszik, ezért állandó vízcsere és hűtésről kell gondoskodni. A mérésekhez a vizet egy zárt hűtőkör biztosítja, amelynek feladata megakadályozni a víz túlmelegedését. A túlságosan felmelegedett víz hatására a mérés pontatlanná válik, mivel a víz áramlása során gázbuborékok képződnek a vízben és ez olyan örvénylést okozhat, ami a pontos beállítást megnehezíti.

A mérések az alábbi képeken látható kamrás rendszerű fékpaddal végeztük el. A fékpad elvi működése látható az ábrán. A motor forgása következtében a baloldalon látható fékpadot elbillent M_F [Nm] nyomatékkal. Ez a nyomaték a terhelő erővel $F_{terhelő}$ [N] arányos. A terhelő erő a jobb oldalon látható műszerről leolvasható. Valamint beépített erőmérő cellának köszönhetően a számítógépben található mérőmodul a fordulatszám ismeretében kiszámolja a motor nyomatékát.

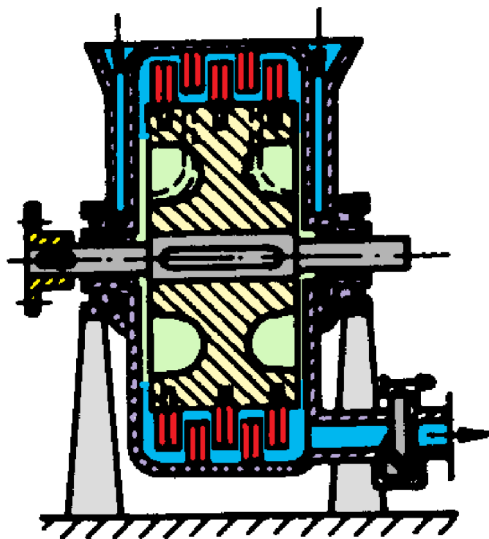


3.8. ábra

A fékpad erőmérő karjának vázlata

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Az alábbi két képen pedig a vízfékpad, metszeti és nézeti képe látható.



3.9. ábra A fékpad kialakítása

a.) A vízfékpad metszeti képe

b) Schöneneck E4 típusú vízfékpad

A mérések során az alábbi paramétereket mérjük:

- F – fékerő (N)
- n – motorfordulatszám (1/min)
- m – elfogyasztott hajtóanyag mennyisége (g)
- t – hajtóanyag elfogyasztásához szükséges idő (s)
- T – hőmérsékletek (OC)
 - beszívott levegő
 - hűtőközeg
 - kenőolaj
 - kipufogógáz
- P_{ny} – nyomásértékek (kPa, bar)
 - turbó

Számolt jellemzők pedig:

- M – nyomaték (Nm)

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

- P_t – teljesítmény (W, kW)
- P_{eff} – effektív középnyomás (kPa, bar)
- B_t – óránkénti hajtóanyag-fogyasztás (kg/h)
- b_t – fajlagos hajtóanyag-fogyasztás (g/kWh)

Fogyasztásmérés

A mérés során rendkívül fontos az elfogyasztott tüzelőanyag mennyiségének mérése. Ennek alapja, hogy meghatározott térfogatú vagy tömegű tüzelőanyag-mennyiség elfogyasztásának idejét mérjük. A mennyiségből és az időből számítható a fogyasztás. A tüzelőanyagfogyasztás-mérők két nagy csoportra oszthatók: a térfogati elven és tömegmérésen alapuló fogyasztásmérőkre.

A tömegmérési elvet alkalmaztuk. Ennek előnyös tulajdonsága, hogy a tüzelőanyag sűrűségéből, valamint a mérőedény falán visszameredő hajtóanyag mennyiségből származó pontatlanságok kiküszöbölhetők. A következő ábra a kaliber típusú tömegmérés elvén működő fogyasztásmérőt ábrázolja.

3.10. ábra

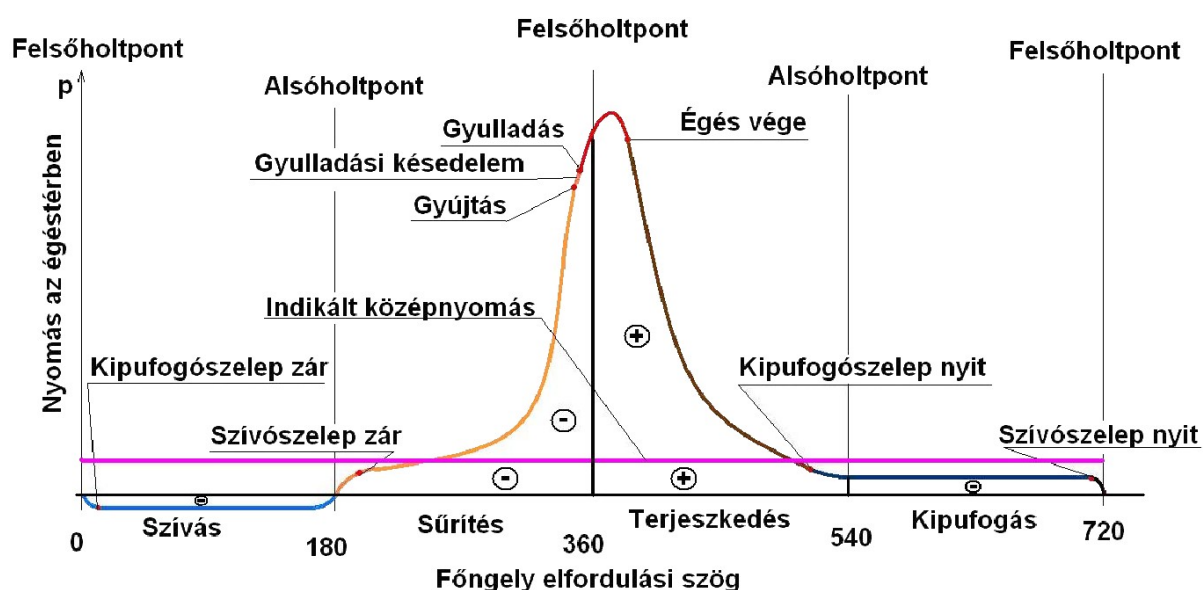
Kaliber típusú tömegmérés elvén működő fogyasztásmérő

A mérőedény egy karos mérlegszerkezetre van erősítve, ami az edényben lévő tüzelőanyag mennyiségének függvényében elmozdul. A mérlegszerkezet lényegében egy erőmérő cella, ami a tömeg változását igen pontosan méri és a kapott értékeket a mérő számítógéphez továbbítja ahol, a 45 másodpercig tartó mérési idő alatt elfogyasztott tüzelőanyag mennyiségét a program rögzíti és a kapott értékek segítségével kiszámolja a fogyasztás értékeit. Dízel motorok esetében nagyon lényeges a fel nem használt tüzelőanyag, az úgynevezett résolajnak a visszamérése. Ez is vissza kell vezetni a mérőedénybe így kapunk pontos képet a valójában elégetett tüzelőanyag mennyiségéről.

Motor indikálás

A motor indikálása tulajdonképpen az indikátor diagram felvételét jelenti. Az indikálás célja a hengerben uralkodó nyomásváltozás mérése és regisztrálása. A mérés során a főtengely szögelfordulásának, szögértékének függvényében ábrázoljuk a nyomásértékeket. A diagram lehet kiterített vagy hurkolt.

A képen egy kiterített indikátor diagramot láthatunk.



3.11. ábra

Kiterített indikátor diagram

A mérést egy piezo-kristály jeladó végzi. Jellemzői:

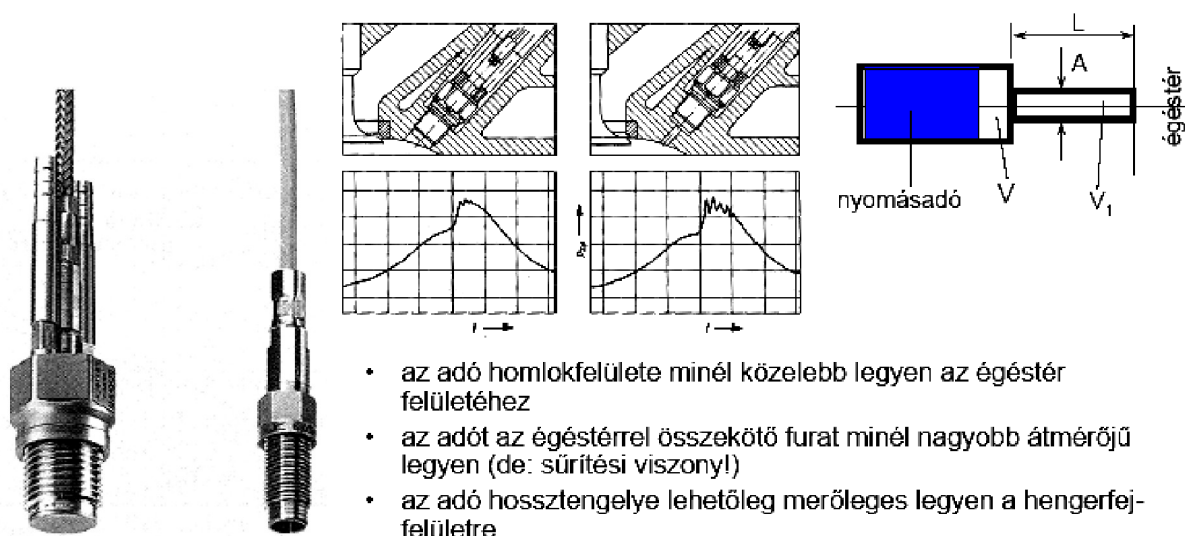
- kis méret, mert a beépítéséhez legtöbbször csak korlátozott hely áll rendelkezésre,
- lineáris jelátalakítás,
- kis észlelési küszöb, de rezgésekkel szembeni érzéketlenség,
- hőállóság, mert az idő membránja közvetlenül ki van téve az égéstermékek hatásának,
- statikus és egyszeri hitelesíthetőség,
- minél nagyobb a sajátfrekvenciája annál pontosabb.

A piezo kristályok tulajdonsága, hogy nyomásváltozás hatására a kristályok összenyomódnak, aminek hatására feszültség jelet generálnak. A feszültség jel változása arányos a nyomás érték változásával. Mivel az alakváltozás nagyon rövid idő alatt megtörténik, így a gyors nyomásváltozásokat is biztonságosan képesek jelezni. A motorban igen gyorslefordulású

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

nyomásváltozások zajlanak, ami a főtengely fordulatszámának növekedésével csak fokozódik. Jelen esetben a 4 hengerből egy hengerben található piezo jeladó. Mérés előtt el kell végezni a motor minden hengerére kiterjedő kompresszió végnyomás mérést. Erre azért van szükség, mert meg kell bizonyosodni arról, hogy a belsőégésű motorunk összes henger ugyanolyan paraméterekkel rendelkezi. Ugyanis ha akár csak egy henger kopottabb a többi hengerhez képest, akkor nem pontos adatokat kapunk. Célszerű az összes hengerben elhelyezni egy nyomásjeladó. Ebben az esetben kapjuk a legpontosabb képet a motortérben uralkodó nyomásviszonyokról. A jeladót az izzító gyertya helyére vagy külön preparált helyet kell kialakítani az égéstérnél.

A következő ábra a jeladót és annak beépítési módjait szemlélteti.



3.12. ábra

Piezo kristályos nyomásjeladó és beépítésének módozatai

3.3.4. Motorvizsgálati eredmények és kiértékelésük

Fékpadi mérések eredménye és kiértékelése gázolaj és műanyagolaj esetén

Ahhoz, hogy bármilyen a szabvány által előírt mérési ciklus elvégezhető legyen, első lépésben meg kell határozni a ciklus kiinduló paramétereit. Ezt elvégezni úgy lehet, hogy megmérjük a motor alap paramétereit, amiből felrajzolható a regulátoros jelleggörbe. A fékpadi segítségével, maximális töltés (gázkar állás) mellett, a motor a felső üresjárat fordulatáról, fokozatosan terhelve, meghatározzuk az adott motorfordulatszámhoz tartozó (n 1/min) teljesítmény (P [kW]), nyomaték (M [Nm]), órás hajtóanyag fogyasztás (Bt [kg/h]), és a fajlagos hajtóanyag fogyasztás (bt [g/kWh]). Ezek után felrajzolható a regulátoros jelleggörbe, ami sorozat mérések után jó összehasonlítási alapot biztosít arra vonatkozóan, hogy a motorikus paraméterekben milyen változások zajlottak le.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

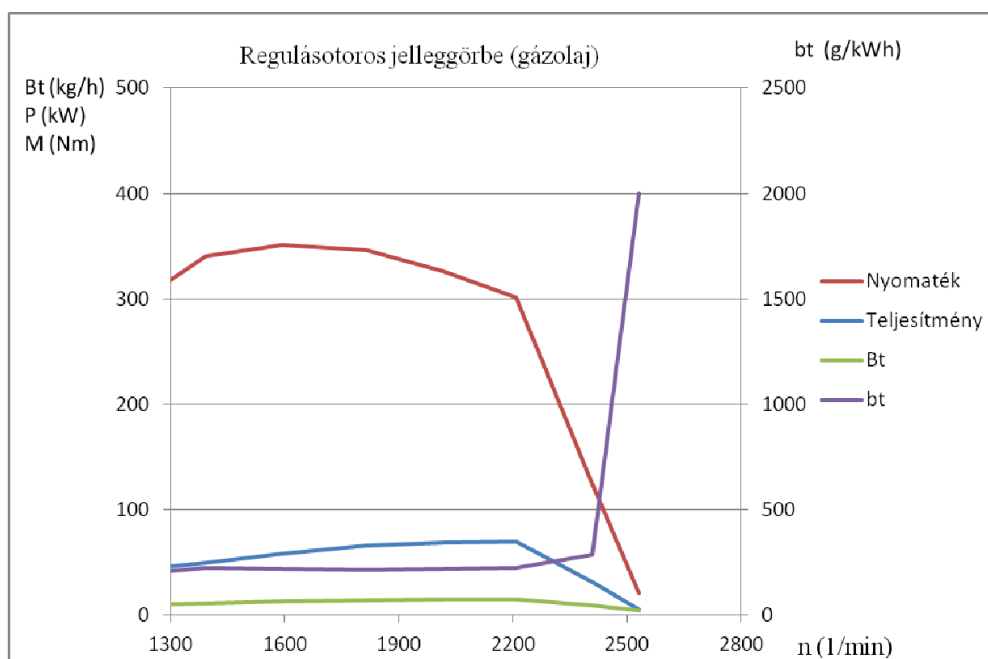
A jelleggörbéből látható, hogy a motor felső üresjáratú fordulatszáma 2500 1/min-nél található. Egy mezőgazdasági erőgép dízel motorjának esetében ez egy teljesen szokványos érték. Az adagoló szivattyúban található fordulatszám szabályozó akadályozza meg a motor esetleges túlpörgését, ugyanis ez a jelenség a motor károsodását okozhatja. A mérést ennél a motornál célszerű 1300 1/min-es fordulatszámig folytatni. A diagramból látható, hogy a nyomaték maximum 1600 1/min-es motor fordulatszámnál található, míg a maximális teljesítmény 2200 1/min-es fordulatszámnál adja le a motor. A mérési eredmények táblázatos formátumban szerepelnek. A regulátoros jelleggörbe ezen mérési eredmények alapján került megrajzolásra.

A következő táblázat a Dízel-motor fékpadi vizsgálati eredményeit mutatja hagyományos gázolaj hajtóanyag alkalmazása esetén.

3.8. táblázat Fékpadi mérési eredmények gázolaj esetén

Mérés száma	Fordulatszám	Nyomaték	Teljesítmény	Órás fogyasztás	Fajlagos fogyasztás
	1/min	Nm	kW	kg/h	g/kWh
1.	2537	20,6	5,5	4,8	877,5
2.	2403	125,1	31,5	9,1	289,2
3.	2210	301,7	69,8	15,6	223,5
4.	2016	325,6	68,7	15,0	218,3
5.	1814	346,2	65,7	14,1	214,5
6.	1593	351,4	58,6	12,8	218,5
7.	1393	340,3	49,6	11,2	225,7

A következő ábra a Dízel-motor fékpadi vizsgálati eredményeit, a regulátoros jelleggörbét mutatja hagyományos gázolaj hajtóanyag alkalmazása esetén.



3.13. ábra

Dízelmotor regulátoros jelleggörbéje hagyományos gázolaj esetén

A műanyag olajnak, mint gázolaj helyettesítő anyagnak egyéb tulajdonságait is meg kell vizsgálni, hogy egyáltalán, lehet-e alkalmazni belsőégésű motorok üzemeltetésére. A laboratóriumi vizsgálatok azt mutatták, hogy alkalmas így a méréseket le lehet folytatni. A műanyagolaj sűrűsége a gázolaj sűrűségével szinte megegyező értékű volt. A fékpadi mérést a szokásos protokoll szerint végeztük a korábban leírtakkal megegyezően.

A következő táblázat a Dízel-motor fékpadi vizsgálati eredményeit mutatja hagyományos gázolaj hajtóanyagot helyettesítő műanyagolaj alkalmazása esetén.

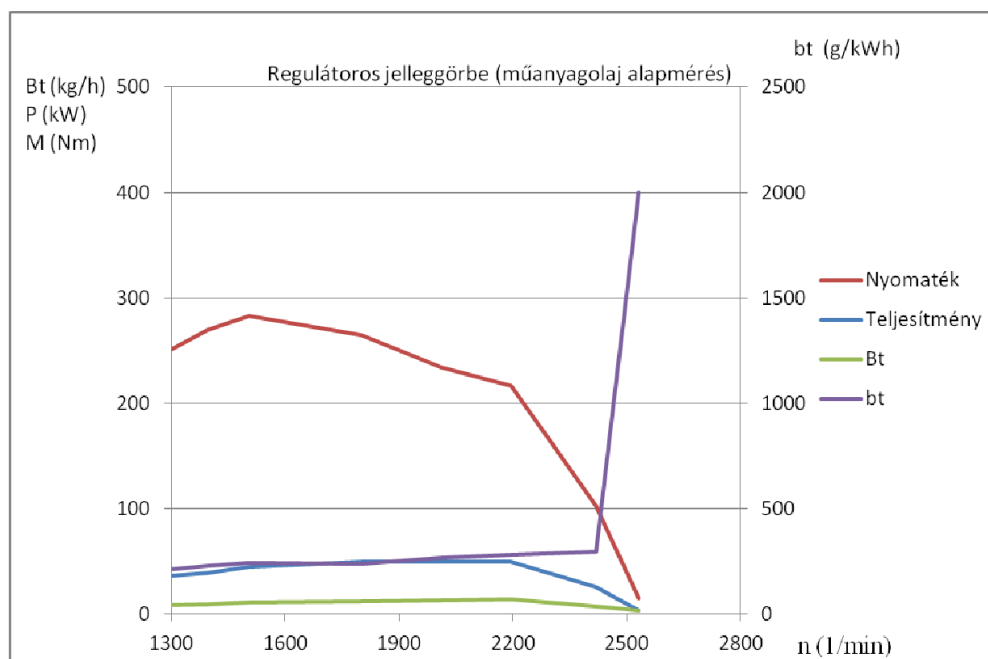
3.9. táblázat Mérési eredmények műanyagolaj esetén

Mérés száma	Fordulatszám	Nyomaték	Teljesítmény	Órás fogyasztás	Fajlagos fogyasztás
	1/min	Nm	kW	kg/h	g/kWh
1.	2531	15,0	4,0	4,0	1006,6
2.	2420	103,0	26,1	7,7	295,1
3.	2195	217,0	49,9	14,0	280,8
4.	2012	234,0	49,3	13,1	265,8
5.	1800	265,0	49,9	11,9	238,4
6.	1505	283,0	44,6	10,9	244,5

Dr. Szirmai Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

7.	1396	270,0	39,5	9,0	228,1
----	------	-------	------	-----	--------------

A következő ábra a Dízel-motor fékpadi vizsgálati eredményeit, a regulátoros jelleggörbét mutatja hagyományos gázolaj hajtóanyag alkalmazása esetén.



3.14. ábra

Dízelmotor regulátoros jelleggörbéje műanyagolaj esetén

A gázolajjal és a műanyagolajjal történő mérések eredményeként elmondható, hogy mind a két esetben ugyanazon a motoron és azonos mérési protokoll alkalmazása során **mind a két hajtóanyag alkalmas a motor üzemszerű működtetésére.**

A hagyományosnak mondható **gázolaj** hajtóanyag esetén a motor a maximális teljesítményét 2210 1/min fordulatszámra adta le, maximális nyomaték érték pedig az 1593 1/min értékhez tartozott. Az óránkénti hajtóanyag fogyasztás 2210 1/min értéknél 15,6 kg/h értékre adódott, míg a fajlagos fogyasztás érték minimuma (214,5 g/kWh) az 1800 1/min fordulatszám tartomány környékét jellemzi.

A **műanyagolajjal** történő vizsgálat során a motor a maximális teljesítményét 2195 1/min esetén adta le, míg maximális nyomaték értékéhez 1505 1/min érték tartozott. Az óránkénti hajtóanyag fogyasztás maximuma 14 kg/h értékre adódott (2195 1/min esetén), míg a fajlagos fogyasztási minimuma, 228,1 g/kWh értéke az 1500 1/min tartomány alatt volt mérhető.

Összességében a gázolaj esetében figyelhetők meg a nagyobb teljesítmény és nyomaték értékek, ugyanakkor óránkénti hajtóanyag fogyasztás tekintetében a műanyagolaj bizonyult jobbnak.

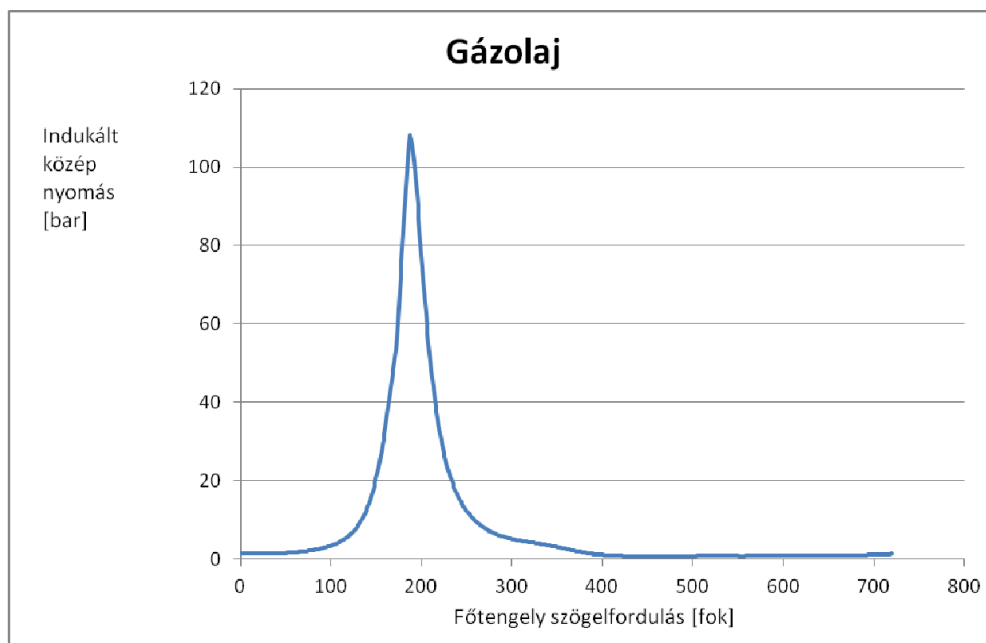
Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Az vizsgálatok alapján egyértelműen elmondható, hogy a helyben keletkezett műanyagolaj, mint melléktermék, helyben történő felhasználása esetén, pl.: áramfejlesztő generátor üzemeltetése esetén kifejezetten gazdaságos.

Motor indikálás mérési eredményei és kiértékelése gázolaj és műanyagolaj esetén

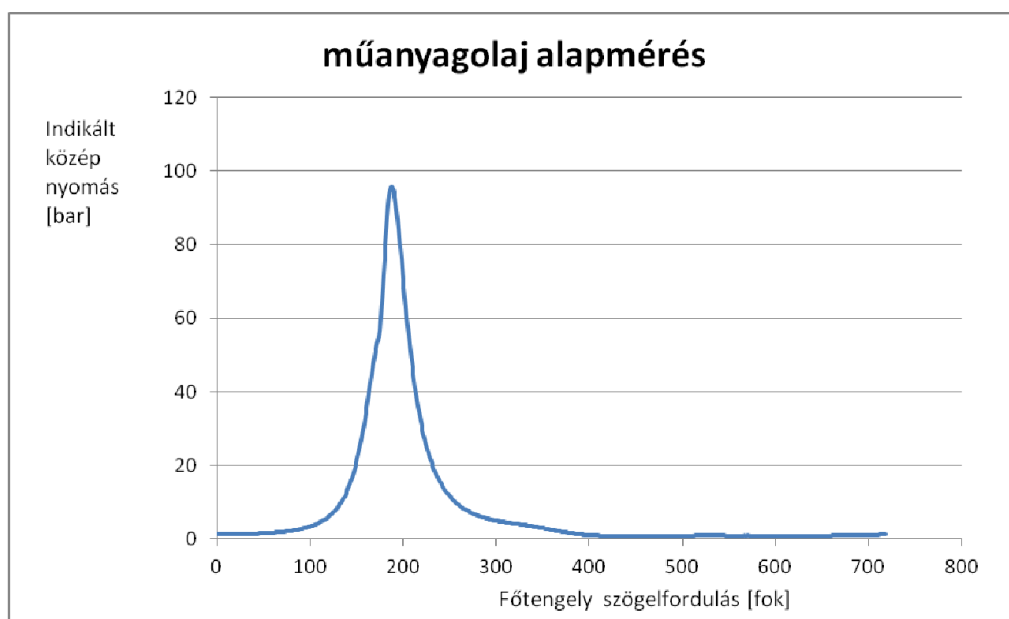
A motor hengertérben lévő nyomás jeladó méri a főtengely szögelfordulásának függvényében a hengertérben lejárló nyomásváltozásokat. A nyomást „bar” mértékegységben rögzíti. A vízszintes tengelyen látszódik, hogy a számozás 7200 értékig van skálázva. Ennek az az oka, hogy egy négyütemű belsőégésű motorban, egy hasznos ütem, vagyis égés két főtengelyfordulat alatt játszódik le. Ami 720 fok körülfordulásnak felel meg. Vagyis két körülfordulás alatt biztos lesz egy olyan pont ahol a gázolaj és levegő keverékét a sűrítés során megnövekedett levegő hőmérséklet hatására a tüzelőanyag belobban, és elkezdődik az égés.

A következő 3.15. ábra a gázolaj alkalmazása során mért indikált középnyomás értékét mutatja, míg a 3.16. ábra a műanyagolaj hajtóanyaggal üzemeltetett motor indikátor diagramját szemlélteti.



3.15. ábra

Kiterített indikátor diagram gázolaj alkalmazása esetén



3.16. ábra

Kiterített indikátordiagram műanyagolaj alkalmazása esetén

A diagramot, ha értelmezzük, akkor látható, hogy az origóból, vagyis a nulla pontból indulva először még lassan kezd emelkedni a nyomás, ugyanis ez a motor szívóüteme. Ekkor a szívó szelep nyitva van, a dugattyú pedig lefele halad. A nyomás érték 1 bar körüli, ugyanis a vizsgált motor turbófeltöltővel rendelkezik. Amikor a dugattyú elindul a felső holtpont irányába, a szívó szelep lezár, ezáltal a sűrítés ütemében a nyomás rohamosan elkezd növekedni. A felső holtpont előtt megtörténik a gázolaj beporlasztása. A sűrítés következtében az egyre melegedő levegővel összekeveredve a gázolaj meggyullad és elég. Ez a folyamat elég gyors általában 10-30 m/s sebességgel terjed a láng front.

A felső holtpontban eléri a maximális nyomásértéket, ez **108 bar-os értéket vesz fel hagyományos gázolaj hajtóanyag alkalmazása esetén**, míg a vizsgálatba bevont **műanyagolaj esetén** ugyan ez az érték csak **96 bar**.

A felső holtpontban a dugattyú egy pillanatra megáll, majd a gázerők hatására megindul ismét lefelé az alsó holtpont irányába. Ekkor még minden szelep zárva van továbbra is, de mivel a dugattyú feletti tér megnő abból kifolyólag, hogy a dugattyú elindul az alsó holtpont felé, csökken a hengerben uralkodó nyomás, hiszen nő a térfogat. Ezután kinyit a kipufogó szelep és az ismét felfelé mozgó dugattyú az égéstermékkel kitolja a hengertérből. A kipufogó szelep kinyitásakor rohamosan csökken a nyomás egészen 1 bar érték környékére. Majd ezután a következő szívási ütemmel folytatódva, minden kezdődik, előről a fent ismertetett módon.

Összességében elmondható a gázolaj és a műanyagolaj alkalmazása esetén a hagyományos gázolaj esetében mérhető nagyobb indikált középnyomás érték.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Az előző fékpadi méréseket alátámasztva valamivel alacsonyabb indikált középnyomás és teljesítmény leadására alkalmas ugyan az a motor, ha műanyag hulladék ártalmatlanításából nyert melléktermék, műanyagolaj a hajtóanyaga.

Emissziós értékek mérési eredményei és kiértékelése gázolaj és műanyagolaj esetén

Az adott paraméterek mérésére, füstgáz elemző gépek állnak rendelkezésre. Az alábbi táblázatban látható értékek a motor 1600 l/min munkapontjában lettek rögzítve. A vizsgáló motor ezen pontján van a nyomaték maximuma. A mezőgazdasági erőgépek motorjait ennek a pontnak vagyis az (Mmax) környékén célszerű üzemeltetni, ugyanis itt tudja a legnagyobb erőt kifejteni a motor. Ugyanakkor a leginkább környezetszennyező üzemmód is itt található. A táblázatba szerepel a Nitrogén oxid részecske, valamint térfogatarányos mennyisége, a szén monoxid részecske és térfogat arányos mennyisége, ezen kívül a kipufogógázban található oxigén százalékos értéke. Az abszorpció értéke a füstgáz fény elnyelő képességét határozza meg 1/méter mértékegységben. Még a füstöléssel a füstgáz átvilágíthatóságát határozzák meg %-os értékben. Az abszorpció és a füstölés egysége összefüggésben van egymással. Az értékek tanulmányozásakor tudni kell azt, hogy milyen motoron történt a vizsgálat.

A vizsgálatba bevont motor egy Perkins típusú 4 hengeres 4 ütemű dízel motor, ami turbófeltöltővel van ellátva. Az adagoló rendszere egy CAV rendszerű forgóelosztós mechanikus eszköz. A motor 1994-es évjáratú. Ezért rá még nem vonatkoznak a legszigorúbb TIER vagy Stage előírások. Hiszen a gyártásakor még sokkal megengedőbb emissziós normáknak kellett megfelelnie a motornak. A kapott értékeke megfelelnek az Stage I/II előírásban rögzítetteknek. Az alábbi táblázat az emissziós értékeket tartalmazza gázolaj és műanyagolaj alkalmazása esetében.

3.10. táblázat Emissziós mért értékek gázolaj és műanyagolaj alkalmazása esetén

Megnevezés	Mértékegység	Mért érték (gázolaj)	Mért érték (műanyagolaj)	%-os eltérés (gázolaj=100%)
No	[ppm]	1189	1347	+13,3%
Nox	[ppm]	1879	2128	+13,3%
Nox	[mg/m3]	8665	6283	-27,5%
Co	[ppm]	1768	2330	+31,8%
Co	[mg/m3]	4973	4194	-15,7%
O2	[%]	13	8,5	-34,6%
Co2	[%]	5,87	9,17	+56%
Füstölés	[%]	15,6	19,7	+26,3%
Abszorpció	[1/m]	0,39	0,51	+30,8%

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

az ismert belsőégésű motoron két különböző hajtóanyaggal végzett emisszió mérési adatokból az látszik, hogy a műanyagolaj esetében szinte minden mért paraméter értéke eltér az alapnak vett gázolaj értékektől. A belsőégésű motorok esetében ugyanakkor számtalan műszaki megoldás létezik például az emisszió értékek módosítására. A motor különféle üzemi paraméterének változtatásával az emissziós értékek is változnak, azaz egy adott hajtóanyag esetében be kell állítani a motort, ha az emissziós határértékek az irányadó paraméterek.

Változtatott műszaki paraméterek hatása a belsőégésű motor tulajdonságaira

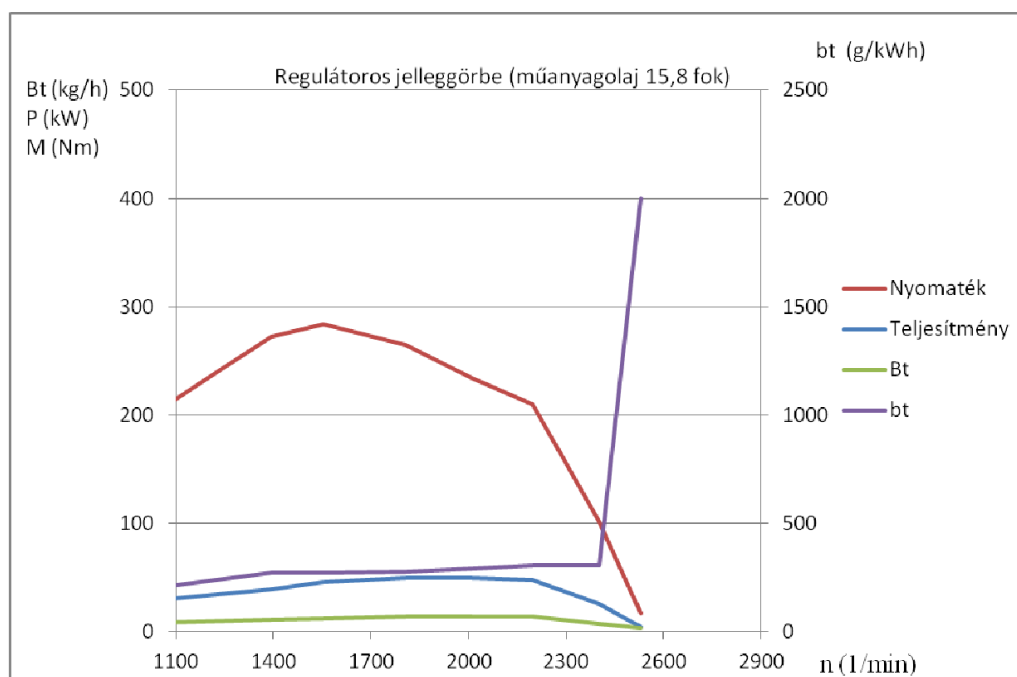
Az előzőekben ismertetett mérések több motorbeállítás megismétlésre kerültek. Ugyanis a motor elő-befecskendezési szögén ha változtatunk, módosíthatjuk a tüzelőanyag és levegő keveredési idejét, ezáltal változik az égési nyomás nagysága is. Ugyanis ha a normál befecskendezési időnél hamarabb fecskendezzük be a gázolajat, akkor több ideje van elkeveredni az égési folyamat időben elnyújtható kis mértékben. Ha viszont később fecskendezzük be a gázolajat a keveredésre kevesebb idő áll rendelkezésre és az égés lefutása is gyorsabb.

15,8 fokos elő-befecskendezési szög esetén a mérési eredmények a következők voltak:

3.11. táblázat Mérési eredmények műanyagolaj esetén (elő-befecskendezés: 15,8 fok)

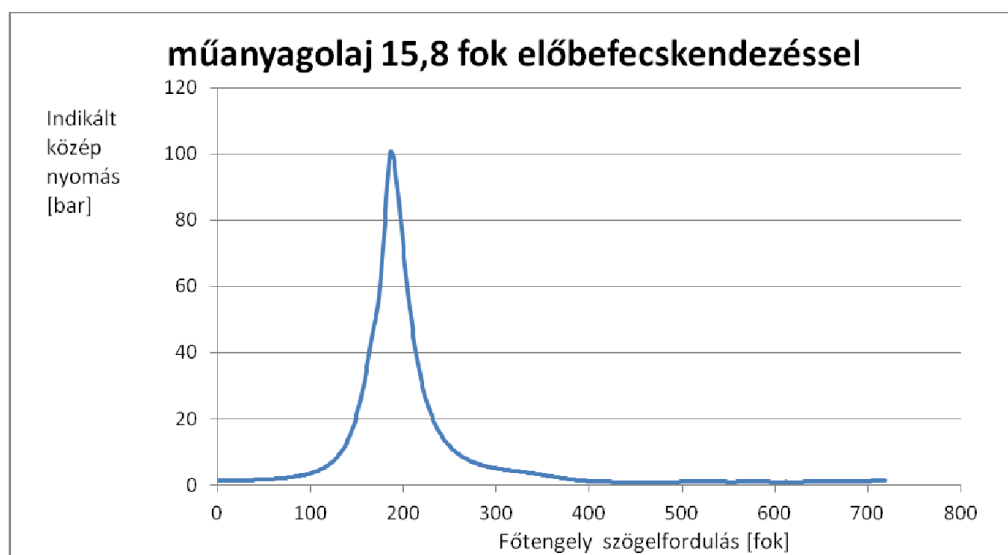
Mérés száma	Fordulatszám	Nyomaték	Teljesítmény	Órás fogyasztás	Fajlagos fogyasztás
	1/min	Nm	kW	kg/h	g/kWh
1.	2533	16,0	4,2	4,1	966,5
2.	2422	100,0	25,4	7,9	311,6
3.	2201	214,0	49,3	14,1	286,0
4.	2012	231,0	48,6	13,3	273,4
5.	1806	263,0	49,7	11,9	239,4
6.	1543	286,0	46,2	11,0	238,2
7.	1401	268,0	39,3	9,2	234,1

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



3.17. ábra

Műanyagolaj regulátoros jelleggörbéje 15,8 0 előtöltésnél



3.18. ábra

Műanyagolaj indikátor diagramja 15,8 0 előtöltésnél

3.12. táblázat Műanyagolaj emissziós értékei 15,8 0 előtöltés esetén

Megnevezés	Mértékegység	Érték
No	[ppm]	2023
Nox	[ppm]	3196

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Nox	[mg/m ³]	9512
Co	[ppm]	1979
Co	[mg/m ³]	3591
O ₂	[%]	8,6
Co ₂	[%]	9,09
Füstölés	[%]	21,9
Abszorpció	[1/m]	0,57

A 3.17. ábrán leolvasható, hogy a korábban ismertetett 3.14. ábrán látható alapmérésekhez képes kismértékű növekedés tapasztalható az értékekben. Míg az alapmérésnél a nyomaték értéke 283 Nm volt, addig a 15,8 fokos elő-befecskendezési szög mellett 286 Nm értéket ért el a motor

A 3.18. ábrán pedig látható, hogy az alapmérésnél rögzített 96 bar égési végnyomás megnövekedett 101 bar-os értékre, ha az elő-befecskendezési szöget 15,8 fokra állítottuk.

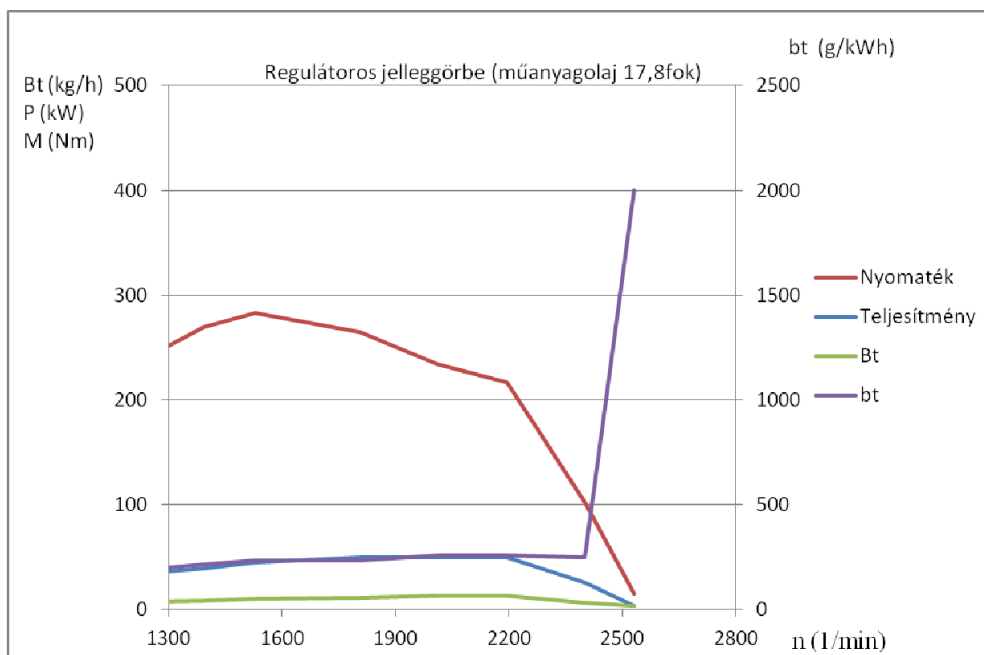
Összehasonlítva az emissziós értékeket, azt láthatjuk, hogy nem egyöntetű a változás. Mert a nagyobb elő-befecskendezési szög hatására (15,8 fok) megnövekedett a füstölés és az abszorpció mértéke. Emellett a Nox értékek is növekedtek. Ezzel ellentétes változás következett be a szén-dioxid és szén monoxid mennyiségében. Ezek a paraméterek csökkentek az alapméréshez képest.

17,8 fokos elő-befecskendezési szög esetén a mérési eredmények a következők voltak:

3.13. táblázat Mérési eredmények műanyagolaj esetén (előbefecskendezés 17,8 fok)

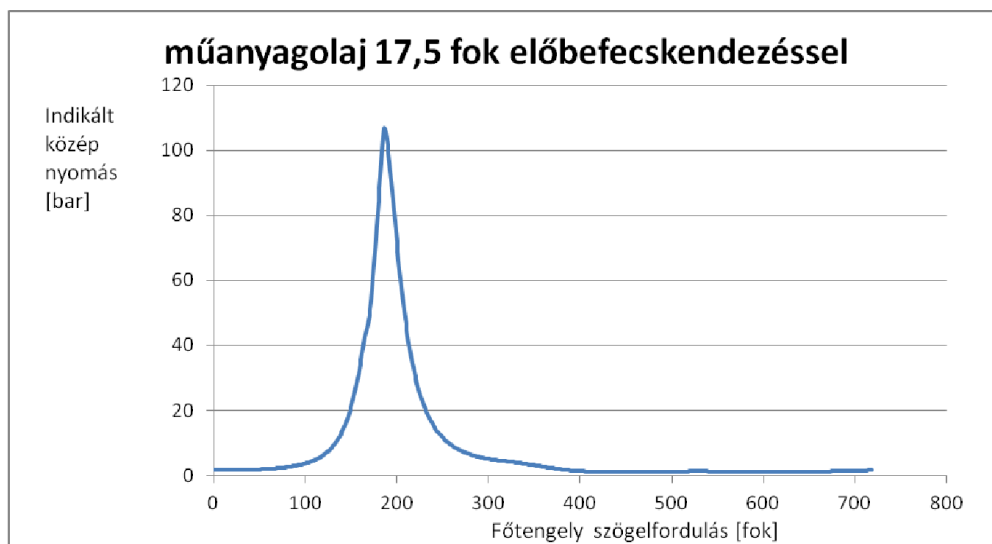
Mérés száma	Fordulatszám	Nyomaték	Teljesítmény	Órás fogyasztás	Fajlagos fogyasztás
	1/min	Nm	kW	kg/h	g/kWh
1.	2535	15,0	4,0	4,2	1055,3
2.	2411	101,0	25,5	7,7	302,1
3.	2205	216,0	49,9	14,2	284,9
4.	2018	232,0	49,0	13,1	267,3
5.	1811	264,0	50,0	12,0	239,8
6.	1523	283,0	45,1	10,9	241,6
7.	1405	269,0	39,6	9,1	230,0

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



3.19. ábra

Műanyagolaj regulátoros jelleggörbéje 17,8 0 előtöltésnél



3.20. ábra

Műanyagolaj indikátor diagramja 17,5 0 előtöltésnél

3.14. táblázat Műanyagolaj emissziós értékei 17,5 0 előtöltés esetén

Megnevezés	Mértékegység	Érték
No	[ppm]	1759
Nox	[ppm]	2779

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Nox	[mg/m ³]	7950
Co	[ppm]	2153
Co	[mg/m ³]	3755
O ₂	[%]	8,1
Co ₂	[%]	9,46
Füstölés	[%]	15,4
Abszorpció	[1/m]	0,39

Ebben az esetben a 3.19. ábráról, ha leolvassuk a nyomatékot azt láthatjuk, hogy 283 Nm értéket mutat. A 3.20. ábrán lévő nyomásgörbéről pedig 108 bar nyomásértéket láthatunk. Megállapítható, hogy nőtt az indikált nyomásérték mind az alap, mind a 15,8 fokos beállításhoz képest. A nyomaték érték még ebben az esetben is nagyobb az alapméréshez képest, bár a 15,8 fokos beállításhoz képest kis csökkenést tapasztalunk.

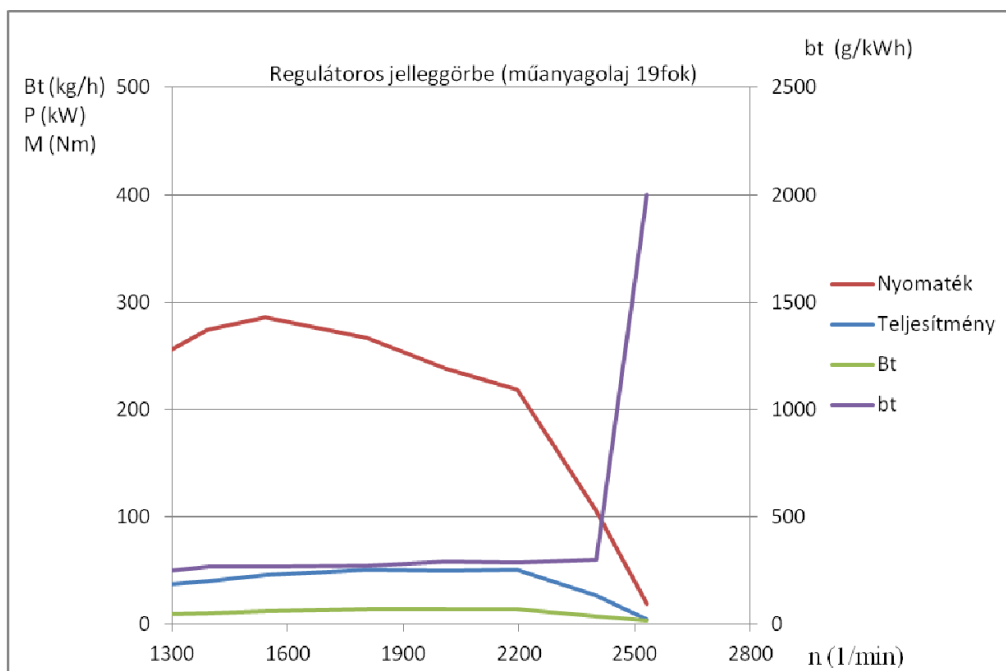
A káros anyag kibocsátás tekintetében a nitrogén oxidok csökkenő tendenciát mutatnak. A füstölés értékek is javult, valamint az oxigén és szén-monoxid értékes sem mutatnak nagy változást. A következő táblázatok és képek a mérési eredményeket tartalmazzák 17,8 fokos elő-befecskendezési szög mellett.

19 fokos elő-befecskendezési szög esetén a mérési eredmények a következők voltak:

3.15. táblázat Mérési eredmények műanyagolaj esetén (elő-befecskendezési: 19 fok)

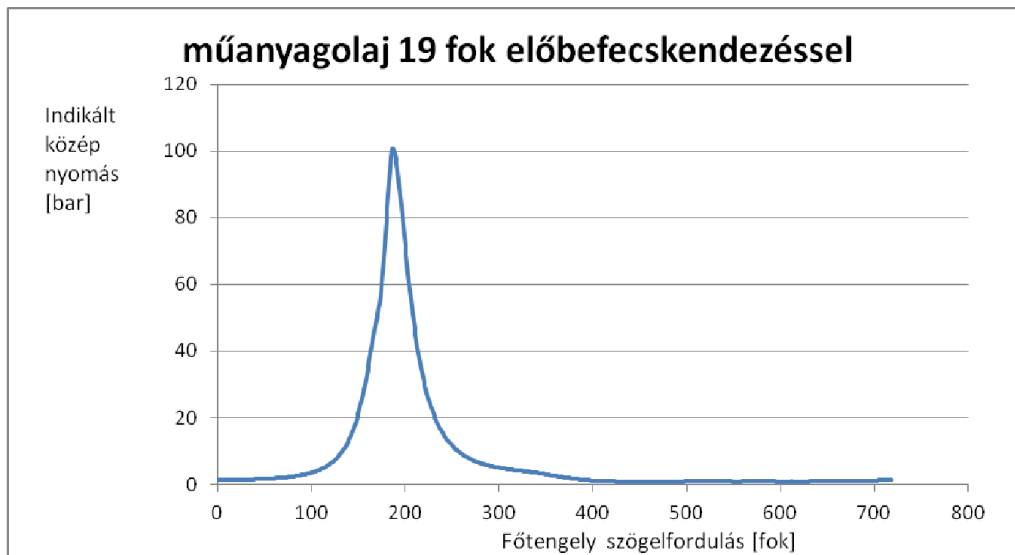
Mérés száma	Fordulatszám	Nyomaték	Teljesítmény	Órás fogyasztás	Fajlagos fogyasztás
	1/min	Nm	kW	kg/h	g/kWh
1.	2538	19,0	5,0	4,4	871,8
2.	2413	105,0	26,5	7,8	294,1
3.	2210	219,0	50,7	14,5	286,2
4.	2015	238,0	50,2	13,2	263,0
5.	1813	269,0	51,0	12,5	244,9
6.	1539	288,0	46,4	11,1	239,3
7.	1410	272,0	40,1	9,4	234,2

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)



3.21. ábra

Műanyagolaj regulátoros jelleggörbéje 19 0 előtöltésnél



3.22. ábra

Műanyagolaj indikátor diagramja 19 0 előtöltésnél

3.16. táblázat Műanyagolaj emissziós értékei 19 0 előtöltés esetén

Megnevezés	Mértékegység	Érték
No	[ppm]	2324

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Nox	[ppm]	3672
Nox	[mg/m ³]	10188
Co	[ppm]	2490
Co	[mg/m ³]	4212
O ₂	[%]	7,7
Co ₂	[%]	9,75
Füstölés	[%]	10,4
Abszorpció	[1/m]	0,26

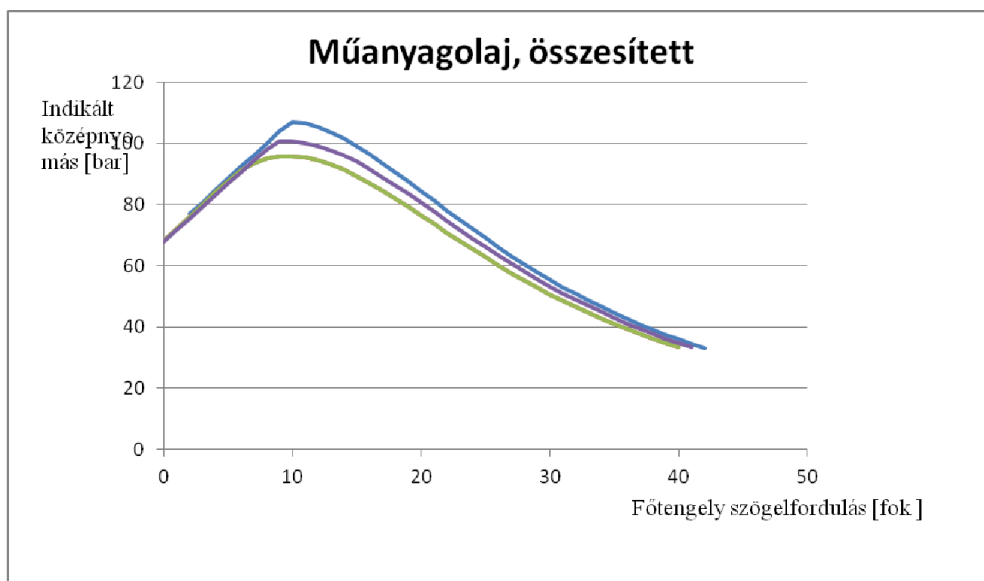
Az utolsó beállítási pont a 19 fokos elő-befecskendezési szög. A regulátoros jelleggörbén az látszik, hogy négy féle beállítás közül itt van a legnagyobb nyomatér érték 288 Nm-rel.

Az indikátor diagramról leolvasva pedig láthatjuk, hogy 101 bar nyomás értéket kapunk, ami megegyezik a 15,8 fokos beállításnál kapott értékkel.

Az emissziós értékek viszont drasztikusan romlottak az előző 3 beállításhoz képest. Látható, hogy a füstölésben kapunk kisebb értékeket, de elsősorban a nitrogén oxidokat figyelembe véve jelentős mértékű romlást tapasztalhatunk.

Az elő-befecskendezési szög módosításának hatása az indikált középnyomásra

A 3.23. ábrán összegezve látható a módosított elő befecskendezési szögekkel végzett mérések értékei. Nincs ábrázolva a teljes 720 fokos skála, ennek oka, hogy a szívás és kipufogás szakaszban a 4 görbe teljesen együtt fut. Ezért ábrázolásra, csak 180 foktól 230 fokig terjedő szakasz került. Ezen a szakaszon nyomon követhető a sűrítés és a terjeszkedés szakaszok. Ebből az olvasható le, hogy a legnagyobb végnyomás a 17,5 fokos befecskendezési szögnél érhető el, ekkor az érték 108 bar. Valamivel kevesebb 101 bar-t lehet elérni a 19 fokos és 15,8 fokos elő befecskendezés esetén. A 96 bar-os nyomásértéket pedig a alpmérés esetén tudtunk realizálni.



3.23. ábra

Műanyagolaj összegzett indikátor diagramjai
(ábrázolva csak 180 foktól 230 fokig terjedő szakasz)

Az elvégzett vizsgálatok megerősítették azt a kezdeti feltételezést, hogy a műanyagolaj alkalmas dízel hajtóanyagú belsőégésű motor üzemeltetésére.

3.4. Az új technológia illeszkedése a környezetbe

A megvalósításra került Katalitikus De-polimerizációs termolízis üzem a társadalom életviteléből következő visszamaradt és eddig nem hasznosítható hulladékok feldolgozására és ártalmatlanítására alkalmas technológia.

Az újszerű felfogásnak köszönhetően az elkészült termolízis üzem a keletkezett hulladékok tárolási problémájának csökkentését segíti elő.

A szilárd hulladék hőközléssel történő bontása során keletkezett végtermékek nagy része a jól beállított technológiai paramétereknek köszönhetően és laborvizsgálati eredmények alapján alkalmasak további energetikai célú hasznosításra.

A keletkezett végtermék tüzelőanyagként alkalmas lehet akár helyben működtetett berendezések üzemeltetésére, üzemanyagként akár a helyben működtetett csúcserőmű meghajtására szolgáló berendezések ellátására.

A villamos energia előállítás egyik alapeleme a forgó mozgást végző generátor, a generátor meghajtása általában belsőégésű motorral történik melynek hajtóanyag ellátó rendszerének olaj alapanyagra van szüksége. A helyben keletkezett „műanyag olaj” vizsgálati jegyzőkönyvek és

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

fékpadi mérések alapján alkalmasak, bizonyos peremfeltételekkel és megkötések mellett a hajtóanyag ellátó rendszerben történő felhasználásra. Az ilyen formán előállított hajtóanyag több szempontból gazdaságos, mivel eleve egy hulladék ártalmatlanítási folyamat mellékterméke így jelen esetben ez már legalább másodlagos felhasználásnak tekinthető.

Azáltal, hogy a hulladékártalmatlanítási termolízis technológia nem csak megsemmisíti és ártalmatlanítja a szilárd állapotú műanyag hulladékokat, hanem melléktermékként még helyben felhasználható tüzelő- és hajtóanyagot és a vegyipar számára is felhasználható anyagokat biztosít, kiválóan illeszkedik bármilyen környezetbe.

4. Következtetések és javaslatok

A Festa GmbH által gyártott Katalitikus De-polimerizációs erőmű alkalmas az egyéb úton nem használható, műanyag termékek, melléktermékek – például komposztálási hulladék tárolására használt polietilén zsákok – újrahasznosítására.

Az eljárás különös gondot fordít a károsanyag- és a szén-dioxid kibocsátás minimalizálására. A feldolgozás eredményeként a szilárd alapanyagból egy folyékony szénhidrogén keverék jön létre.

A termikus hóbontás eredményeként keletkező anyagok, mint energiahordozók további energetikai célú hasznosításra egy igen költséghatékony és környezetkímélő megoldás. Az előállított végtermék alkalmas üzemanyagként vagy tüzelőanyag történő felhasználásra. További lehetséges felhasználási módok a vegyipari alapanyagként történő értékesítés, illetve a frakcionálás. Az alkalmazott technológia minden tekintetben megfelel a hatályos Európai Unió szabályozás követelményrendszerének.

A beüzemelt és működtetett rendszer alapanyagainak, melléktermékeinek és végtermékeinek mennyiségi és minőségi ismerete elengedhetetlen a kézben tarthatóság szempontjából. Az elvégzett laboratóriumi vizsgálatok alapján a jelenlegi állapotban működtetett rendszer biztonságos. A keletkezett végtermék felhasználhatósága szempontjából végzett belsőégésű motorvizsgálat eredményeként elmondható, hogy a műanyagolaj alkalmas gázolaj helyettesítésére, bizonyos peremfeltételek és üzemi kísérletek elvégzését követően. További fejlesztési kutatási javaslatként lehet megfogalmazni a sztenderdizálás lehetőségét, azaz az alapanyag állandóságának és a technológiai paraméterek állandóságának biztosítását.

Az elkészült és beüzemelt rendszer a folyamat nevezetes pontjainál mért paraméterek számának függvényében jól monitorozható. A mérőeszközök számának növelésével a meglévő technológiába további biztonsági elemeket lehet majd beépíteni. A távadós jeladók rendszerbe iktatásával megnyílik az út a rendszerszemléletű, nem csak vezérelt, hanem már szabályozott ipari környezet kialakításra.

A jövőbeni PLC-vezérlés és szabályozás nagymértékben elősegíti majd a még jobban átláthatóbb és nyomon követhetőbb, előre tervezett termelési ciklusok pontosabb tervezését.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

A precíziósan szabályozott környezet már lehetővé fogja tenni a bemeneti paraméterek ismeretében a végtermék mennyiségi és minőségi előrejelzését, mely nagyban segít a technológia gazdaságos és költséghatékony működtetéséhez.

Összefoglalás

A Festa GmbH által gyártott és a cég telephelyére installált Katalitikus De-polimerizációs erőmű (KDV/CPD 2x250/KDÜ-T) megfelel a hatósági követelményrendszernek és rendelkezik a megfelelő engedélyekkel.

Az eredeti technológia helyszínre történő telepítése során – alkalmazkodva a helyi sajátosságokhoz és figyelembe véve a környezeti hatásokat – bekövetkezett módosítások a hatósági előírások figyelembevételével voltak szükségesek. Az üzembiztonság fokozása érdekében a technológiát különféle szakaszokra osztva meg kellett határozni azok veszélyességét.

A robbanásbiztos technológiai előírások figyelembevételével helyenként változtatásokat kellett eszközölni, a kiépítés során. A „tartósan tömített” gépelemek beiktatásával a rendszer részegységei különválaszthatók és külön technológiai lépésként már jobban kézben tarthatók.

A mérő pontok kialakítása az üzemeltetés és monitorozás alapvető fontosságú lépése volt. A kivitelezés során különös gondot kellett fordítani a modulszerű gondolkodás megvalósítására, mivel az egyes technológiai elemek egymásra épülése és időbeli lefutása egy adott technológiai lépéssor része.

Az üzembiztonság és munkavédelmi követelményeknek eleget téve külön gondot kellett fordítani a rendszer inertizálására. Meg kellett határozni az üzemszerű indítás és leállítás pontos technológiai sorrendjét. A technológiát úgy kellett kialakítani, hogy bármilyen üzemállapotban indítani lehessen automatikusan a vészleállítás folyamatát, anélkül, hogy ez bármilyen üzembiztonsági kockázatot jelentene a környező üzemek számára.

Az üzemeltetés során keletkező melléktermékek, végtermékek tárolását és esetleges felhasználását is meg kellett tervezni. A rendelkezésre álló homogén alapanyag lehetőséget adott a kutatás, fejlesztési irányvonal kiszélesítésre.

Egy kutatás, fejlesztési irány a keletkezett műanyagolaj helyben történő felhasználása, hasznosítása. Ezen gondolat mentén a termelésben keletkezett műanyagolajat független laboratóriumban bevizsgáltatták és összehasonlították egy ismert felhasználású másik olaj mintával. Ezen vizsgálatok eredményeként a két minta közel azonos tulajdonságaik miatt egyaránt alkalmas a további felhasználásra.

A laboratóriumi vizsgálatok eredményeként további kutatási, fejlesztési lehetőségek kínálkoztak. Tekintettel arra hogy a helyben keletkezett műanyagolaj tulajdonságait tekintve megközelítette a gázolaj tulajdonságait, felmerül a belsőégésű motorokban történő alkalmazás lehetősége.

Dr. Szirmay Rókus PHD.
(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

Áttekintve a belsőégésű motorok vizsgálati lehetőségeit a stabil fékpadi dízelmotor vizsgálat mutatkozott kézenfekvőnek. Fékpadi mérések eredményei alapján kimondható, hogy a vizsgálatba bevont műanyagolaj és a hagyományos gázolaj belsőégésű motor meghajtására alkalmas.

A mérések azt igazolják, hogy valamivel alacsonyabb teljesítmény leadására képes ugyanaz a motor műanyagolaj hajtóanyaggal, mint gázolajjal. Egy a gyakorlatban is elfogadott mérhető motorikus paraméter az indikált középnyomás mérésével lehetett továbbá igazolni, hogy műanyagolaj és a gázolaj között ugyan van mérhető különbség, de ezek a különbséges a felhasználásra kerülő belsőégésű motor gondos kiválasztásával és hangolásával csökkenthetők.

Kísérletekkel igazolt, hogy a motorikus paraméterek változtatásával a hajtóanyag felhasználás során keletkezett emissziós gázok összetétele és aránya változtatható és beállítható.

Összességében a kutatás fejlesztési irány eredményeként elmondható, hogy az termolízis üzem működtetése során keletkezett műanyagolaj, helyben történő felhasználása gazdaságossá tehető. A gazdaságosság egyik alapja a felhasználás meghatározása.

A villamos hálózat által biztosított villamos energia ma Magyarországon általában mindenhol rendelkezésre áll. Ugyanakkor egy ilyen termikus folyamat esetén nagy veszélyforrás lehet az esetleges áramszünet. A nagyobb ipari létesítmények esetén nem ritka az üzembiztonság támogatására létesített törpe villamos erőmű, melynek lelke általában egy belsőégésű, üzembiztos állandó fordulatszámú motor. Ezen motor hajtja a generátort, mely működéséből következően előállítja a szabványos villamos hálózatnak megfelelő feszültség szintet.

A megfelelően kiválasztott belsőégésű motor alkalmassá tehető a helyben keletkező műanyagolajjal történő üzemeltetésre, ezáltal egy lokális mini villamos erőmű biztosítására. Az így termelt villamos energia helyben történő felhasználása, értékesítése tovább javítja a termolízis üzem együttes rendszer hatásfokát is. Vizsgálatok alapján elmondható, hogy a termolízis üzemben keletkező „műanyag olaj” felhasználható stabil üzemű villamos áram termelésre alkalmas csúcserőmű működtetésére is.

A helyben megtermelt és helyben felhasznált/értékesített villamos energia nemcsak a telepített rendszer hatásfokát javítja, de a környező vállalkozások üzemeltetésbiztonságát is nagymértékben növeli. A helyben keletkező és hőcserélők útján hasznosítható, illetve értékesíthető hő energia szintén a telepített rendszer hatásfokát javítja.

Felhasznált irodalom

1. A.Lopez-Urionabarrenechea I. de Marco, B.M. Caballero, M.F. Laresgoiti, A. Adrados (2012), Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 96. pp. 54–62.
2. A.López I. de Marco, B.M. Caballero, M.F. Laresgoiti, A. Adrados, A. Aranzabal (2011a), Chemical Engineering Journal, Vol. 173. pp. 62– 71.

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

3. A.López I. de Marco, B.M. Caballero, M.F. Laresgoiti, A. Adrados, A. Aranzabal (2011b), Applied Catalysis B: Environmental, Vol. 104. pp. 211–219.
4. A.López, I. de Marco, B.M. Caballero, M.F. Laresgoiti, A. Adrados (2010), Waste Management, Vol. 30. pp. 620–627.
5. BARÓTFI I. (Szerk.) (1990): Környezettechnika kézikönyv. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 379-385.p.
6. BARÓTFI I. (Szerk.) (2000): Környezettechnika. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 982.p.
7. BLAZSÓ M.(2007): Thermal decomposition of flame retarded polycarbonates. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 79. 337-345.p.
8. BOZI J. (2010): Halogén- és nitrogéntartalmú szintetikus polimerek hőbomlás termékeinek azonosítása és kémiai átalakítása. Doktori (Ph.D.)Értekezés. Budapest,121.p.
9. BOKÁNYI L.(Szerk.) (2002): Hulladékgazdálkodás. Miskolci Egyetem: Termikus eljárások. 188-236.p.
- 10.BONNYAI Z.(1999): A pirolízis alkalmazása kommunális hulladékok ártalmatlanításánál, hazai lehetőségek. <http://www.koztegy.hu/archiv/1999/20.htm>
- 11.BRIDGWATER A.V. (1999): An overview of fast pyrolysis of biomass. Organic Geochemistry 30, 1479-1493.p.
- 12.CSÓKE B.(Szerk.)(2008): Hulladékgazdálkodás. Pannon Egyetem Veszprém: Környezetmérnöki Tudástár 12,148-188.p.
- 13.D. Hoornweg and P. Bhada-Tata (2012), What A Waste - A Global Review of Solid Waste Management. World Bank.
- 14.DEMIRBAS A.- ARIN G. (2002): An Overview of Biomass Pyrolysis. Energy Sources 24, 471-482.p.
- 15.D & T ARCHITECT. (2009): A barcikai ipari park területén létesítendő műanyag és gumi újrahasznosító komplexum létesítéséhez kapcsolódó környezeti tanulmány és a megvalósuló technológia leírása. Kazincbarcika Város Önkormányzatának Képviselő-testület előterjesztése
- 16.GÁL T.(2007): Pirolizáló kemence matematikai modellezése és számítógépes szimulációja. Doktori (PhD) értekezés. Pannon Egyetem Veszprém. 104.p.
- 17.GÉMESI ZS. (2009): A biomassza pirolízisével nyert kokszt hasznosítása talajjavítóként – hazai alkalmazási lehetőségek hozamnövelés céljából és homokos talajok termékenységének fokozása. Gödöllő: Tudományos szakmai kiadványok sorozata 6, 12.p.
- 18.GLASER B.- LEHMANN J.- ZECH W. (2002): Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal.A review. Biol. Fertil. Soils 35, 219–230.p.

Dr. Szirmay Rókus PHD.

(pirolízis és termo-katalitikus eljárások)

19. EMMANUEL J. et al. (2004): Non-Incineration Medical Waste Treatment Technologies. Prága: Health Care without Harm, 44.p.
20. Hancsók, J.; Varga Z.; Eller, Z.; Pölczmann, Gy., Kasza, T. (2013), 9th International Colloquium Fuels. January 15-17, 2013, Stuttgart/Ostfildern, Germany.
21. HAIDEKKER B. (2004): Primer és hulladék polipropilén anyagok bomlástermékek vizsgálata, pirolízise, a keletkező bomlástermékek vizsgálata. Budapest: BME OMIKK, 64.p.
22. LÁSZLÓ ZS. et al. (2005): A mikrohullámú technika alkalmazásának újabb lehetőségei az élelmiszer- és környezetiparban. Debrecen: Agrártudományi Közlemények 18, 29-34.p.
23. MENÉNDEZ J.A. et al. (2003): Microwave pyrolysis of sewage sludge: analysis of the gas fraction, J. Anal. Appl. Pyrolysis 71, 657–667.p.
24. Miskolczi, N. and Nagy R. (2012), Fuel Processing Technology, Vol. 104. pp. 96–104.
25. PINTÉR A. (2007): Különböző eredetű szénhidrogénelegyek pirolízisének vizsgálata. Doktori (PhD) Értekezés, Budapest, 99.p.
26. SZÉLL A. (2007): Emissziós vizsgálatok használt forgácslapra – az égetés környezeti szempontú értékelése. Doktori (PhD) Értekezés, Sopron, 138.p.
27. SZUHI A. (2009): Új termikus technológiák és hagyományos hulladékégetők. Válaszúton Alapítvány, Tiszagyenda, 36.p.
28. Szemmelveisz T.-né (2012): Biomasszák energetikai hasznosításának lehetőségei elgázosítással és pirolízissel. Visegrád: XIX. Főenergetikai és Innovációs Szeminárium. 29.p.
29. SADAKA S. (2008): Pyrolysis. Center for Sustainable Environmental Technologies, Iowa State University. 25.p.
30. PEKKERNÉ JAKAB E. (2007): Adalékanyagok hatása a hulladékhasznosítás szempontjából fontos hőbomlási folyamatokban. Projekt Report. OTKA T 037704, 8.p.
31. Regösné K.J. (2003): Gumiabroncs-hulladékok pirolízise – elérhetetlen álom? Budapest: Hulladékok és másodnyersanyagok hasznosítása. 8. 27-34.p.
32. VARGHA V. (2006): Újrafeldolgozás, lebontás vagy deponálás? A műanyag hulladék jövője. Budapest: Műszaki információ. Környezetvédelem. 7-8. 93-108.p.
33. Yeuh-Hui Lin (2009), Polymer Degradation and Stability, Vol. 94. pp. 1924–1931.