

**BME GTK**

**Műszaki menedzser szak**

**Kémia II. c. tantárgy**

**A KŐOLAJ, MINT ENERGIAHORDOZÓ ÉS VEGYIPARI  
NYERSANYAG**

**(Előadási anyag)**

Összeállította:  
dr. Szabó Mihály  
adjunktus

Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

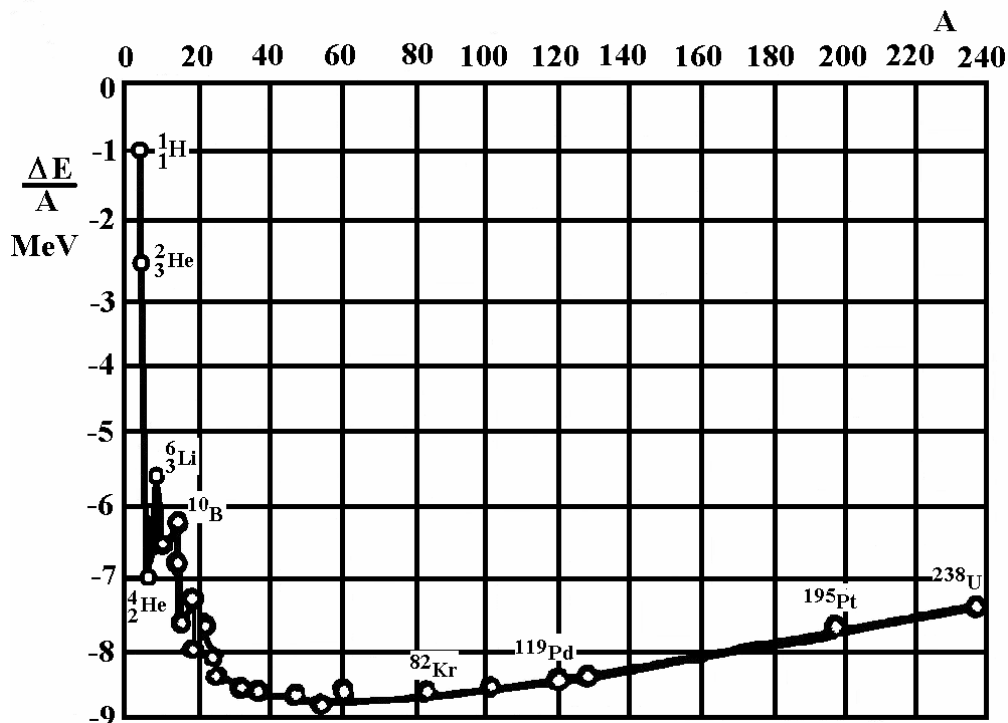
2007. tavasz

# 1. A természet lehetséges energiaforrásai

Az emberiség számára a természetben három lehetséges energiaforrás hasznosítható:

- a fúzió
- a fisszió
- a gravitáció

A fúzió és a fisszió energetikai magyarázata, hogy az atommagok egy nukleonra<sup>1</sup> eső kötési energiája a tömegszám függvényében a 60-70 tömegszám tartományban maximumot mutat (ld. 1. ábra). Az atommagok kötési energiájának hasznosítása olyan magátalakulással lehetséges, amelynek során a fajlagos kötési energia nő. Elvileg két lehetőség kínálkozik erre, a kisebb magok egyesítése, a fúzió, vagy a nagyobbak hasítása, a fisszió. A gravitáció energetikai magyarázata a testek tömegvonzása.



1. ábra Az egy nukleonra eső átlagos kötési energia a tömegszám függvényében

A **fúzió**, a könnyű elemek egyesülése a Napban is végbemegy, ez a Nap sugárzásának forrása. A napenergia közvetlenül is hasznosítható az emberiség számára, de egyéb energiahordozók is a napenergiából származnak. Így a Nap sugárzása mechanikai munkát végez a földi gravitáció ellenében, ez az oka a hidroszféra és az atmoszféra mozgásának, s ez a mozgás, mint víz- és szélenergia hasznosítható. A napsugárzás hatására kémiai átalakulás, fotoszintézis megy végbe a növényekben. A növények kémiai kötéseiben tárolt energia közvetlenül is hasznosítható (biomassza), de a táplálékláncon keresztül az állatvilágnak is energiaforrása, és ezen élőlények évmilliókkal ezelőtt elhalt, föld alá süllyedt és különböző átalakulási folyamatok eredményeként keletkezett „megkövesült, eltemetett” (fosszilis) maradványai a földkéregben levő kőszén, kőolaj, földgáz. A fosszilis energiahordozók tehát

<sup>1</sup> a nukleon az atommagot alkotó protonok és neutronok együttes elnevezése

évmillió nagyságrendben a napenergia raktárai. A fúzió földi körülmények közötti megvalósítására, és hasznosítására, a fúziós erőmű megépítésére jelentős nemzetközi együttműködés mellett folynak kísérletek, de a megoldásra még évtizedeket kell várni.

A **fisszió**, a földkéregben található nehéz elemek hasadása végbemehet önként a természetben, ez adja a természetes radioaktív bomlást, amely a geotermális energia egyik forrása, vagy előidézhető mesterségesen. Ez utóbbit nevezik ma az atomenergia hasznosításának.

A **gravitáció** az oka a tengerek ár-apály mozgásának, ez hasznosítható az ár-apály erőművekben.

**Megújulóknak** nevezzük az energiaforrást, ha az egy emberöltőnyi idő alatt keletkezett és felhasznált mennyiség különbsége nem negatív. Ebbe a kategóriába sorolható

- a közvetlen napsugárzás,
- a víz- és szélenergia,
- az ár-apály energia,
- a geotermális energia,
- a biomassa hasznosítása.

**Nem megújuló** energiaforrások

- a fosszilis energiahordozók,
- a hasadó anyagok,
- a fúzióra alkalmas atomok, pl. a hidrogén, bár a készlete gyakorlatilag kimeríthetetlen.

A **primer** energiahordozókat közvetlenül hasznosítjuk, a **szekunder** energiahordozókat előzetesen átalakítjuk. Primer energiahordozó szigorú értelemben tulajdonképpen alig van, mert szinte mindig valamilyen átalakító művelet előzi meg a hasznosítást. Ide sorolható a napenergia hasznosítása az épületek fűtésének csökkentése érdekében (szoláris építészet), vagy a biomassa (pl. tűzifa) elégetése, de általában ez utóbbit is megelőzi egy szárítás. Szekunder energiahordozónak tekintjük a villamos energiát, a hőszolgáltatás energiahordozó közegeit, az energiátárolókat.

## 2. A kőolaj

A kőolaj (és a földgáz) **keletkezése** a *szervetlen elmélet* (fém-karbidok reakciója túlhevített vízgőzzel) alapján nem bizonyított. A *szerves elmélet* szerint tengeri planktonok, baktériumok elpusztult szervezeteiből üledék rakódott le a tengerfenéken, amely anaerob bomlásának eredményeként (termikus bomlás, krakkolódás, kisebb, termodinamikailag stabilabb szénhidrogének keletkezése) keletkezett a kőolaj. A bomlásban kiemelt a nyomás és a hőmérséklet szerepe. Ha  $t \geq 60$  °C, 40-50 millió év szükséges a folyamat lejátszódásához.

**A kőolaj összetétele:**

*elemi összetétel (tömeg %):*

C	85-89
H	10-14
S	0,2-6 (általában 0,5-3)
O	0-1,5
N	0,1-1,5
Ni	0,001

V 0,003

kémiai összetétel: főként szénhidrogének

20-60% alifás telített, azaz paraffin (mennyisége a korrall nő)

50-25% ciklusos telített, azaz cikloparaffin, vagy más néven naftén (mennyisége korrall csökken)

a

30-15% aromás (mennyisége a korrall csökken, majd nő)

S, N, O tartalmú vegyületek

0,01-0,05%-ban V, Ni, Na fémek, ezek a hamualkotók

telítetlen szénhidrogének gyakorlatilag nincsenek benne, hiszen ezek reakcióképesége nagy, az évmilliók alatt elreagálhattak

Egyes nyersanyagok és termékek H/C atomarányát és átlagos molekuláris tömegét az alábbi táblázat mutatja be.

	H/C atomarány	átlagos móltömeg
benzin	2,0	100
kőolaj	1,6	300
atm. deszt. maradvány	1,4	~500
vákuum deszt. maradvány	1,3	~1000
kőszén	0,5	~10000

**Halmazállapota** folyadék, de egytől négy szénatomig ( $C_1 - C_4$ , metán – bután) oldott gázok, és szilárd szénhidrogének ( $C_{17}$ -től) is előfordulnak benne.

### Csoportosítása:

a szénhidrogén összetétel szerint

paraffin és

naftén bázisú, azaz főként ilyen típusú szénhidrogének alkotják, ill.

intermedier (kevert)

a frakciók (forráspont eloszlás) szerint

„Könnyű” sok a kis forráspontú alkotó (Norvégia, Nigéria)

„Közepes” (Szaud Arábia, Nagy-Britannia)

„Nehéz” sok a nagy forráspontú alkotó (Venezuela, Alaszka)

a S tartalom szerint

<1% kicsi (édes)

1-1,5% közepes

>1,5% nagy (savanyú)

A legértékesebbek a könnyű, (sok motorhajtóanyag előállítására alkalmas), édes kőolajok.

**Bányászata:** fúrótornyokkal, ha a közeg nyomása már nem elegendő a felszínre hozatalhoz, segédközegek bepréselésével (másodlagos, harmadlagos kitermelés).

**Előkészítése:** sómentesítés, vízmentesítés, kis szénatomszámú szénhidrogének (gazolin) elválasztása

**Felhasználása:** A kőolaj nagyon bonyolult összetétele miatt közvetlenül nem használható fel, az alkotóit homogénebb összetételű részekre ún. frakciókra kell bontani, majd azokat különböző kémiai átalakításnak kell alávetni, amelyet kőolaj finomítókban végeznek.

### 3. A kőolajból előállított termékek

#### 3.1. Motorhajtóanyagok

Ma a kőolaj felhasználásának legfontosabb területe a motorhajtóanyagok előállítása.

Először (a tulajdonságok megértése érdekében) megismerkedünk a belsőégésű motorok működésével, majd felsoroljuk azokat a motor által megkövetelt tulajdonságokat, amelyekkel a zavartalan üzem érdekében rendelkeznie kell a motorhajtó anyagoknak. Ezt követően a motorhajtóanyagok előállítását, az elégetésük környezetvédelmi kérdéseit, végül a jövő motorhajtóanyag alternatíváit tárgyaljuk.

A belsőégésű motorok:

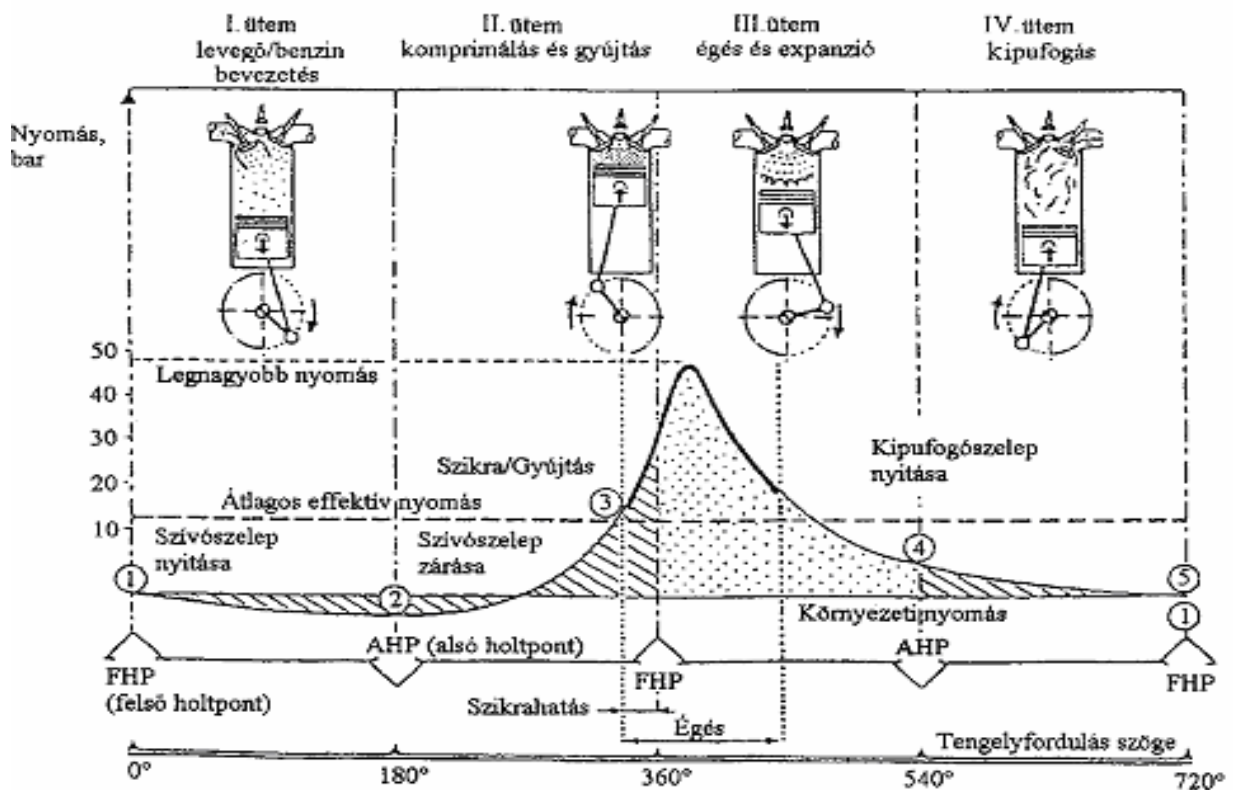
- reciprokáló (dugattyús) - Otto-motor, hajtóanyaga motorbenzin
- Diesel-motor, hajtóanyaga gázolaj, vagy más néven

dízolaj

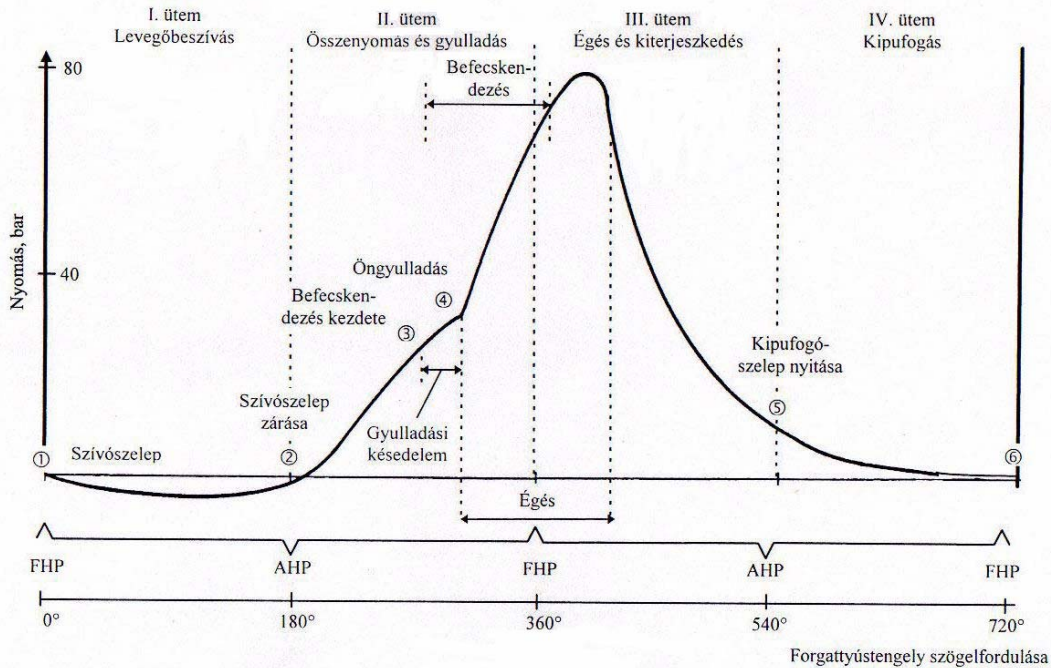
- gázturbina, hajtóanyaga speciális petróleum (kerozin)

A négyütemű Otto- és Diesel motor működését a 2. és 3. ábrán mutatjuk be.

Az ábrákon az x tengelyen a forgattyús tengely szögelfordulása (azaz az idővel arányos mennyiség) míg az y tengelyen a hengertérben uralkodó nyomás szerepel.



2. ábra. A négyütemű Otto motor működési elve



3. ábra. A négyütemű Diesel motor működési elve

A dugattyús motorok működési paraméterei:

	Otto	Diesel
keverékképzés	külső	belső
szabályozás	menyiségi	minőségi
$\lambda$ (légvizony)	$\approx 1$ , $\approx$ állandó	mindig $>1$ , változó
gyújtás	szikra	öngyulladás
sűrítési viszony	$\approx 10$	15-22
sűrítési csúcshőmérséklet	400-500 °C	600-900 °C
előgyújtás	5-30°	—
befecskendezés	—	10-25°
égési csúcshőmérséklet	2000-2500 °C	1800-2100 °C
középnomás	6-12 bar	5-8 bar
kipufogógáz hőm. teljes terhelésnél	700-1000 °C	500-700 °C
kipufogógáz hőm. részleges terhelésnél	300-500 °C	200-300 °C

A gázturbinában az égetés folyamatosan égetőkamrában történik, a kiáramló forró füstgázok hajtják a turbinát, ill. sugárhajtású gépekben reaktív erejük mozgatja a gépet.

A koncentrációval analóg fogalom a belső égésű motoroknál a **légvizony** ( $\lambda$ ).

Definíciója:

$$\lambda = \frac{L}{L_0} \quad \text{ahol} \quad L \text{ az égéshez ténylegesen beszívott levegő mennyisége,}$$

$L_0$  az elméleti levegőszükséglet.

$L$  és  $L_0$  mértékegysége megegyezik, tehát  $\lambda$  dimenzió-mentes viszonyszám.

$\lambda > 1$  esetén légfesleg (szegény keverék),  $\lambda < 1$  esetén léghiány (dús keverék) van a reakcióterben. A sűrítési viszony, vagy kompresszió viszony a dugattyú alsó és felső holtpontja fölötti térfogatok aránya. Az előgyújtás szöge a gyújtás időpontját jellemzi. Az a szögelfordulás, amelyet a forgattyús tengelynek a gyújtást követően még meg kell tennie, hogy elérje a felső holtpontot. A forgattyús tengely fordulatszáma percenként alapjáraton 700-900, emelt fordulaton néhány ezer fordulat. A négyütemű motorban egy ütemhez fél forgattyús tengely fordulat tartozik, ezek alapján becsülhető az égéshez rendelkezésre álló (nagyon rövid) idő.

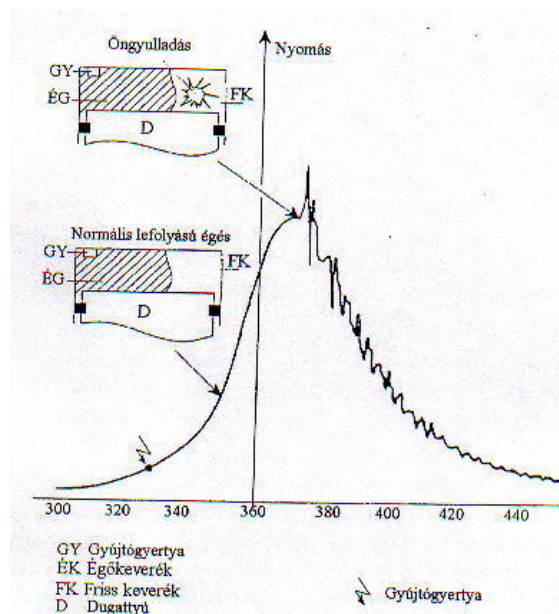
A gázturbinában az égetés folyamatosan égetőkamrában történik, a kiáramló forró füstgázok hajtják a turbinát, ill. sugárhajtású gépekben reaktív erejük mozgatja a gépet.

### 3.1.1. A motorhajtóanyagok tulajdonságai

#### Motorbenzin

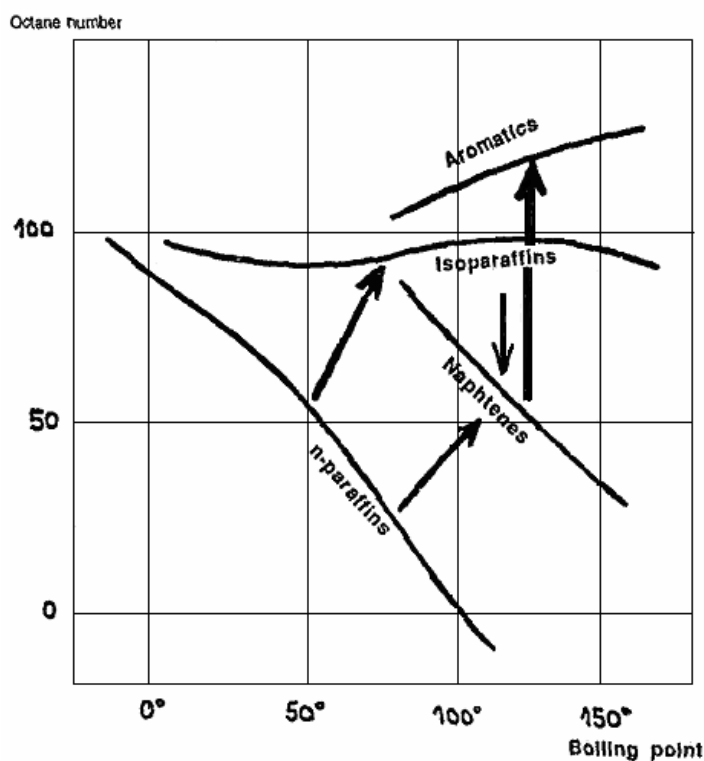
##### *Kompressziótűrés*

A kompressziótűrés a motorbenzin azon tulajdonsága, hogy milyen mértékű összenyomást képes elviselni öngyulladás nélkül. Ha nem megfelelő, a már égő gázelegyben a továbbnövekvő nyomás és hőmérséklet eredményeként öngyulladás is lejátszódik. Az így kialakuló-kialvó lángfrontok a motorban nyomáslengést okoznak (ld. 4. ábra), amelyet a felléptekor bekövetkező nagyfrekvenciás rezgés és hang miatt kopogásnak neveznek. A kopogás következménye teljesítményromlás, a motor mechanikai károsodása.



4. ábra. Kopogás az Otto-motorban

A motorbenzint alkotó szénhidrogének kompressziótűrése eltérő. Az 5. ábra a kompressziótűrés alakulását mutatja az egyes szénhidrogén típusoknál a forráspont, azaz a molekulatömeg függvényében. Az  $y$  tengelyen a (később definiálandó) nagyobb számérték jobb kompressziótűrést jelent.



5. ábra Különböző szénhidrogének kompressziótűrése

Az (elágazást nem tartalmazó) normál paraffinok kompressziótűrése a molekulamérettel egyre csökken, a hosszabb láncok öngyulladó-képessége egyre nő. Az (elágazó láncú) izoparaffinok kompressziótűrése molekula-mérettől függetlenül jó. A (telített gyűrűs) cikloparaffinok (naftének) kompressziótűrése közbülső értékeket foglal el, míg az aromás gyűrűs vegyületek kiváló.

Mivel a motorbenzinben nagyon sokféle szénhidrogén található, a kémiai összetétel alapján nem lenne megállapítható, hogy az adott motorbenzin megfelel-e a motor által támasztott követelményeknek. Emiatt egy nemzetközileg is egységes skálát, (az oktánszámskálát) vezettek be. Mivel a kopogás kialakulása nemcsak a motorbenzin kémiai összetételétől, hanem a motor kialakításától (pl. a kompresszióviszonytól, az égéster alakjától) és az üzemelési körülményektől (pl. a fordulatszámától, az előgyújtás szögétől, az égéster lerakódásaitól) is függ, a kompressziótűrés mérésére szabványosított motorok szolgálnak, amelyekben rögzített körülmények mellett etalon elegyekkel hasonlítják össze a vizsgálandó motorbenzin kompressziótűrését. Etalonnak két (átlagos és kb. azonos, 100 °C-os forráspontú) szénhidrogént választottak. Az egyik szénhidrogén a n-heptán, amelynek a kompressziótűrése nagyon rossz, őt tekintik 0 pontnak, míg a másik szénhidrogén a 2,2,4-trimetil-pentán (azaz az izo-oktánok egyike), amelynek kompressziótűrése jó, őt tekintik 100-as pontnak. (Keressük meg az etalonokat az 5. ábrán!)

A vizsgálatot úgy folytatják le, hogy a szabványos motort egyre növekvő kompresszióviszony mellett járatják a vizsgálandó motorbenzinnel, míg egy jól érzékelhető nyomáslengés lép fel, majd megkeresik, hogy ugyanennél a kompresszióviszonynál milyen összetételű n-heptán – i-oktán elegy okoz azonos mértékű nyomáslengést. A motorbenzin kompressziótűrésének mértékéül pedig az etalonelegy összetételét adják meg. A fenti logika alapján az oktánszám annak a n-heptánból és 2,2,4-trimetil-pentánból álló etalon elegynek a tf %-os izooktán



tartalma, amely szabványos motorban, rögzített körülmények között azonos kompressziótűrésűnek mutatkozik, mint a vizsgálandó benzin.

A gépjárművek motorjaiban különféle körülmények között kell kopogásmentesen elégnie az üzemanyagnak. (Hideg- és meleg, kisebb és nagyobb nyomású, oxigén-tartalmú levegőt beszívva, kisebb és nagyobb fordulatszámon, kisebb és nagyobb terhelés mellett stb.) Ezért az oktánszámot is különböző körülmények között vizsgálják:

A kísérleti oktánszámot (az angol rövidítése: RON) enyhébb igénybevétel mellett mérik. A motor oktánszám (MON) mérésénél nagyobb az igénybevétel. (A döntő eltérés a kísérleti oktánszám-méréstől az, hogy a benzin-levegő keveréket a porlasztás után felmelegítik 150 °C-ra, azaz nagyobb hőmérsékletre indítják a kompressziót, tehát a sűrítési ütem végén is nagyobb lesz a hőmérséklet, ill. a nyomás, ezért az öngyulladás is hamarabb bekövetkezik.) Ugyanaz a motorbenzin így a motormódszerrel mérve kisebb oktánszámúnak bizonyul, azaz  $MON < RON$ . A két érték különbsége az érzékenység. Nyilván azok a motorbenzinek a jobb minőségűek, amelyek érzékenysége kisebb. (Figyelem, az elnevezés félrevezető! A kísérleti és a motor oktánszámot is a szabványosított motorban határozzák meg.)

A kutaknál a kísérleti oktánszámot adják meg. A 100 fölötti oktánszám mérése izo-oktán-ólom-tetra-etil eleggyel (ld. később) történik.

Fontos, hogy a motorbenzin különböző forráspontú részeinek (frakcióinak) az oktánszáma ne nagyon térjen el, azaz az oktánszámeloszlás megfelelő legyen. Emiatt meg szokták határozni a motorbenzin 75 °C, vagy 100 °C alatti forráspontú frakciójának az oktánszámát, az ún. frontoktánszámot is, illetve a teljes frakció oktánszáma és a frontoktánszám különbségét ( $\Delta R$ ) is. A frontoktánszám meghatározása az ún. gyorsítási kopogás elkerülése érdekében szükséges. Gyorsításkor ugyanis a motorbenzin illékonyabb része feldúsul a hengerben, s ha ennek a frakciónak a kompressziótűrése kisebb, bekövetkezhet a kopogás.

### *Illékonyság*

Fontos tulajdonság, mert a keverékképzést, (az égés gázfázisú, előzetesen el kell párolognia az üzemanyagnak), a lerakódásokat, a kenőolaj-hígulást, a melegstartot befolyásolja. Az illékonyság vizsgálható egyrészt a **forráspontgörbével**. Ekkor 100 cm<sup>3</sup> benzin szabványos készülékben történő desztillációjakor mérik az átdestillált (és lehűtéssel visszakondenzáltatott) folyadék térfogatának függvényében a lombikból eltávozó gőzök hőmérsékletét. A motorbenzin forráspontja 40-200°C határok között kell legyen. A görbe egyes szakaszai más-más jellemzőt befolyásolnak.

Az illékonyság vizsgálható továbbá a 37,8 °C-on mért telített **gőznyomás** értékével. Ez a hidegindítás érdekében télen nagyobb lehet. Gondot okozhat a nagy és a kicsi illékonyság is. Túl magas kezdőforráspont esetén a hidegindítás nehéz, túl alacsony kezdőforráspontnál gőzbuborékok alakulhatnak ki a szívóvezetékben a melegstartnál, illetve nyáron, valamint nagyobbak a párolgási veszteségek, a környezet szénhidrogén szennyezése. Túl magas végforráspontnál megnő a lerakódások mennyisége, illetve a nagy forráspontú komponensek nem égnek el, kicsapódnak a hengerfalon, a kenőolaj viszkozitását csökkentve a kenés hatékonyságát rontják.

A motorbenzinek nemzetközi besorolása illékonysági osztályokat állapít meg, amelyek közül az adott ország klimatikus viszonyai alapján adják meg a szabványok a kívánt osztályt.

### *Összetevők*

-**ólom tartalom**: Gyökfogó<sup>2</sup> hatása miatt régen szerves ólomvegyületeket, ólom-tetra-etilt, ill. ólom-tetra-metilt ( $Pb(C_2H_5)_4$  ill.  $Pb(CH_3)_4$ ) adagoltak a benzinhez a jobb kompressziótűrés érdekében. Az ólom környezetszennyező, a kipufogógázzal a környezetbe

---

<sup>2</sup> a gyök a molekulákból képződő, párosítatlan elektront tartalmazó, így nagyon reakcióképes képződmény

került ólom a tápláléklánccal az emberi szervezetbe kerül. Az ólom a kipufogógáz tisztító katalizátorokat (ld. később) hatástalanítja, emiatt a fejlett országokban nem hoznak ma már forgalomba ólmozott benzint (Magyarországon 1999-ben szűnt meg az ólmozott benzin forgalmazása, 15 évvel korábban 1 liter motorbenzin még 600 mg ólmot tartalmazott.)

**-kén tartalom:** A kéntartalomról az égés során  $\text{SO}_2$  (esetleg  $\text{SO}_3$ ), a jelenlevő vízzel kénessav, (kénsav) keletkezik, ami korróziót, savas esőt okoz. A kéntartalom limitálandó, ma jogszabályban előírva legfeljebb 0,005 % (azaz 50 ppm) lehet, de a MOL által forgalmazott motorbenzinek kéntartalma legfeljebb 10 ppm. A kőolaj feldolgozása (ld. később) során keletkező frakciók kéntartalma katalitikus hidrogénezéssel,  $\text{H}_2\text{S}$  alakban eltávolítható, belőle parciális (részleges) égetéssel elemi kén nyerhető, ami a kőolaj-feldolgozás hasznos mellékterméke.

**-szénhidrogének csoportösszetétele:** a felhasználási tulajdonságok szempontjából nem közömbös, hogy a motorbenzint milyen szénhidrogének alkotják. Az olefinek (különösen a diolefinek) reakcióképesek, stabilitási problémát okozhatnak. Állás közben belőlük (gyökös mechanizmusú) oxidációs-polimerizációs reakciókban nagy molekulájú, gumyszerű és savas kémhatású termékek alakulhatnak ki, lerakódást, dugulást, korróziót okozhatnak. Emiatt az olefintartalom Magyarországon legfeljebb 18 V/V% lehet. Az aromások – bár kiváló kompressziótűrésűek – égési tulajdonságai kedvezőtlenek, kormozási hajlamuk nagy, mennyiségük hazánkban legfeljebb 35 V/V% lehet.

**-benzoltartalom:** A benzol az aromásokon belül is külön limitálandó, mert mérgező, rákkeltő, mennyiségét a fejlett országokban korlátozzák (Magyarországon max. 1 V/V%).

**-oxigéntartalom:** Az oxigéntartalmú vegyületek, az ún. oxigenátok (alkoholok, éterek, pl. metanol, tercier-butanol, MTBE: metil-tercier-butil-éter, ETBE: etil-tercier-butil-éter) javítják az oktánszámot, adagolásuk egy határon belül előnyös (max. 2,7 %). Minél rövidebb szénláncú a benzinhoz kevert alkohol, annál inkább érzékenyebbé válik a motorbenzin vízfelvételeire, illetve az alkoholok égésekor ártalmas aldehidek keletkeznek. Emellett az oxigéntartalom a fűtőértéket is csökkenti.

#### *Gyantatartalom*

A lerakódást, dugulást okozó aktuális vagy jelenlevő gyantatartalmat az ún. **elpárolgatási maradék** méréssel határozzák meg. A  $100 \text{ cm}^3$  benzinminta elpárolgatásakor visszamaradó gyanta legfeljebb 5 mg lehet. Ahogyan már említettük, a gyantaképzési hajlamot a hőbontással (krakkolással, ld. később) előállított benzinekben a krakkoláskor keletkező telítetlen kötések, főként diolefinek okozzák. Erre lehet következtetni az **indukciós periódus** méréssel: emelt hőmérsékleten azt vizsgálják, mennyi ideig nem lép reakcióba a vizsgálandó motorbenzin nagy nyomású oxigénnel (mennyi idő múlva kezd csökkenni egy előírt értéknél jobban az  $\text{O}_2$  nyomása). A **potenciális gyantatartalom** mérésekor a motorbenzint 16 óráig tartják az indukciós periódus-vizsgálat körülményei között, majd ezután meghatározzák az elpárolgatási maradékot.

#### *Korróziós hatás*

Az aktív S vegyületek miatt a motor egyes szerkezeti elemei károsodhatnak. Mérésekor emelt hőmérsékleten, bizonyos ideig, polírozott Cu lemezt mártanak a motorbenzinbe (**rézlemezpróba**). A Cu lemez elszíneződését szemrevételezéssel, etalon skálával hasonlítják össze.

A motorbenzinek jelenlegi minőségi követelményeit az alábbi táblázatban foglaltuk össze.

Minőségi fokozat	Esz-95	Esz-98
Jellemzők		
Kísérleti oktánszám	min. 95,0	min. 98,0
Motor oktánszám	min. 85,0	min. 88,0
Szín	színezetlen	színezetlen
Sűrűség 15 °C-on	720 — 775 kg/m <sup>3</sup>	
Desztilláció		
Átdestillált mennyiség		
70 °C-ig nyáron /	20 – 48 / 22 – 50 % (V/V)	
télen	46 – 71 % (V/V)	
100 °C -ig	min. 75 % (V/V)	
150 °C -ig	max. 210 °C	
Végforrpon		
Gőznyomás nyáron / télen	45 – 60 kPa / 60 – 90 kPa	
Szénhidrogén csoportok		
olefinek	max. 18 % (V/V)	
aromások	max. 35 % (V/V)	
Benzoltartalom	max. 1,0 % (V/V)	
Ólomtartalom	max. 5 mg/l	
Kéntartalom	max. 50 mg/kg	
Oxigéntartalom	max. 2,7 % (m/m)	
Gyantartalom	max. 5 mg/100 ml	
Indukciós periódus	min. 360 perc	
Korróziós hatás rézlemezen	legfeljebb 1. osztály	

## Gázolaj (dízelolaj)

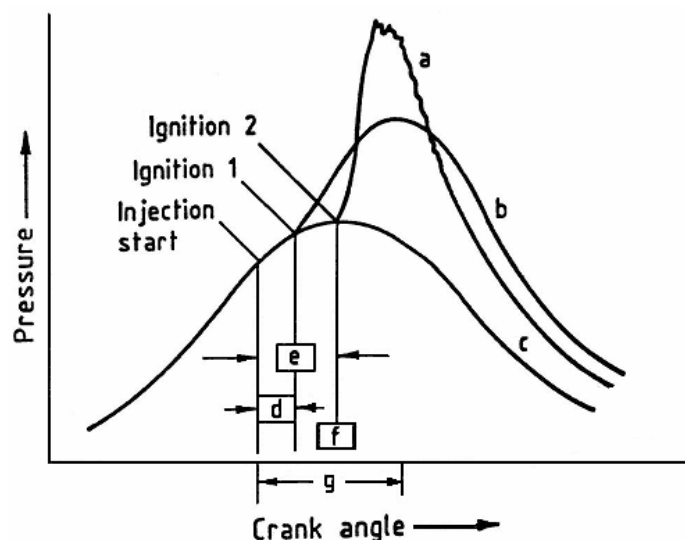
### *Gyulladás hajlam*

A dízel-motor levegőt szív be, és azt komprimálja a második ütemben. Az ütem vége előtt ebbe a nagy nyomású és hőmérsékletű levegőbe fecskendezik az üzemanyagot, ami lehetőleg kis késedelemmel magától meg kell gyulladjon. A dízel-motorban is felléphet a nyomáslengés, kopogás jelensége, ha a gázolaj öngyulladó képessége kicsi. Ilyenkor a nagy gyújtási késedelem miatt sok üzemanyag halmozódik fel a befecskendezéskor, ami hirtelen kezd égni (ld. a 6. ábrát). Ennek eredményeként rosszabb lesz a hidegindítás, nagyobb lesz a motorzaj, nagyobb lesz a légszennyezés, („fehér füst”).

A gyulladási hajlamot (az oktánszám mérés logikájának megfelelően, és azzal analóg módon) a **cetánszám** meghatározásával jellemzik.

Etalonok: n-cetán (16 szénatomos, elágazás nélküli, telített lánc, C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>) (100-as pont)  
α-metil-naftalin (kondenzált aromás vegyület) (0 pont)

A gyulladási hajlam és a kompressziótűrés éppen ellentétes tulajdonságok. Vizsgáljuk meg a cetánszám skála etalonjainak elhelyezkedését az 5. ábrán! Adjuk meg az oktánszám analógiájára a cetánszám definícióját!



6. ábra **Égés a Diesel-motorban**

- a) kopogásos égés, b) normál égés, c) nyomás öngyulladás nélkül  
d) megfelelő gyulladási késedelem, e) túl nagy gyulladási késedelem,  
f) felső holtpont, g) befecskendezés

A cetánszámot ritkábban mérik vizsgálómotorban, mint az oktánszámot, mert az ún. **cetán-index** könnyebben meghatározható. Ehhez sok üzemanyag kiértékelésével megszerkesztett tapasztalati képletet használnak, amely az üzemanyag sűrűségéből és a forráspontgörbe adataiból számítja a cetánszámot közelítő cetán-indexet (CI):

A cetánindex ma Magyarországon 48-50 körüli érték.

#### *Szivattyúzhatóság*

Az üzemanyag szállíthatósága is fontos. A szivattyúzhatóság a **viszkozitás** (a folyadékok belső súrlódása, a fogalom meghatározását ld. a kenőanyagoknál) és az ún. **hidegtulajdonságok**, a hűlés hatására bekövetkező szilárdulás függvénye. A viszkozitás 40 °C-on 2-4,5 mm<sup>2</sup>/s között kell legyen. Kisebbségnél a szivattyút, adagolót az üzemanyag nem keni megfelelően, (vékony a folyadékfilm az egymáson elmozduló fémeken), nagyobb értéknél nagy energiát igényel a gázolaj mozgatása. Az üzemanyag szilárdulása azért fontos, mert a gázolajat alkotó nagyobb molekulájú szénhidrogének télen kikristályosodva eltömíthetik az üzemanyagszűrőt, s ezzel a motor működése leáll.

Az üzemanyag hűtésekor a szilárdulás jellemző pontjai:

zavarosodási pont: ahol az első szilárd alkotó megjelenik

dermedéspont: ahol a nehézségi erő hatására már nem folyik

folyáspont: dermedéspont +3 °C

Tapasztalat szerint az üzemanyagszűrő eltömődése a zavarosodási és a dermedéspont között következik be, ezért ennek modellezésére az ún. **hidegszűrhetőségi határhőmérséklet** (CFPP: Cold Filter Plugging Point) vizsgálatát szabványosították: a mintát egyre hűtve azt vizsgálják, hogy 20 ml üzemanyag 45 µm finomságú szűrőn, adott nyomáskülönbséggel milyen hőmérsékleten szívható fel még 60 másodpercen belül. A CFPP értéke Magyarországon télen legfeljebb - 20°C, nyáron legfeljebb + 5 °C lehet.

#### *Porlaszthatóság*

Egyrészt az **illékonyság** függvénye. A forráspont tartomány 150-360 °C között lehet. Másrészt a **kokszképzési hajlam** szabja meg, amely lehetőleg kicsi legyen, ne képződjön kokszerű lerakódás a porlasztásnál.

### *Összetétel*

**kéntartalom** (a gázolaj minőségi besorolásának alapja). A kéntartalom az elmúlt időszakban folyamatosan csökkent, jelenleg max.0,005 % lehet.

**vízartalom** (legfeljebb 200 mg/kg)

**hamutartalom** (szilárd égéstermék korlátozása, max. 0,01 %)

**többgyűrűs aromás** szénhidrogének mennyisége (max. 11 %)

### *Korróziós hatás*

ld. **részlemezpróba**

### *Kenőképesség (HFFR)*

A gázolaj megfelelő kenőképessége a befecskendező szivattyú védelme érdekében fontos. Erre a HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) vizsgálattal következtetnek. Egy acélgolyót síkfelületen megszabott ideig, megszabott hőmérsékleten, terheléssel, frekvenciával, lökethosszal mozgatnak, a kenési helyre megszabott olajtérfogatot juttatva. A vizsgálat után a golyó legnagyobb átmérőjén bekövetkező kopás mértékét állapítják meg.

### *Oxidációs stabilitás*

Állás során nem alakulhat ki benne káros reakciótermék. Mérése: megszabott hőmérsékleten és ideig oxigént buborékoltatnak át a mintán, mérik az olajban oldhatatlan öregítési termékek mennyiségét.

### *Lobbanáspont*

A tűzveszélyességi besorolásnak is ez az alapja, legalább 55 °C kell legyen.

### *Sűrűség és energiatartalom*

Nagyobb gázolaj-sűrűség nagyobb volumetrikus energiatartalmat eredményez, de nagyobb légszennyezést is okoz.

### *Habképzési hajlam*

Lehetőleg kicsi legyen, mert a tankolás nehezzé válhat.

A dízel-olajok követelményeit ld. a következő táblázatban.

<b>Jellemző</b>	<b>Mértékegység</b>	<b>Követelmény</b>	
		legalább	legfeljebb
Cetánszám		51,0	
Cetánindex		46,0	
Sűrűség 15 °C-on	kg/m <sup>3</sup>	820	845
Átdestillált mennyiség 250 °C-ig	% (V/V)		65
350 °C-ig	% (V/V)	85	
95 %	°C-ig		360
Lobbanáspont	°C	55	
Kinematikai viszkozitás 40 °C-on	mm <sup>2</sup> /s	2,00	4,50

Jellemző	Mértékegység	Követelmény	
		legalább	legfeljebb
Hidegszűrhetőségi határhőm. (CFPP) nyáron / télen	°C		+5 / -20
Többgyűrűs aromások	% (m/m)		11
Kéntartalom	mg/kg		50
Oxidációs stabilitás	g/m <sup>3</sup>		25
Conradson szám	% (m/m)		0,30
Víztartalom	mg/kg		200
Hamutartalom	% (m/m)		0,01
Kenőképeség, korrigált kopási bemaródás átmérője 60 °C-on	µm		460
Korróziós hatás rézlemezen			1. osztály

### Speciális petróleum

#### *Hideg tulajdonságok*

A repülőgépeknél a külső hőmérséklet –50 °C is lehet, mérése ld. gázolaj.

**zavarosodási pont** mínusz 40-47 °C legfeljebb

**viszkozitás** 20 °C -on min 1,25 mm<sup>2</sup>/s  
-20 °C -on vagy - 40 °C-on max 8 mm<sup>2</sup>/s

**vízmentesség**

#### *Illékonyság*

A forráspont 150-300 °C között lehet. Hasonlítsuk össze a három motorhajtóanyag forráspont tartományát!

#### *Összetétel*

**aromás** szénhidrogének mennyisége a kormozó láng miatt max.18,5 vagy 25 %. A koromszemcsék erősen koptatják a turbina lapátokat.

**olefin tartalom** 0-5%

**kéntartalom:** - teljes: max. 0,3 %  
- SH kötésben lévő (agresszív): max.0,003 %

#### *Hőstabilitás, oxidációs stabilitás*

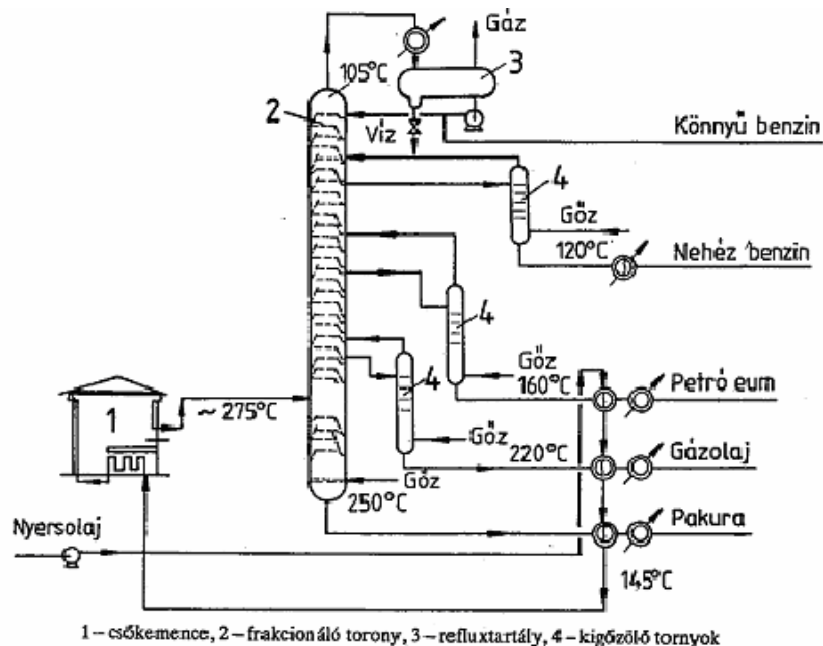
ld. gázolaj

### **3.1.2. A motorhajtóanyagok előállítása**

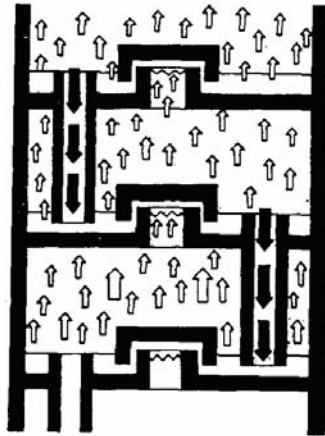
Motorhajtóanyagként ma döntően a kőolajból nyerhető szénhidrogén elegyeket használnak, mert ezzel biztosíthatók ma a leggazdaságosabban azok a tulajdonságok, amelyeket az előző fejezetben megismertünk. Ahogyan már említettük a kőolaj nagyon bonyolult összetétele miatt közvetlenül nem használható fel, az alkotóit homogénebb összetételű részekre ún. frakciókra kell bontani. Ennek legegyszerűbb és leggazdaságosabb módja a **desztilláció**.

A desztilláció a komponensek forráspontjának különbözőségén alapuló elválasztás. Elve: ha egy többkomponensű folyadék elegyet elpárologtatunk, a gőztérben feldúsulnak az illékonyabb, kisebb forráspontú komponensek, míg a folyadékban visszamaradnak a kevésbé illékony, nagyobb forráspontúak. A gőz elvezetésével és kondenzáltatásával az eredetihez képest megváltozott összetételű frakciók nyerhetők. A desztilláció végezhető szakaszosan, amikor a folyadék hőmérséklete időben változik, és egymás után távoznak az egyre nagyobb forráspontú komponensek. A folyamatos üzem termelékenyebb. Ekkor a hőmérséklet egy desztillációs oszlop (kolonna) mentén alulról felfelé haladva csökken, mivel az előmelegített folyadékelegyet a kolonna alsó harmadába, az ún. evaporátor térbe vezetik, míg a torony tetején elvezetett gőzök egy részét hűtéssel kondenzáltatják és visszavezetik a torony tetejére (reflux). Az alulról felfelé áramló gőzök, és a lefelé csorgó folyadék között intenzív anyag és hőcserét kell biztosítani, hogy az adott magasságban uralkodó hőmérsékleten kialakuljon az egyensúlyi állapot a gőz és a folyadék fázis között. A kőolaj atmoszférikus nyomáson végrehajtott desztillációjának folyamatábráját mutatja a 7. ábra. A gőz-folyadék érintkeztetés klasszikus megoldása az ún. buboréksapkás tányér, amelynek szerkezete a 8. ábrán látható. A torony tetszőleges helyeken „megcsapolható”, így különböző forráspont (és szénatomszám) tartományú frakciók nyerhetők. A desztilláció termékei a párlatok (fehérárak): benzín, petróleum, gázolaj, a torony alján a pakura gyűlik össze.

A pakurát alkotó szénhidrogének forráspontja légköri nyomáson magasabb, mint a bomlási hőmérsékletük, azaz a molekulák közötti szekunder kötések elszakítása nagyobb energiát, hőmérsékletet igényel, mint a C-C primer kötések elszakítása. Emiatt a kőolaj nem melegíthető a molekulák tördelődése, a hőbomlás veszélye nélkül 400 °C fölé. A pakurát alkotó szénhidrogének szétválasztása ezért vákuumban végrehajtott desztillációval történik. Mint tudjuk, a forráspont a külső nyomás függvénye! A vákuumdesztilláció termékei: vákuumgázolaj, paraffinos kenőolajpárlatok, a maradvány a gudron. A főbb termékek forrásponttárait (atmoszférikus nyomáson, ill. atmoszférikus nyomásra átszámítva) a 13. ábra mutatja.



7. ábra. Folyamatos üzemű kőolajdesztilláció folyamatábrája



8. ábra. A frakcionáló torony működési elve

Az atmoszférikus, ill. vákuumdesztilláció termékei közvetlen felhasználásra csak nagyon ritkán alkalmasak. Részben a szénhidrogén összetétel nem megfelelő, ill. el kell távolítani a (heteroatomos) szennyezőket, és gyakran a forrásponttartomány is pontosabban beállítandó. Másrészt a kőolajból nyert értékes termékek, a fehérárúk, a motorhajtásra alkalmas kisebb szénatomszámú szénhidrogének mennyisége kisebb, mint a felhasználási igény, míg a nagyobb szénatomszámú, főként maradvány olajok mennyisége az igényeket meghaladja, eltüzelésük az egyre szűkülő készletek miatt ésszerűtlen, ezért a nagyobb szénatomszámú szénhidrogének tördelésével, krakkolásával kisebb szénatomszámú frakciókat állítanak elő. A kőolajfeldolgozó üzemekben ezért ún. konverziós (átalakító) és hozam (feldolgozottság) növelő eljárásokat alkalmaznak, valamint petrokémiai termékeket állítanak elő.

A motorhajtó anyagok gyártási eljárásainak ismertetése előtt tekintsük át az egyes szénhidrogén típusok főbb tulajdonságait, hogy szerepüket a motorhajtóanyagban megítélhessük:

	gyull. hajlam	Kompr. tűrés		derm. pont	egys. térf. fűtőértéke	sűrűség	füstölés
		RON	érzékeny-ség				
n-paraffinok	nagyon jó	nagyon rossz	nagyon kicsi	rossz	kicsi	kicsi	enyhe
izo-paraffinok	rossz	jó	nagyon kicsi	jó	kicsi	kicsi	enyhe
olefinek	rossz	magas	nagyon nagy	jó	kicsi	kicsi	enyhe - közepes
naftének	közepes	közepes	kicsi	jó	közepes	közepes	közepes
aromások	nagyon rossz	nagyon jó	nagy	közepes	nagy	nagy	erős

Tanulmányozzuk át alaposan a táblázatot! A motorhajtóanyagok előállításakor az egymásnak ellentmondó igények, ill. az előállítás költségigénye miatt **optimalizálni kell**, azaz a szénhidrogének fenti tulajdonságait figyelembe véve több komponens és adalékok keverésével olyan elegyeket állítanak elő, amelyek kielégítik a motor által támasztott követelményeket.



## A motorbenzinek előállítása

Az atmoszférikus desztilláció terméke, az ún. straight run (egyenes lefutású) benzin közvetlenül Otto motorok hajtására nem alkalmas, elsősorban azért, mert a kísérleti oktánszáma 60 körüli érték, a mai motorok pedig 90 fölötti oktánszámú motorbenzint igényelnek. A motorbenzineket a kőolaj finomító különböző termékeinek keverésével állítják elő. A keverés közben több tulajdonság folyamatos mérésével és a végső összetételt optimalizálják.

### **Keverőkomponensek**

- *straight run benzin*

Az említett okok miatt mennyisége legfeljebb 10 % lehet.

- *reformátum*

A reformálás során 70-190 °C-os forráspontú, előzetesen kéntelenített benzinpárlatokat katalizátor ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  hordozón Pt/Re nemesfém) jelenlétében kb. 500 °C-on, 5-10 bar  $\text{H}_2$  nyomáson kezelnek.

A lejátszódó főbb reakciók:

- naftének dehidrogéneződése aromás vegyületekké
- n-paraffinok izomerizálódása
- paraffinokból aromás vegyületek képződése (dehidrociklizáció)
- paraffinok tördelődése és hidrogéneződése (hidrokrakkolódása)

A lejátszódó folyamatokat jelölik az 5. ábrán a nyilak. A folyamatok eredményeként 70-90 %-nyi reformátum (60-70 % aromás tartalom, sok izo-paraffin), egy-négy szénatomos ( $\text{C}_1$ - $\text{C}_4$ ) gázok és  $\text{H}_2$  keletkezik. Bár a reakciók során  $\text{H}_2$  termelődik, a technológiában (a Le Chatelier - Braun-féle legkisebb kényszer elvének ellentmondva) mégis hidrogén-nyomást alkalmaznak. Ennek az az oka, hogy krakkolódás is lejátszódik, mint mellékreakció, aminek az eredményeként kokszt rakódik a katalizátorra, aktivitását csökkentve. A hidrogén a krakkreakciókban képződő telítetlen vegyületek telítését végzi, így szorítva vissza a kokszképződést. Korábban nagyobb hidrogén-nyomást alkalmaztak, mégis a termelést sűrűn le kellett állítani, hogy a katalizátort regenerálják, leégetve a kokszt. A legfejlettebb, Százhalombattán is megvalósuló technológiában folyamatos a termelés, egy reaktorban a reformálás, míg egy másikban a katalizátor-regenerálás történik. A katalizátor a reaktorokban főlülről lefelé halad, a reaktor aljáról a másik tetejére emelik át. Az átemelés közben a hidrogénes és oxigénes terek precíz elválasztása, zsilipelése szükséges!

A katalizátor bifunkciós, a hordozó az izomerizációt, a nemesfém a dehidrogénezést segíti elő.

A reformáló üzemben termelődő hidrogén is értékes termék, azt az egyes termékek katalitikus kénmentesítésére, a telítetlen kötések telítésére használják fel. A reformálás a jó oktánszámú motorbenzinek gyártásának kulcsfontosságú folyamata, az említett százhalombattai technológiában kb. 100-as oktánszámú keverőkomponens keletkezik. A reformálás célja lehet aromás vegyületek előállítása is, ugyanis a reformátumból az aromás vegyületek elválaszthatók.

- *krakkbenzin*

A (hőbontás) krakkolás célja nagyobb szénatomszámú (forráspontú) szénhidrogének bontása kisebb szénatomszámú, értékesebb szénhidrogénekké, főként motorhajtóanyag gyártás érdekében.

A legegyszerűbb megoldás a pakura termikus krakkolása 450-600 °C-on, 1-70 bar nyomáson. Ma már ezt a technológiát motorhajtó anyagok gyártására nem használják, de benzinből olefinek (etilén, propilén) gyártására igen.

A krakkolás vákuumpárlatokból (Al-szilikát) katalizátor segítségével is végrehajtható kb. 500 °C hőmérsékleten. Fő terméként 55-60 %-nyi, kb. 92-es oktánszámú krakkbenzin keletkezik. Igen értékes a nagy olefin tartalmú 3-4 szénatomos gáz frakció is, amelyet az alkilezéshez (ld. később) használnak fel. Az ugyancsak keletkező krakkgázolajat általában visszavezetik a folyamatba, míg a maradványolajat fűtőolajként értékesítik, vagy belőle kokszt gyártanak. Százhalombattán 1984 óta működik ilyen üzem, amelyben a katalizátort fluid állapotban tartják, lebegtetik (FCC üzem).

A reakciók lejátszathatók (70-210 bar) hidrogén-nyomás mellett is (hidrokrakk eljárás), 300-400 °C hőmérsékleten. Ekkor az aromás vegyületek, a naftének hidrogéneződnek, a H/C arány nő, nagyobb a fehéráru hozam, de a benzin oktánszáma kevésbé jó, reformálni kell.

Valamennyi krakkolásnál keletkezik értékes gáz, benzin, gázolaj, maradvány frakció, de mennyiségük, összetételük a körülmények miatt változó. A krakkbenzinek nagy olefintartalmúak lehetnek, különösen a többszörös telítetlen kötések miatt szükség lehet telítő hidrogénezésükre (ld. indukciós periódus).

#### ▪ *izomerizátum*

A straight run benzinből nyerhető elágazás nélküli, normális láncú C<sub>4</sub>-C<sub>6</sub> szénhidrogének 300-500 °C hőmérsékleten, Pt/Pd katalizátoron, H<sub>2</sub> nyomás mellett izoparaffinokká alakíthatók, értékes keverőkomponenst nyerve.

#### ▪ *alkilátum*

Az alkilezés erősen savas (hidrogén-fluorid) közegben hajtható végre. Izo-bután és C<sub>3</sub> - C<sub>5</sub> olefinek reakciójában C<sub>7</sub> - C<sub>9</sub> izoparaffinok keletkeznek. A legjobb keverőkomponens (ld. az előző táblázatot), mivel izo-paraffinokból áll, de a legdrágább is.

#### ▪ *polimer benzin*

A műanyagok gyártásának egyik alapvető technológiája a benzin-pirolízis, azaz -hőbontás. Ekkor nagy hőmérsékleten, rövid ideig kezelik a benzint, amelynek eredményeként olefinekben (etilénben, propilénben) gazdag gáz halmazállapotú terméket és a motorbenzin forrástartományába tartozó, nagyobb szénatomszámú telítetlen szénhidrogéneket tartalmazó folyékony halmazállapotú terméket, ún. pirolízis benzint nyernek. Ez utóbbiból a telítetlen szénhidrogének egymásra építésével (nem is polimerizálással, valójában csak oligomerizálással, ld. műanyagok) nyerhető benzin is bekeverhető a motorbenzinbe.

#### ▪ *oxigenátok*

Az említett oxigén-tartalmú vegyületek (alkoholok, éterek) értékes oktánszámjavító keverőkomponensek, előállításuk gyakran a finomítóban történik.

### A dízel olaj előállítása

A cetánszám szempontjából az atmoszférikus desztillátum általában megfelelő, de kénteleníteni kell, valamint a dermedéspont is csökkentendő, különösen a téli gázolaj esetében. A kéntelenítés az említett katalitikus hidrogénezéssel oldható meg, a dermedéspont bizonyos mértékig csökkenthető adalékokkal. Az adalék sok apró kristály kialakulását segíti elő a szűrőt könnyebben eltömő, nagy kristályok helyett. A dermedéspont csökkenés hatékonyabb módszere a szelektív hidrokrakkolás, azaz a molekulák kismértékű tördelése. A legjobb minőségű (city) gázolajok aromás tartalmát is csökkentik, telítő hidrogénezéssel. A krakkgázolaj (főként hidrokrakk) is alkalmas keverőkomponens lehet.

### A speciális petróleum előállítás

A speciális petróleumot az atmoszférikus desztillátum kéntelenítésével, újra desztillálásával, adalékolással állítják elő.

### Motorhajtóanyag adalékok

Az egyes tulajdonságok javítására, 1 % alatti mennyiségben adalékokat kevernek a motorhajtóanyagokba. Ilyenek pl. a kopogásgátló adalékok, antioxidánsok (az oxidációs reakciókban keletkező lerakódások ellen), a korróziós inhibitorok, a cetánszám javító, dermedéspont csökkentő, habzástgátló adalékok. Általában szintetikus vegyületek.

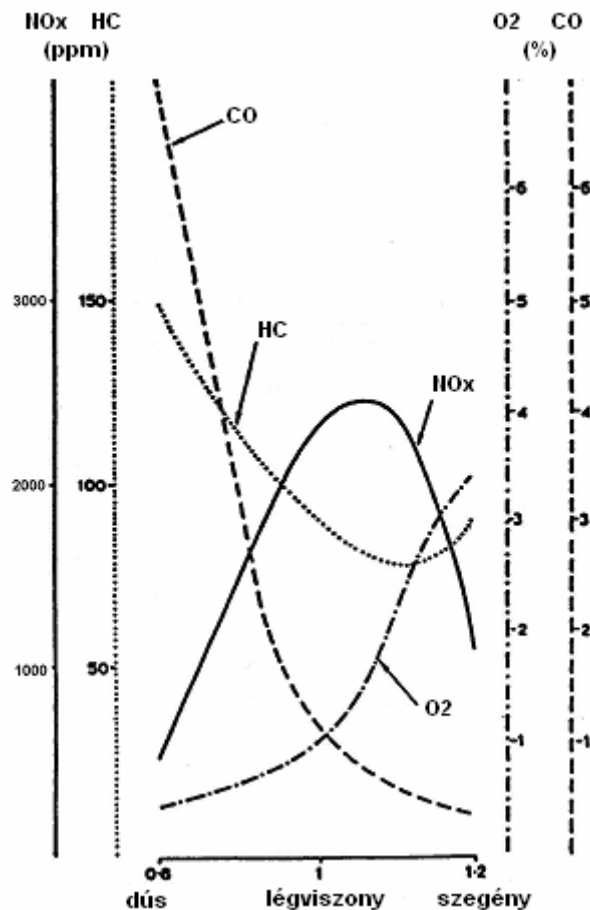
## **3.1.3.A motorhajtóanyagok felhasználása, elégetésük környezeti hatása**

### Otto motor

A kipufogógáz a motorban, (egy tartály típusú reaktorban) végbemenő kémiai reakció, égés terméke, összetételét a reakció lejátszódását befolyásoló tényezők: a nyomás, a hőmérséklet, a koncentráció és a tartózkodási idő határozzák meg. Mindezekre hatással vannak a motor konstrukciója és az üzemi paraméterek, (pl. a kompresszió viszony, a fordulatszám, az előgyújtás szöge), a motorbenzin kémiai összetétele, a beszívott levegő jellemzői. A kipufogógázokkal közvetlenül és közvetetten is kerülnek ártalmas anyagok a levegőbe. Az égés a nagy fordulatszám miatti kis reakcióidő és a nem tökéletes keveredés miatt mindig tökéletlen, emiatt a kipufogógáz néhány tized % - néhány % közötti mennyiségben szén-monoxidot (**CO**-t) és néhány száz ppm-nyi (néhány század %-nyi) mennyiségben sokféle elégetlen, részben elégett, vagy az égés során keletkezett új szénhidrogént (az angol kifejezés rövidítésével **HC**-t) tartalmaz. Emellett a nagy motortér hőmérséklet miatt a levegő nitrogénje oxidálódik, döntően **NO**-t (néhány tized %), kisebb mennyiségben **NO<sub>2</sub>**-t (együttesen **NO<sub>x</sub>**-t) eredményezve. Másodlagos reakciók eredményeként **fotokémiai szmog** keletkezik, a szénhidrogének és az **NO<sub>x</sub>** ultraibolya sugárzás hatására peroxid kötésű szerves vegyületeket, és ózont képeznek. A motorbenzin S tartalma kén-dioxiddá (**SO<sub>2</sub>**) ég el. A káros komponensek emberre és környezetre gyakorolt hatását ismertettük.

A **szén-monoxid** igen erős mérgező, a vér hemoglobinjához az oxigénnél mintegy 300-szor erősebben kötődik, így megakadályozza a sejtek oxigén-ellátását. A **nitrogén-oxidok** és a **kén-dioxid** a tüdőt roncsolják, valamint savas esőt okoznak. Elsősorban a nagyvárosokban, a kipufogógázokból másodlagos reakciók eredményeként **fotokémiai szmog** keletkezik, a szénhidrogének és az **NO<sub>x</sub>** ultraibolya sugárzás hatására peroxid kötésű szerves vegyületeket, és **ózont** képeznek. A szén-dioxid ugyan nem mérgező, de az **üvegházhatás** fő okozója. Az üvegházhatást az okozza, hogy a földi légkörben bizonyos gázok, a **CO<sub>2</sub>**, az egyéb ipari és mezőgazdasági tevékenységekből származó metán, dinitrogén-oxid és freonok (klórozott, fluorozott szénhidrogének) mennyisége megnövekedett. Emiatt ezek a gázok a földről távozó, a bejövönél kisebb energiájú, nagyobb hullámhosszúságú sugárzást visszatartják, s ezáltal globális felmelegedést, beláthatatlan következményekkel járó éghajlatváltozást okoznak. Bár a metán, dinitrogén-oxid és freonok relatív üvegházhatékonysága a szén-dioxidhoz képest 21-szeres, 270-szeres, illetve 4000-szeres, a nagy mennyisége miatt a szén-dioxid hozzájárulása a globális felmelegedéshez a legnagyobb (50-60%).

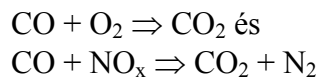
A kipufogógáz komponensek mennyisége döntően a motorba belépő gázelegy összetételétől, azaz a légviszonytól függ. A 9. ábra a kipufogógáz átlagos összetételét mutatja be a  $\lambda$  függvényében. (Az ábrán az **SO<sub>2</sub>** tartalom nem szerepel, azt a benzin kéntartalma szabja meg, csökkentése a benzin kéntelenítésével oldható meg.)



9. ábra Az Otto motor kipufogógázának összetétele a légviszony függvényében

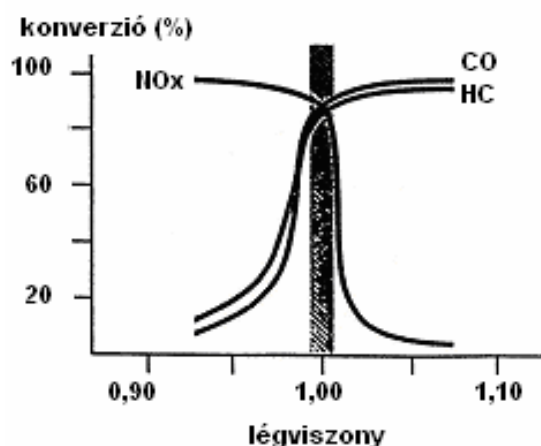
Látható, hogy bár elméletileg léghiányban nem maradhatna oxigén, illetve légfeslegben nem keletkezhetne CO, mindkettő kis mennyiségben jelen van ezekben a tartományokban is. A CO keletkezését nagy motortér hőmérsékleten indokolhatja a szén-dioxid hőbomlása is a  $2 \text{CO}_2 \Leftrightarrow 2 \text{CO} + \text{O}_2$  megfordítható reakció szerint. Az  $\text{NO}_x$  koncentrációja (a  $\lambda \approx 1$ -nél maximumot elérő motortér hőmérséklet és a megmaradó oxigén-tartalom miatt) 5-10 %-os légfeslegnél maximum görbét mutat. A szénhidrogének mennyisége  $\lambda$  növekedésével csökken, de nagyobb légfeslegnél, ha a felesleges levegő nagyon lehűti az égésteret, újra nőhet.

A kipufogógázok káros komponenseinek mennyiségét korábban sokféleképpen próbálták csökkenteni. Magában a motorban, ha a jó hatásfokú energiatermelést fenn akarjuk tartani, egyidejűleg valamennyi káros kibocsátás jelentősen nem csökkenthető, hiszen az egyes szennyezők csökkentése egymással ellentétes irányú változtatásokat igényelne. Pl. a tartózkodási idő a fordulatszám csökkentésével nem növelhető, mert a csökkenő fordulatszám csökkenti a motor teljesítményét és a nyomatékot. A termodinamikailag végbemehető, de a motorban kinetikailag gátolt folyamatok lejátszódását katalizátorral segíthetjük egy (második, csőtípusú) kémiai reaktorban, amelyre rávezetjük a motorból távozó gázt. Az ártalmatlanítás történhet a HC-k és CO oxidációjával  $\text{CO}_2$ -dá és vízzé, valamint az  $\text{NO}_x$  visszaredukálásával  $\text{N}_2$ -né. Az oxidációs folyamatot platina (**Pt**) és palládium (**Pd**) tartalmú katalizátorok gyorsítják, míg a redukció leghatékonyabb katalizátora a ródium (**Rh**). A legkorszerűbb, hármashatású katalizátorok mindhárom káros komponens (CO, HC,  $\text{NO}_x$ ) egyidejű ártalmatlanítására alkalmasak. A lejátszódó sokféle reakció közül a meghatározóak:



A katalizátor átalakítási hatásfokát az egyes komponensekre vonatkozó **konverzió** jellemzi, amely definíciószerűen az illető komponens fogyása a katalizátoron, osztva az eredeti koncentrációval. A konverziót alapvetően a légviszony tényező, a hőmérséklet és (mivel a katalizátor szilárd, a lejátszódó reakciók gáz fázisúak, azaz heterogén katalízisről van szó) a katalizátor felülete befolyásolja.

A légviszony tényezőtől függ ugyanis a kipufogógázban jelenlevő oxidálószer (O<sub>2</sub> és NO<sub>x</sub>) valamint redukálószer (CO és HC) aránya. Meghatározó a CO és az O<sub>2</sub> mennyisége. Léghiányban sok a CO, míg az O<sub>2</sub> kevés. Emiatt a fenti reakciókban a CO csak kis mértékben fogyhat el, míg az NO<sub>x</sub> fogyása jelentős. Légfeleslegben az O<sub>2</sub> és a CO aránya megfordul. A szén-monoxid a fenti első reakció szerint a sokszoros oxigén feleslegben szinte maradéktalanul elég, míg a nitrogén-oxidokkal alig lép reakcióba, emiatt azok mennyisége csak kevéssé csökken. Tehát az oxidációs reakcióknak a levegőfelesleg, a redukciónak a léghiány kedvez. A konverzió-légviszony összefüggést ideális esetben, azaz kellően magas hőmérsékleten és elegendően nagy aktív felületen mutatja be a 10. ábra.

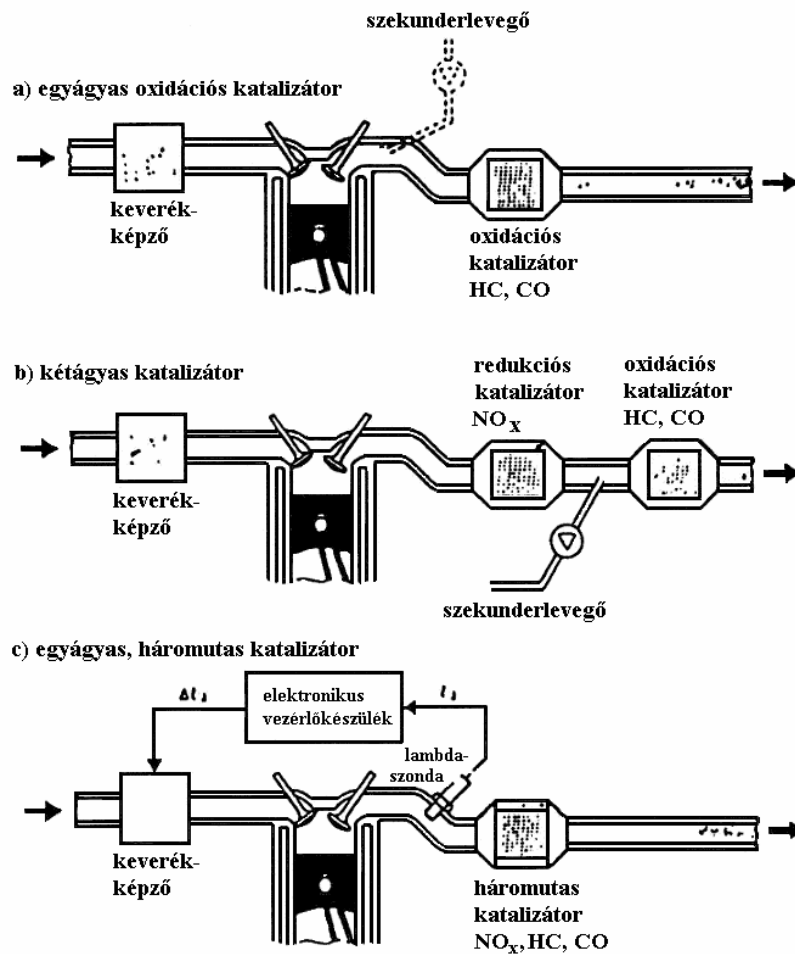


10. ábra A konverzió-légviszony összefüggés ideális esetben

Amint az ábrán is látható, a hatékony működés (nagy konverzió mind az oxidációs, mind a redukációs folyamatokban) szempontjából döntő, hogy a légviszonyt optimalizáljuk,  $\lambda \sim 1$  környékén minél pontosabban egy szűk sávban, "ablakban" tartjuk. A hagyományos porlasztók erre képtelenek. A korszerű gépkocsikban ezt a feladatot egy ún. lambda-szonda és benzin befecskendező rendszer segítségével oldják meg. A szonda a kipufogógáz oxigén tartalmát méri a katalizátor előtt, és a vezérlő egység ennek alapján — valamint egyéb motorikus paraméterek figyelembevételével — szabályozza a befecskendezést. A fejlett országok környezetvédelmi előírásai csak ilyen **szabályozott hármashatású (a CO-ra, HC-re és NO<sub>x</sub>-re ható) katalizátoros** gépkocsikkal elégíthetők ki, így csak ilyenek kerülhetnek forgalomba. (A lambda-szonda nélkül szabályozatlan hármashatású katalizátorról beszélünk.)

A katalizátor fejlesztés lépéseit mutatja a 11. ábra. Először csak oxidációs katalizátorokat alkalmaztak, majd a második fejlődési stádiumban a léghiányos körülmények között végrehajtott redukció után — pótlólagos oxigén hozzávezetést követően — egy második katalizátor testben oxidáltak (kétágas, hármashatású katalizátor). Az angol elnevezés (three

way) tükörfordításaként találkozhatunk a „háromutas” elnevezéssel is, de helyesebb a „hármashatású” elnevezés használata.

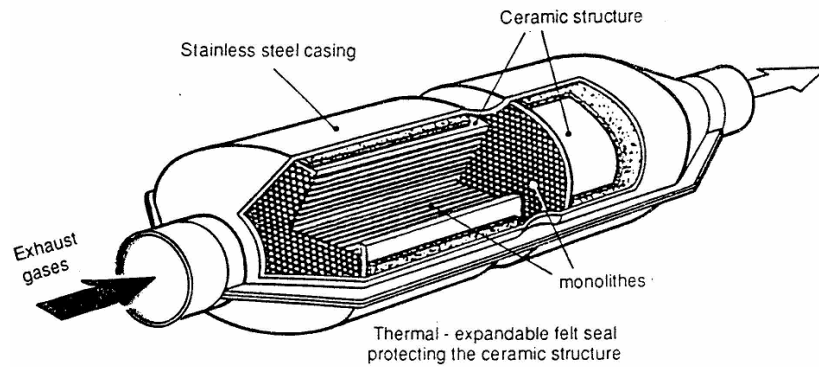


11. ábra. Katalizátorrendszerek fejlődése

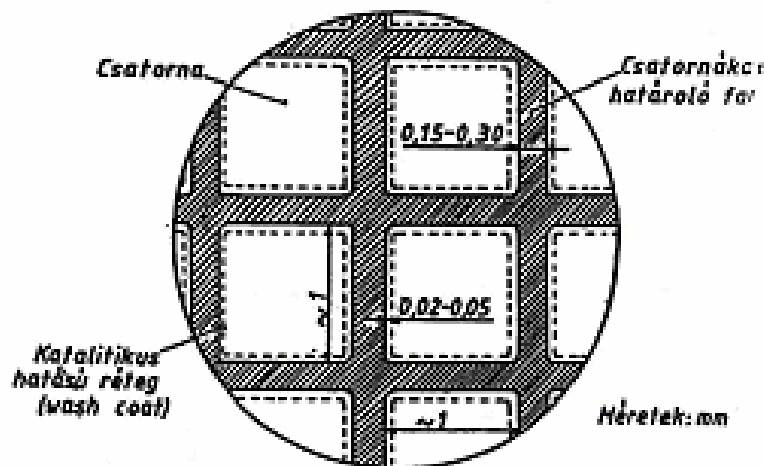
Az oxidációs és redukciós folyamatok 300-800 °C hőmérséklettartományban mennek végbe megfelelően nagy sebességgel. Alacsony hőmérsékleten a katalizált reakció sebessége sem nagy, az átalakítás kis mértékű. (Definíció szerint a katalizátor ún. indulási hőmérsékletén az átalakítás 50 %-os.) A motor indításakor a benzinben dúsabb keverék és a még "hideg" katalizátor miatt a CO és a HC kibocsátás jelentős lehet, ezt a benzinhoz (egyébként az oktánszám növelése érdekében is) adagolt oxigéntartalmú vegyületekkel lehet csökkenteni. A katalízis igényelte nagyobb kipufogógáz hőmérséklet egyúttal nagyobb füstgáz veszteséget is jelent, emiatt a kipufogógáz hőmérsékletet is optimalizálni kell.

A hatékony működés érdekében a katalizátor felülete nagy, 15000-20000 m<sup>2</sup>-es kell legyen. A szerkezet kialakítása is optimalizálást igényel, mert a nagyon drága nemesfémekből lehetőleg kis mennyiséget, viszonylag kis térfogatban, kis áramlási ellenállást okozva kell nagy felületen eloszlatni. A nagy áramlási ellenállás ugyanis a motor hatásfokának (nagyobb mértékű) romlását okozná. Ezen tényezők eredményeként alakult ki az 12. a és 12. b. ábrán látható szerkezet. A katalizátor vázát fém vagy kerámia alkotja, amelyben a kb. 1 mm széles hosszanti csatornákat 0,1 - 0,3 mm vastag fal választja el. A falra viszik fel néhány század mm-es vastagságban a katalizátorhordozó (leggyakrabban  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) réteget, amely az 1-3 tömegszázaléknyi nemesfémeket tartalmazza. A motorbenzinek kompressziótűrésének

növelésére a korábban használt ólom-adalékok nem használhatóak, mert az ólom a katalizátor felületén irreverzibilisen megkötődve azt hatástalanítja. Ezért a katalizátoros gépkocsik csak ólmozatlan benzinnel üzemelhetnek. Ez a körülmény a fejlett országokban az (ólom mérgező hatása miatt egyébként is visszaszorulóban volt) ólmozást teljesen megszüntette. Magyarországon sem hozható forgalomba ólmozott motorbenzin. További aktivitáscsökkenést okozhatnak a kenőolaj adalékok, ill. túl nagy hőmérsékleten is károsodhat a katalizátor finom szerkezete, emiatt óvni kell (pl. a gyújtás kimaradás miatti) túlhevüléstől.



12. a ábra. A katalizátor szerkezete



12. b ábra. A katalizátor szerkezete nagyítva

Figyelem! A katalizátor **nem szűri ki** az ártalmas komponenseket, hanem a gáz halmazállapotú szennyezők átalakítását gyorsítja gáz halmazállapotú termékekké, megfelelő körülmények esetén.

### Diesel motor

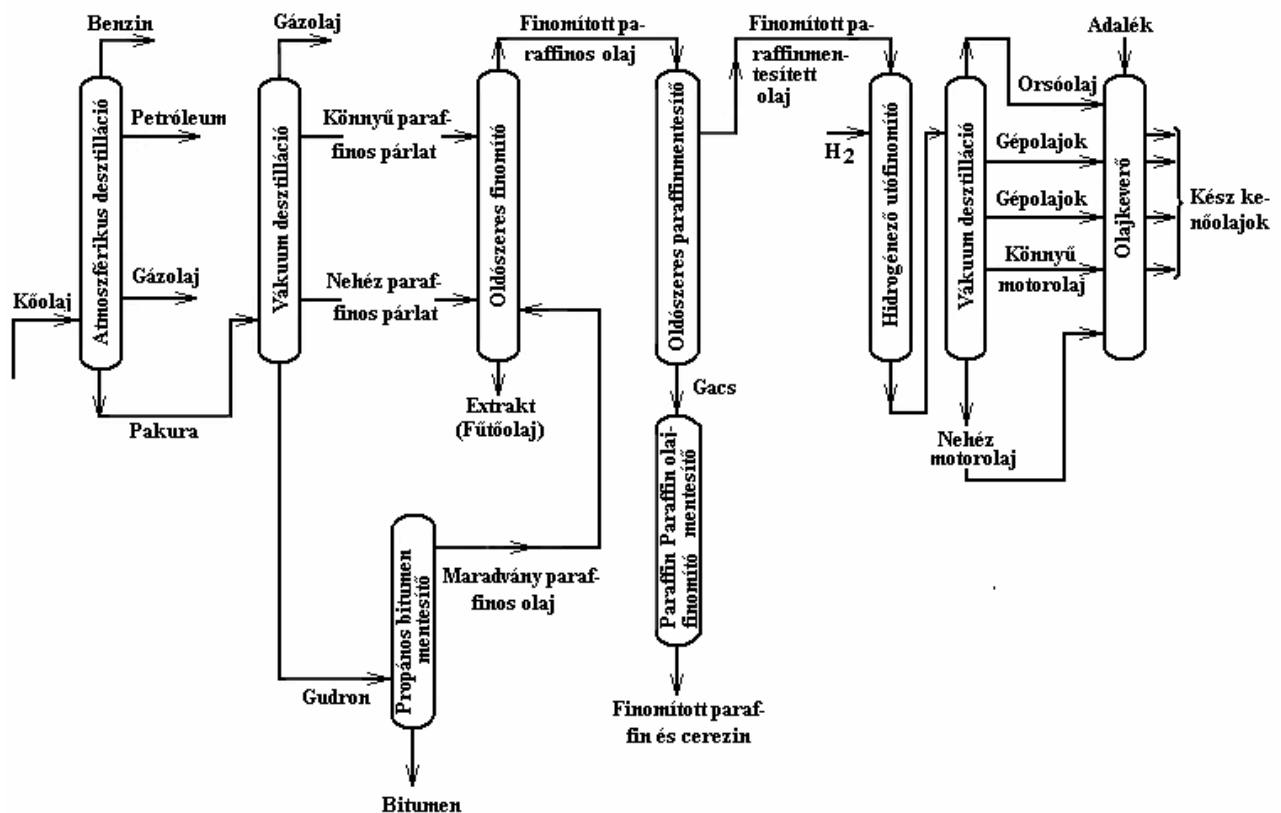
Általában kevésbé környezetszennyezőnek tekintik, mint az Otto-motort, mert a CO, és a HC kb. a katalizátoros Otto motorral megegyező. Nagy problémát okoz azonban, hogy az NO<sub>x</sub> kibocsátás nem kisebb jelentősen, viszont a szilárd részecske (rákkeltő korom, szulfát) kibocsátás az Otto-motorénak sokszorososa. Mivel a motorban mindig légfesleg (maradék O<sub>2</sub>) van, a hármasszerű katalizátor éppen az NO<sub>x</sub> ártalmatlanítására nem alkalmas. Az NO<sub>x</sub> katalitikus redukciójához redukálószer (pl. karbamidból felszabadított ammóniát, kis

mennyiségű üzemanyagot, azaz szénhidrogént) kell a kipufogócsőbe juttatni. A korom kiszűrhető, de a folyamatos üzem biztosításához a szűrő regenerálása (leégetése) nehéz. Vagy emelt hőmérsékletet kell biztosítani, vagy valamilyen katalitikus hatású anyagot, mely a leégetéshez szükséges hőmérsékletet csökkenti.

### 3.2. Kenőanyagok

A gépekben az egymáson elmozduló fémes alkatrészek miatt nélkülözhetetlenek. A kenőanyagok legnagyobb része kőolajból készül. Az elvárt tulajdonságok a kémiai stabilitás, a jó tapadó-képesség a szerkezeti anyagon, a megfelelő viszkozitás, ill. viszkozitás-hőmérséklet összefüggés (a viszkozitás változása a hőmérséklet-változás hatására kicsi legyen). Ezen tulajdonságoknak elsősorban az izo-paraffinok felelnek meg.

Az előállításuk során a kőolaj vákuumpárlatából és vákuummaradványából a nem megfelelő többi szénhidrogén nagy részét el kell távolítani. Erre oldószeres módszereket (extrakciót), és hidrogénezést használnak. Egy ilyen kenőolajblokk vázlatát mutatja a 13. ábra, csak tájékoztatásul. Az így nyert ún. bázisolajat a felhasználási célnak megfelelően speciális vegyületekkel adalékolják. A kenőolajok a kőolaj feldolgozás kis mennyiségben (<1%) gyártott, de igen értékes termékei.



13. ábra. A kenőolajgyártás (kenőolajblokk) folyamatvázlata a desztillációval

### 3.3. Tüzelőolaj, fűtőolaj

A kőolaj feldolgozás során sok helyen keletkeznek olyan termékek, melyek tüzelő vagy fűtőolajként forgalomba hozhatók. Fűtőértékük kb. 42000 kJ/kg.



A tüzelőolaj forráspont tartománya 160 – 390 °C (általában gázolaj, ill. párlatolaj), nagyobb része telített szénhidrogén, kisebb arányban egy-gyűrűs aromás vegyületek. Fontos tulajdonságai: sűrűség (820-860 kg/m<sup>3</sup>), viszkozitás (szivattyúzhatóság miatt), lobbanáspont (tűzveszély miatt, legalább 55 °C), kéntartalom, dermedéspont.

A fűtőolaj tengerjárók, erőművek, nagy ipari kemencék fűtésére szolgál, a szénhidrogének móltömege akár 20000 is lehet. Csak melegítve szállítható, ill. használható fel, ezek maradványolajok. Hamutartalmuk 0,1 % is lehet, kolloid rendszer. Fontos tulajdonságai: ld. tüzelőolaj. Különböző viszkozitású és kéntartalmú fűtőolajok kerülnek forgalomba.

### 3.4. Petrolkémiai termékek

Petrolkémia: a vegyipar azon része, amelynek a kiinduló anyagait szénhidrogén bázison állítják elő.

A termékei között számos szerves és szervesetlen vegyületet találunk, amelyek a műanyagipar, a festégyártás, a gumiipar, a műtrágyagyártás és számos más iparág kiinduló anyagai.

- *aromás vegyületek (benzol, toluol, xilol)*

Régen a kőszén lepárlásakor keletkező kátrányból állították elő, ma reformálással, majd oldószeres elválasztással (extrakcióval), vagy pirolízisbenzinből (ld.később) extrakcióval. Felhasználásuk főként a műanyagiparban.

- *n-paraffinok*

Molekulaszítás elválasztással: bizonyos porózus szilárd anyagok pórusaiba csak az elágazást nem tartalmazó láncú szénhidrogének férnek be, így elválaszthatók a többi szénhidrogéntől. Felhasználás: mosószergyártás.

- *olefinek (kettős kötésű szénhidrogének)*

Benzinpirolízissel: a kőolaj atmoszférikus desztillációjával előállítható ún. vegyipari benzint csökemencében vízgőz jelenlétében gyorsan 830-850 °C-ra melegítik, (0,1-0,2 s tartózkodási idő), majd hirtelen lehűtik. Keletkezik gáz, benne ~28 % etilén

~15% propilén

folyadék, motorbenzinbe keverhető komponens

pirolízis kátrány, belőle koks, korom gyártható

A gázból kinyerhetők más értékes telítetlen vegyületek is.

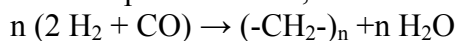
Felhasználás: műanyagipar, etilénből sok szerves vegyület előállítható etilénkémia

- *Szintézisgáz*

Metán (földgáz) vagy bármely szénhidrogén tartalmú elegy (pl. könnyűbenzin) vízgőz jelenlétében, ~900°C-on, Ni katalizátoron CO-t és H<sub>2</sub>-t tartalmazó gázeleggyé alakítható, amelyből számos kémiai szintézis kiindulhat, pl.

ammóniagyártás, belőle salétromsav, mindkettőből ammónium-nitrát műtrágya nyerhető,

Fischer - Tropsch szintézis, az



reakció révén, kb. 200 °C hőmérsékleten, Co, Fe katalizátoron különböző szénhidrogéneket eredményez. Jelentősége: a szintézisgáz a nagy készletekkel bíró kőszénből is előállítható, belőle szénhidrogének nyerhetők, ez a kőszén közvetett cseppfolyósítása

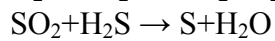
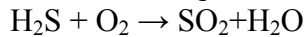
- *korom*

Parciális égetéssel földgázból vagy nagy aromástartalmú maradványokból.

Felhasználása: gumigyártás.

- *kén*

A kőolaj kéntartalmából nyerhető elemi kén, mégpedig a katalitikus hidrogénezéskor keletkező H<sub>2</sub>S-ből parciális égetéssel:



Igen értékes termék.

### 3.5. A kőolaj feldolgozás gazdaságossága

A kőolaj feldolgozására nagy kapacitású üzemek jöttek létre, pl. 3 mt/év átlagosnak tekinthető. A feldolgozás automatizált, számítógéppel vezérelt, így kevés élőmunkát igényel, igen termelékeny.

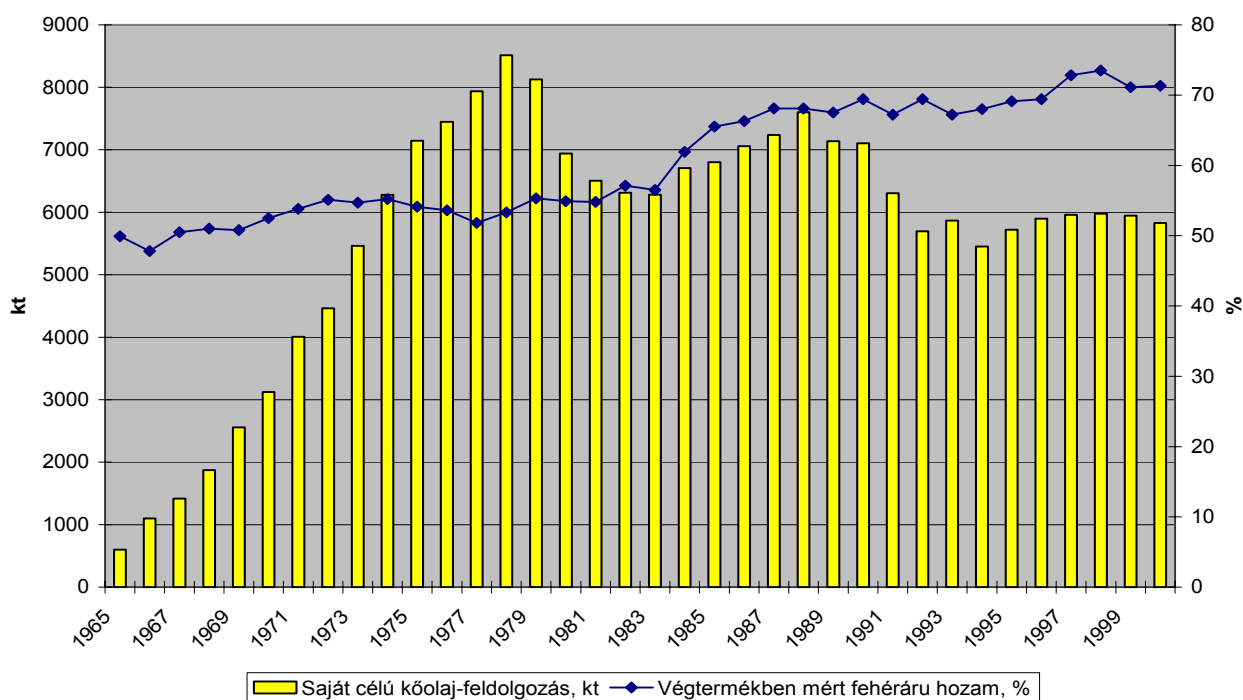
A gazdaságosságot a feldolgozás „mélysége” is befolyásolja, azaz egységnyi kőolajból mennyi motorhajtóanyag, petrokémiai anyag keletkezett. Cél a maradványok feldolgozása, nem eltüzelése. A maradványokban a C/H aránya nagy.

Feldolgozásukra két lehetőség:

- H bevitel, pl. hidrokrakk eljárás, drágább

- C kivonás, pl. viszkozitástörő, koksizáló, ezek termikus vagy katalitikus eljárások, a kivont karbon kokszként távozik, belőle fűtőanyag, vagy pl. elektród nyerhető.

A világviszonylatban is korszerű százhalombattai Dunai Finomító kőolaj feldolgozását és fehér áru hozamát a 14. ábra mutatja be.



14. ábra A Dunai Finomító kőolaj feldolgozása és fehér áru hozama

A korszerű finomítók anyagáramai igen bonyolultak, előny a flexibilitás, a piac igényeire való gyors reagálás lehetősége.

#### 4. A földgáz

A kifejezés jelentése földből nyerhető gáz. A földgáz a kőolajhoz hasonlóan keletkezett, leggyakrabban a kőolajtelepek kísérője. Általában kis szénatomszámú szénhidrogénekből, legnagyobb részben metánból áll. Savanyúnak nevezik, ha H<sub>2</sub>S- és CO<sub>2</sub> tartalmú. (A kénhidrogén korróziót okoz, a szén-dioxid ballaszt tömeg.) Nedvesnek nevezik, ha több, nagyobb forráspontú szénhidrogént tartalmaz, ill. H<sub>2</sub>O tartalmú. A metánnál nagyobb forráspontú szénhidrogénekből LPG (liquefied petroleum gas, azaz propán-bután) nyerhető, a vízből kristályok válhatnak ki.

Néhány földgáz összetételét mutatja be a táblázat:

Lelőhely	Összetevők							
	Metán	Etán	Propán	Bután	Pentán	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
Franciaország (Lacq)	69,3	3	0,9	0,6	0,8	9,3	0,2	15,8
Norvégia, Északi-tenger (Ekofisk)	90,8	6,1	0,7	0,1	-	1,8	0,5	<0,1
Egyesült Áll.-Texas (Panhandle)	73,2	6,1	3,2	1,6	0,6	0,3	14,3	0,6
Szaud-Arábia	73	3,9	1,1	0,8	0,3	10,8	8,5	1,5

Lelőhely	Összetevők							
	Metán	Etán	Propán	Bután	Pentán	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
(Dammam)								
Szovjetunió (távvezetéki)	92	3,6	0,9	0,3	0,2	1,5	1,5	-
Magyarország								
Algyő	88,2	4,6	2,1	1,3	2,3	0,9	0,6	-
Hajdúszoboszló	93,3	2,2	0,8	0,2	0,3	0,4	2,8	-
Mezőhegyes	33,1	4,2	2,3	1,4	1,1	54	3,7	-

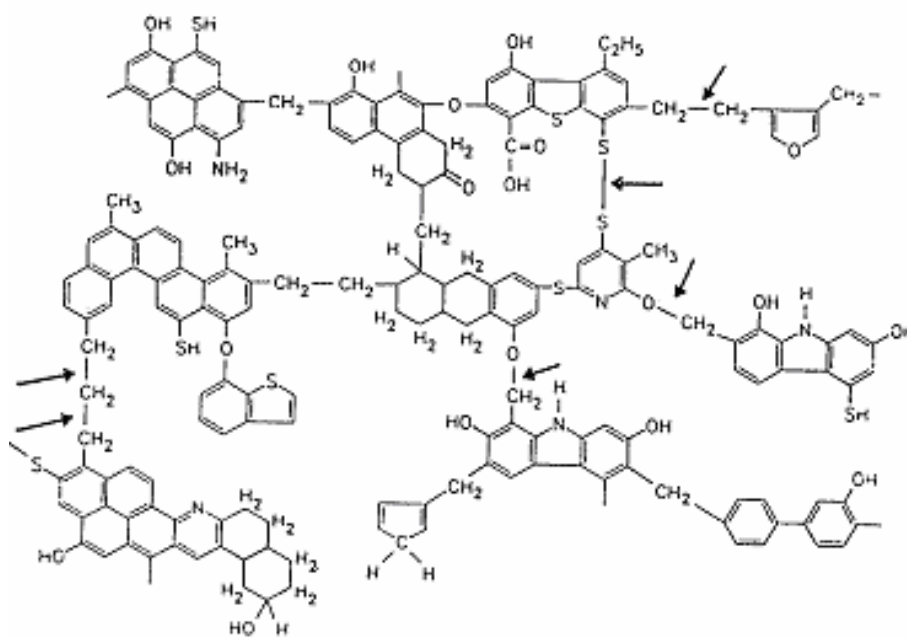
Előkészítése: kb. 400 bar nyomásról expandáltatják 100 bar-ra (kondenzáció), majd tisztítják.  
Szállítás: gázvezetéken, vagy cseppfolyósítva (a gáz térfogatának 1/600-ad része) tankhajóval (forráspont légköri nyomáson: -162 °C!)  
Felhasználása: főként kisebb fogyasztóknál, háztartásokban tüzelésre, ill. szintézisgáz gyártására, ld. a kőszénél

## 5. A kőszén

Korábban nagyobb szerepet játszott fosszilis energiahordozó. Készletei a kőolajhoz és földgázhoz képest sokkal nagyobbak, így felhasználása újra előtérbe kerülhet.

Keletkezése a szénülés folyamatában: lápnövényzet maradványai lesüllyedtek, fedőréteg került rájuk, tőzeg → barnaszén → feketeszen → antracit → grafit.

A szénülés során a karbon-tartalom növekszik, a hidrogén, oxigén és víztartalom csökken. A barnaszén átlagos móltömege kb. 1400, a feketeszené 3000 – 100000 közötti. A kőszén szerkezet egy lehetséges modelljét mutatja be a 15. ábra. Látható, hogy főként többszörösen kondenzált aromás csoportok építik fel. A nyilak a hevítés hatására elszakadó kötések mutatják. A kőszén ásványi alkotói égetéskor hamut adnak.



15. ábra. Kőszén szerkezeti modellje

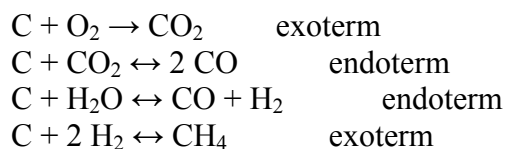
A tüzelőanyagként történő közvetlen felhasználás egyre jobban visszaszorul, mert a szén fűtőértéke a tüzelő és fűtőolajhoz képest kisebb (5000 – 25000 kJ/kg), hamutartalma, víztartalma, kéntartalma jelentős lehet, a bányászata, szállítása drágább, az égetés nehezebben automatizálható, kisebb hatásfokú, az égetés jelentős környezetszennyezéssel jár. A kén-dioxid tartalom eltávolítható ugyan a füstgázból, pl. meszes mosón történő elnyeletéssel, de hatalmas a beruházási költség, nagy mennyiségű gipsz keletkezik. Emellett jelentős a pernye és por kibocsátás, amelynek leválasztása szintén jelentős költséggel jár, valamint a NO<sub>x</sub> kibocsátás.

A kőszén felhasználásának ma sem nélkülözhető módja a szénleparlás, amelynek termékeként a nyersvas gyártáshoz szükséges kohászati kokszt állítható elő (éghető gáz, kátrány és gázvíz mellett). Ekkor a kőszént levegőtől elzárt térben mintegy 1250 °C-ra hevítik.

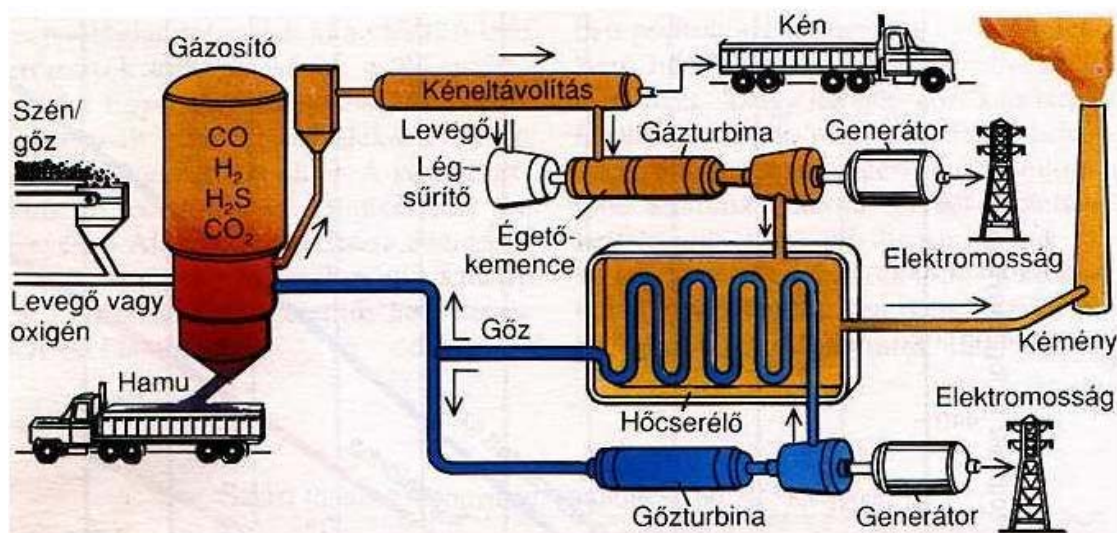
A kőszén feldolgozás másik klasszikus módszere a szénelgázosítás. Ennek célja lehet éghető gáz nyerése, vagy vegyipari szintézisekhez szintézisgáz előállítása.

Az elgázosításkor az izzó állapotú szén reakcióba lép levegővel, vagy oxigénnel és vízgőzzel, az éghető gáz mellett salak keletkezik.

A fontosabb reakciók:



Korábban az elgázosítás fő célja éghető gáz nyerése volt, ma csak néhány országban, szinte kizárólag szintézisgáz előállítására használják. A szintézisgáz ma ugyanis olcsóbban nyerhető földgázból. Az elgázosítás azonban a szén eltüzelését megelőzheti, s az így nyert gázalmazott tüzelőanyagból a kén-dioxid könnyen eltávolítható. Ilyen korszerű, kombinált szénerőművet mutat be a 16. ábra.



16. ábra. Egyesített szénelgázosításos kombinált ciklus

A kőszén cseppfolyósításának célja motorhajtó anyagok, szénhidrogének előállítása. A H/C atomarány és az átlagos molekula tömeg a benzinben, kőolajban és kőszénben a következő:

	H/C atomarány	átlagos móltömeg
benzin	2,0	100
kőolaj	1,6	300
kőszén	0,5	10000

A kőszén cseppfolyósításához tehát a molekulákat tördelni, és hidrogén tartalmukat növelni kell.

A megvalósítás módjai:

- *direkt cseppfolyósítás*

A kőszén megőrlik, olajjal sűrű péppé alakítják, majd kb. 500 °C-on, 300 – 700 bar hidrogén nyomáson katalizátor jelenlétében kezelik. Mintegy 100 tömegrész szénből és 2-6 tömegrész hidrogénből 70 tömegrész (benzin és gázolaj forráspontú) folyadék és gáz nyerhető. Az eljárás a számos technikai nehézség ellenére már a két világháború között megvalósult, de ma sehol sem csinálják, drága. A termék benzin rossz oktánszámú, de jobb, mint az indirekt cseppfolyósításnál. A technológiai nehézségeket a termék kiválasztás, a nagy nyomás, a szénpor koptató hatása és a H<sub>2</sub> reakciója az acél C tartalmával okozza.

- *indirekt cseppfolyósítás*

A szenet először elgázosítják, majd a szintézisgázból Fischer-Tropsch szintézissel (ld. korábban) szénhidrogéneket nyernek. Ma Dél-Afrikában működik ilyen üzem, létesítésének oka a korábbi apartheid politika miatti kőolaj embargó volt.

A szintézisgázból *metanol is előállítható* a  $2 \text{H}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{-OH}$  reakció szerint.

## 6. Alternatív energiahordozók

Vizsgálatuk oka: a kőolaj (és földgáz) készletek 50 (100) évre elegendőek, a fosszilis energiahordozók elégetése környezetszennyezéssel jár (savas eső, üvegházhatás), az atomenergia hosszú távú kockázattal jár. A jövőben megújuló, tiszta energiahordozókra lesz szükség, különösen azt figyelembe véve, hogy ma a világ összes energiafogyasztásának 80 %-át a fejlett országok használják fel ahol a Föld népességének 20 %-a él.

### 6.1. Napenergia

A földre eső napsugárzás teljesítménye 176 mrd MW, óriási. A napos órák száma Magyarországon kb. 2000 óra/év, a Szaharában kb. 4000 óra/év. Az évi átlagos beeső sugárzási energia Magyarországon 4400-4800 MJ/m<sup>2</sup>\*év.

A napenergia közvetlenül hasznosítható a fotovillamos cellában, a napkollektorban, a nap-hőerőműben és egyéb módokon (mezőgazdaságban termény-szárítás, szoláris építészet stb.) is. A napenergia közvetett hasznosításaként említhetjük a szél energiát, a víz energiát és a biomasszát.

A *fotovillamos cella* környezetvédelmi szempontból a legtisztább energiatermelési mód. Azt használja ki, hogy egy félvezető diódában a foton hatására töltés szétválasztás, elektron – lyuk pár jön létre. Az elektron az n félvezető, a lyuk a p félvezető felé vándorol. A keletkező egyenáram inverterrel hálózatra is kapcsolható, azonban a változó teljesítmény miatt

(hagyományos, vagy új típusú, pl. víztározó a magasban, H<sub>2</sub>) akkumulátorra van szükség. Általában csak kis teljesítménnyel, helyi igények kielégítésére alkalmazzák, helyigénye nagy. A jelenlegi ár még nem versenyképes a fosszilis energiahordozókkal, de egyre csökken, a hatásfok egyre javul. A világban már néhány MW-nyi erőmű teljesítmény üzemel. A világ (2006-ban) legnagyobb erőműve Lipcsében üzemel.

A beépített teljesítmény:	5 MWp
a hatásfok:	79,5 %
ár:	45,7 Cent/kWh
beruházás:	22.000.000 € (5,5 mrd Ft)

A *Nap-hőerőmű*ben az egyik megoldás szerint optikai tükrökkel gyűjtve a napsugarakat energiaáram-sűrűség növelést hajtanak végre, ezzel egy toronyban vízgőzt termelnek, amelyet hagyományos turbina-generátor rendszerre vezetnek. Az Egyesült Államokban már működik ilyen erőmű 10 MW teljesítménnyel. Egy másik megoldásban a napsugarakat parabola vályús kollektorban gyűjtik, a vályú fókuszvonalában csőben haladó olaj melegszik. Californiában 9 db 13–80 MW teljesítményű ilyen erőmű üzemel, 14 % átlagos hatásfokkal. Az erőmű helyigénye jelentős, a legnagyobb 464.000 m<sup>2</sup>-t foglal el.

A *napkollektorokat* főként a háztartások melegvíz szükségletének ellátására használják, alacsony hőmérsékletű folyadék hőcserélőben melegíti a használati melegvizet. Kiegészítő fűtésként alkalmazható, intelligens automatikát igényel. A beruházási költség egy átlagos lakóházra 500000 Ft, a megtérülési idő 8-10 év.

A napenergia hasznosítással kapcsolatban megállapítható, hogy környezetvédelmi szempontból a legjobb energiatermelési mód lehet, de egyelőre az ár nem versenyképes a fosszilis energiahordozókkal, illetve megfelelő akkumulátor szükséges.

## 6.2. Szélenergia

A szél oka, hogy a napsugarak különböző felületi felmelegedést okoznak. A hasznosítás során nyerhető energia elsősorban a szélesség függvénye. A változó intenzitás és szélirány miatt mozgatható tengelyű, állítható lapátos szélkerekek szükségesek. A váltakozó teljesítmény miatt szintén akkumulátor szükséges. 6m/s szélerősség (250 W/m<sup>2</sup>) alatt csak házi energia ellátásra alkalmas, a megtérülés mintegy 8 év. 10 m/s-nál 1200 W/m<sup>2</sup>, a megtérülés 2-3 év. Magyarországon már több erőmű üzemel, pl. az első erőmű Inota mellett létesült, egy 30 m magas oszlopon 3 db 15 m hosszú turbinalapát forog, maximális teljesítménye 250 kW. Kulcson 1 db, Mosonszolnokon, Mosonmagyaróváron 2-2 db 600 kW-os szélkerék üzemel. A szélenergia hasznosítás előnye, hogy az építés csak 2 hónapot vesz igénybe, viszont a beruházási költség jelentős, 100 MFt körüli. Magyarországon a villamosenergia-törvény alapján rögzített áron (23 Ft/kWh) kell az áramszolgáltatóknak a megtermelt villamos energiát átvenni.

A szélenergiáról környezetvédelmi szempontból hasonló megállapítások tehetők, mint a napenergia esetén, újabban ellenzői a táj elcsúfításával is vádolják a szélerőműveket.

## 6.3. Vízenergia

A vízenergia hasznosításának alapja a napenergia miatti vízkörforgás. Ha az eső a tengerszintnél magasabba hullik, a helyzeti energia elvileg hasznosítható. A hasznosítás szintkülönbsége alapján 3 típust (nagy, közepes és kis esésű) különböztetnek meg. A

legnagyobb, 2030 m-es esésű erőmű Olaszországban üzemel, a legnagyobb, 10000 m<sup>3</sup>/s-os vízhozamú Oroszországban. Magyarországon több törpeerőmű mellett a két legjelentősebb a tiszalöki ( $\Delta H=7,5$  m, 12 MW), és a kiskörei ( $\Delta H=6,3$  m, 21 MW).

Kis vízesésű folyóknál a vízenergia hasznosítás nem célszerű, a vízszint duzzasztás előtti emelése, duzzasztás utáni csökkentése hosszú szakaszon vízháztartás módosulást okoz. Ez ökológiailag kiszámíthatatlan következményekkel járhat. A beruházási költség egyébként is hatalmas, csak folyószabályozással, öntözőművel együtt lehet rentábilis. A vízerőművek általában alaperőműként üzemelnek, csúcsra járatásuk esetén az állandóan változó vízszint szintén számos ökológiai problémát felvet.

## 6.4. Biomassza

Becslések szerint a Földön évente 165 mrd t biomassza keletkezik. A legjobb hatásfokkal az őserdőben hasznosul a napenergia, itt 30 t/ha\*év, de pl. egy gabonátlán 6,5 t/ha\*év a biomassza termelés.

A hasznosítás módjai lehetnek: a közvetlen eltüzelés, a pirolízis, elgázosítás, a sajtolás, az alkoholos erjesztés, és a metános erjesztés (biogáz termelés).

A *közvetlen tüzelés*nél problémát jelent a magas oxigén-tartalom, a kis fűtőérték, a kis sűrűség, a hamu alacsony olvadáspontja, a változó összetétel. Emiatt kis tüztérhőmérsékletet lehet elérni, a hatásfok alacsony. A biomassza tüzelés speciális kazánokat igényel.

A *pirolízis*, az *elgázosítás* a kőszeneknél alkalmazott módszerekkel analóg eljárás. A lényege az oxigén jelenlétében, illetve annak kizárásával végzett hevítés. Célja éghető gáz, illetve nemesebb tüzelőanyag nyerése.

Bizonyos növényi magvak *sajtolás*ával brikett, pellet, olaj nyerhető. Az olaj napraforgóból, repceből nyerhető a legjobb hatásfokkal, hektáronként mintegy 700 kg. A felhasználás történhet közvetlen, vagy átalakítás (repceolaj-metil-észter ld. később) utáni elégetésükkel.

Az *alkoholos erjesztés* ősidők óta ismert eljárás. Az így nyert etilalkohol desztillációval kinyerhető, közvetlenül, vagy motorbenzinbe keverve motorhajtóanyagként felhasználható.

A *metános erjesztéssel* kb 50 – 50 %-ban metánt és szén-dioxidot tartalmazó *biogáz* nyerhető. Fűtőértéke kb. 22500 kJ/m<sup>3</sup>, a földgáz fűtőértékének 2/3-a, de a szén-dioxid kémiaiilag eltávolítható, a fűtőérték növelhető. Elsősorban melléktermékekből, pl. hígtrágya érdemes előállítani, de személtlerakókban anaerob baktériumos erjedéssel is keletkezik. A hígtrágyából keletkező folyadék műtrágyát helyettesítő öntözővíz is lehet.

A biomasszából nyert tüzelőanyagok tüzeléstechnikai szempontból nem kedvezőek. Elsősorban melléktermékek hasznosítása jöhet szóba, a kultúrnövényeké az élelmezési problémák miatt nem.

## 6.5. Geotermális energia

A föld mélyéből nyerhető geotermális energia forrása 70 %-ban a radioaktív bomlás során keletkező hőből, 30 %-ban a Föld természetes hőkapacitásából származik. A Föld belseje felé haladva a hőmérséklet átlagosan 30 °C-kal emelkedik km-enként, de ez a gradiens akár 100 °C/km is lehet. Általában melegvizet termelnek ki, de ritkábban gőz is nyerhető. A hasznosítás után a vizet nagyobb távolságra kell visszavezetni, hogy a forrást ne hűtse. A geotermális energia hasznosítása környezetvédelmi szempontból kedvező, de energetikailag a kis hőmérsékletkülönbség, kémiaiilag a gyakran magas sótartalom miatti korrózió, vízkőképződés kedvezőtlen. Emiatt csak helyi energiaforrásként hasznosítható.



## 6.6. Alternatív motorhajtó anyagok

A szóba jövő lehetőségekről ld. a 17. ábrát.

### 6.6.1. Kőszén

A készletek ugyan jelentősek, de belőle az ismertetett módokon nagyobb környezetszennyezéssel, drágábban állíthatók elő motorhajtó anyagok, mint a kőolajból.

### 6.6.2. Metanol

A metanol oktánszáma kiváló, nagyobb kompresszió viszony mellett, nagyobb hatásfokkal égethető el Otto motorban, mint a motorbenzin. Mivel nincs benne C-C kötés, a kipufogógázokban kevesebb mérgező anyag (de több aldehid) keletkezik. A benzines elosztóhálózat alkalmas lehet a metanolra is. Hátrányai, hogy fűtőértéke a motorbenzinének fele (a tömegének fele oxigén!), emiatt csaknem kétszeres a volumetrikus fogyasztás, rossz a hidegindítás (a forráspontja 65 °C), korróziós problémákat okoz, vízzel korlátlanul elegyedő, mérgező folyadék, előállítása szintézisgázból drága, jelenleg kis kapacitások állnak rendelkezésre. Benzinhez keverőkomponensként kisebb mennyiségben kiválóan alkalmas lehet.

### 6.6.3. Etanol

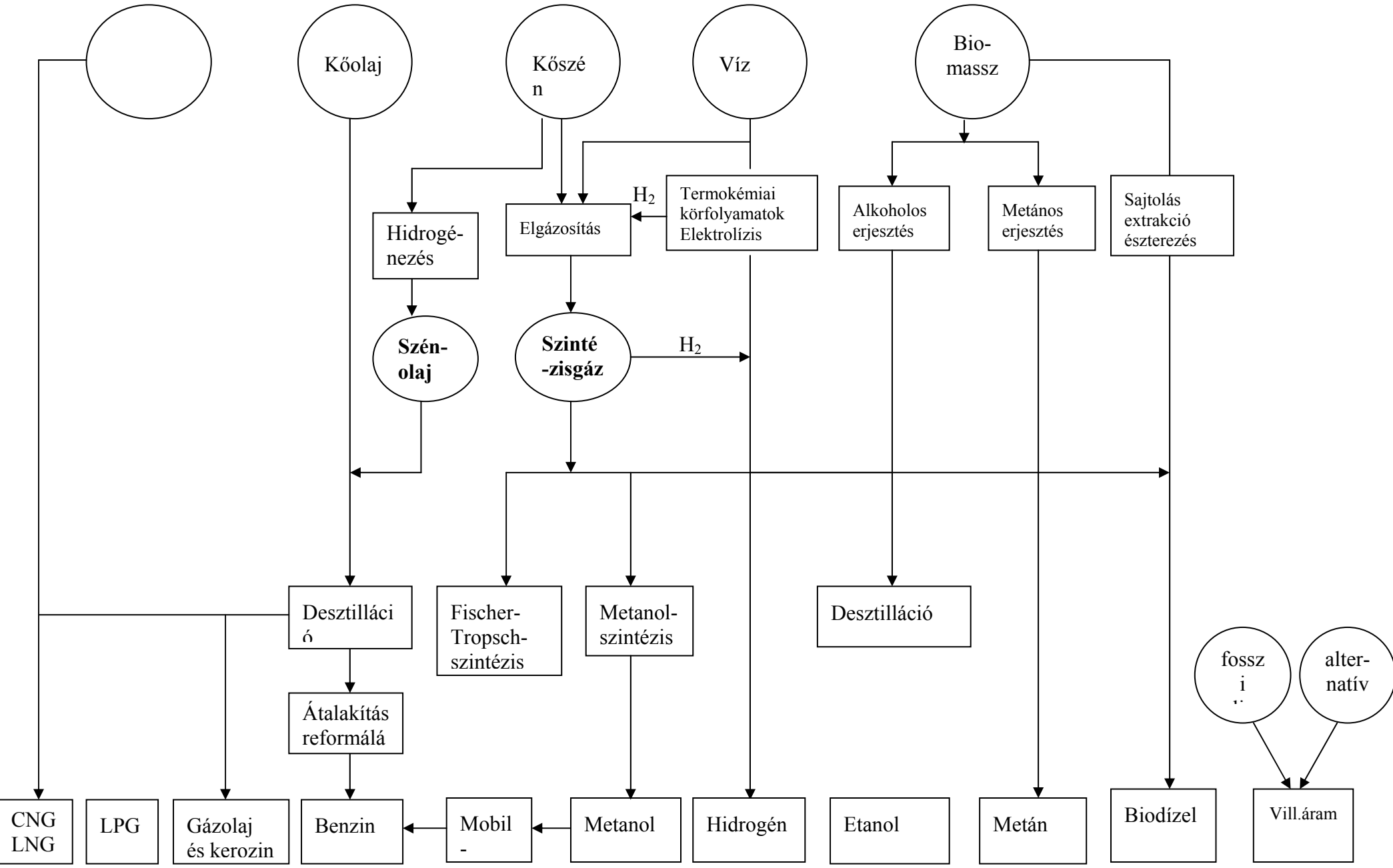
Az etanol oktánszáma szintén kiváló, nagyobb termikus hatásfok érhető el is, mint motorbenzinnel. Fűtőértéke a motorbenzinnek mintegy 2/3-a, (oxigéntartalma 35 %), így 1 dm<sup>3</sup> benzin kb. 1,25 dm<sup>3</sup> etanollal egyenértékű. Az égése szintén tisztább, mint a benziné, de a forráspontja (78,5 °C) miatt itt is hidegindítási problémák léphetnek fel. Vízzel szintén korlátlanul elegyedik, de nem toxikus, így keverőkomponensnek a metanolhoz hasonlóan kiváló. Előállítása történhet biológiai úton. A *bioetanol*hoz azonban jelentős termőföldigényt kell kielégíteni, valamennyi gépkocsi bioetanolal történő hajtásához a jelenlegi összes termőföld kétszerese lenne szükséges, valamint nagy energiaigényű a desztilláció. Feltétlenül előnyös azonban, hogy a teljes ciklusban a szén-dioxid kibocsátás akár nulla is lehet, azaz a fotoszintézissel megkötött szén-dioxidot juttatjuk vissza a légkörbe a kipufogógázokkal. A vegyipari előállítási mód etilén hidratálásával történik, de az etilént jelenleg kőolajból nyerik, így az etilén előállítás kérdéses a kőolajkészletek kimerülése után.

### 6.6.4. Szénhidrogén gázok

Az 1-4 szénatomot tartalmazó szénhidrogén gázok (metán, etán, propán, bután) fűtőértéke és oktánszáma is kiváló:

	F (MJ/kg)	RON	MON
metán	50	133	130
etán	48	115	103
propán	47	110	100
n-bután	46	93	92
i-bután	46	100	98

Nagyobb hidrogén tartalmuk miatt elégetésükkor kevesebb szén-dioxidot bocsátanak ki, mint a motorbenzin. Az Otto motor átalakítható, az égés tisztább, de nagyobb a volumetrikus fogyasztás, hármashatású katalizátor használható, az adókedvezmény miatt jelenleg olcsóbb az üzemeltetés, mint a motorbenzinnel.



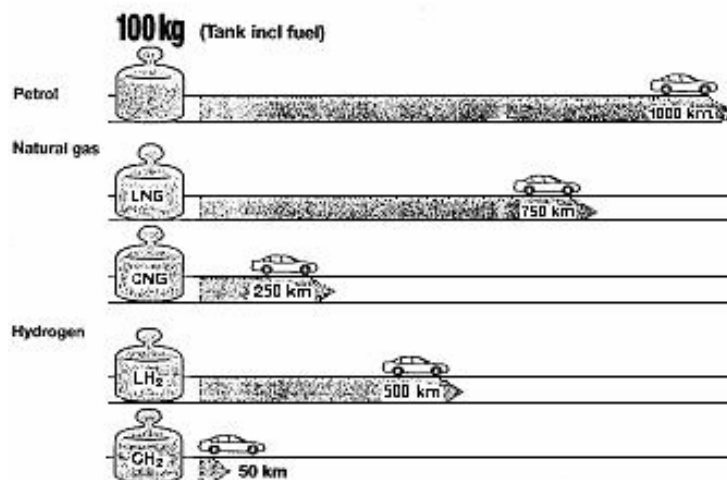
A megvalósítás történhet sűrített földgázzal (CNG), cseppfolyós földgázzal (LNG), vagy propán-butánnal (LPG). A sűrített földgáz 140-200 bar nyomású, nehéz tartályt igényel, nagy a balesetveszély és a ballaszt-tömeg. A földgáz cseppfolyósításához atmoszférikus nyomáson mínusz 160 °C szükséges, a hűtés nagy energiaigényt jelent. A propán-bután tűnik perspektívikus megoldásnak, mert könnyen cseppfolyósítható, a megtehető úthossz kevésbé korlátoz. A propán-bután földgázból és kőolajból nyerhető, a készletek nem végtelenek, de még számottevőek. A gázüzemű autók elterjedéséhez új infrastruktúrát kell kiépíteni. (Magyarországon több száz kút, és mintegy százezer gázüzemű gépkocsi van már.) A „gázautó” néhány évtizedre átmeneti megoldás lehet.

### 6.6.5. Hidrogén

A hidrogén fűtőértéke tömegegységre vetítve a legnagyobb, 120 MJ/kg, de egységnyi térfogatra a metán fűtőértékének csak 1/3-a. A hidrogén nagy koncentráció-tartományban (4-76 tf%) ad robbanóképes elegyet a levegővel, a gyújtási energia igen kicsi, az égési sebessége, diffúzió sebessége nagy, emiatt a hidrogénes hajtáshoz szigorú biztonsági intézkedések szükségesek. Az égés tiszta, a desztillált víz mellett csak NO<sub>x</sub> keletkezik.

A hidrogén tárolása történhet egyrészt *fém-hidridekkel*. A  $H_2 + Me \leftrightarrow Me\text{-hidrid} + \text{hő}$  megfordítható reakció játszódik le. Balról jobbra a feltöltés, visszafelé a használat iránya. A kis hőmérsékletű hidridek már 100 °C alatt kb. 1 atm nyomású hidrogént termelnek, a teljesítménysűrűségük 650 Wh/kg. A nagy hőmérsékletű hidridek csak 100 °C fölött adnak 1 atm. nyomású hajtógázt, de teljesítménysűrűségük nagyobb, 2500 Wh/kg. A hidridek nagy ballaszt tömeget jelentenek. A másik tárolási lehetőség a *sűrített és a cseppfolyósított hidrogén*. Ezekre a tárolási módokra ugyanazok a megállapítások érvényesek, mint a szénhidrogén gázokra említettek. A hidrogén cseppfolyósításához légköri nyomáson –250 °C szükséges! Az alacsony hőmérséklet biztosítása csak drágán oldható meg.

A hidrogén tüzelőanyag cellában is elégethető (ld. később), a termelt áram villamos motor hajtására használható. A teljes folyamat környezetszennyezése a hidrogén előállításától függ. Ha fosszilis energiahordozóból elgázosítással nyerjük, nagyobb a szennyezés. Ha fosszilis energiahordozóból nyert villamos árammal vizet elektrolizálunk, ugyancsak nagyobb a szennyezés. Ha a villamos áramot az elektrolízishez alternatív energiahordozóból nyerjük, a szennyezés elhanyagolható, de ez a megoldás ma még drága. Az egyes megoldások hatótávolságát mutatja be a 18. ábra.



18. ábra. Hatótávolságok összehasonlítása

A hidrogén a jövőben energiatárolóként is szóba jöhet, a felesleges villamos energia felhasználásával vizet elektrolizálva állítható elő.

#### 6.6.6. Elektromos autó

Az elektromos autó önmagában nem környezetszennyező. A kérdés inkább az, hogyan állítjuk elő a villamos áramot, és azt hogyan tároljuk az elektromos autóban. Ha fosszilis erőművekben állítjuk elő a villamos áramot, akkor a teljes folyamat környezetszennyezése nagyobb, mint pl. egy benzinüzemű, katalizátoros gépkocsié. Ha alternatív forrásból (pl. fotovillamos elemből) származik a villamos energia, akkor a teljes folyamat alig szennyezi a környezetet, viszont ez a megoldás ma még drága. Az akkumulátoros tárolásnál a jelenlegi akkumulátorokkal kicsi energia- és teljesítménysűrűség érhető el, az akku nehéz, hosszú ideig tartó, gyakori feltöltés szükséges, a hatótávolság kicsi. De a villamos motor csendes, állás közben nem fogyaszt, a fékezési energia visszanyerhető. A másik, perspektivikus megoldás lehet a **tüzelőanyag cellában** történő közel 80 %-os hatásfokú áramtermelés, és az ugyanilyen hatékonyságú elektromotor kombinációja. (A tüzelőanyag cella A tüzelőanyag cella további előnye, hogy benne bármilyen éghető anyag (pl. hidrogén, metanol) hasznosítható. A hidrogénnél ismertetett tárolási problémák a folyékony tüzelőanyagoknál nem jelentkeznek, de pl. a metanol előállítás problematikája fennmarad. Ennek ellenére a járműgépész szakértők szerint is a jövő gépjárműveinek korszerű hajtása a tüzelőanyag cella és az elektromotor együttese lesz.

#### 6.6.7. Biodízel

A biodízel a biomassza hasznosításának egyik fajtája. A növényi olajokat elsősorban emberi tápanyagként és ipari nyersanyagként hasznosítják, de tulajdonságaik alapján kőolajtermékek kiegészítésére és helyettesítésére is alkalmasak lehetnek. A különböző növényekből a 8.4. fejezetben említett sajtolással, majd extrakcióval nyerhető olajok tulajdonságai a kőolajtermékek közül a gázolajhoz állnak a legközelebb. Motorhajtóanyagként történő felhasználásukkal 100 évvel ezelőtt már Rudolf Diesel is foglalkozott, de kémiai átalakítás nélkül az olaj nem volt felhasználható belsőégésű motorban, mert sűrűségük nagyobb, fűtőértékük kisebb, viszkozitásuk kb. tízszeres, kokszképzési hajlamuk nagyobb, mint a gázolajé, viszont cetánszámuk nagyobb, biológiailag lebonthatók, kéntartalmuk elenyésző. Gond a termőföldigény, és az ár. Csak helyi, egyéb szempontokból (munkalehetőség az adott területen, a mezőgazdaság saját szükségletének megtermelése) indokolt megoldás lehet. A teljes ciklus (mint minden biomassza hasznosítás) az üvegházhatást nem, vagy alig növeli.

A motorban történő felhasználhatóságuk érdekében szükséges átalakításuk is évtizedek óta ismert. Ha a növényi olajokat alkotó zsírsav-glicerín észtereket metil- vagy etilészterre alakítjuk, a tulajdonságok jelentősen javulnak. Így nyerhető pl. a repceolaj-metil-észter (RME), amely a magyar időjárási viszonyok között biodízelnként történő hasznosításra a legalkalmasabb motorhajtóanyag. Az ilyen típusú hajtóanyagokkal évtizedek óta több országban folytak kísérletek, de ezek eredményei gyakran különböznek, az ezzel kapcsolatos irodalomból ellentétes következtetések vonhatók le. Az utóbbi időben — főként német és osztrák példák alapján — Magyarországon is tízéves terv született a biodízel gyártás és felhasználás elterjesztésére, de a gyártás még nem indult meg.

#### 6.6.8. Hibrid megoldások

A jövőben tág teret nyerhetnek az ún. hibrid megoldások is. Az ilyen autókban benzin- vagy dízelmotor és villanymotor együttesen működik. Emellett generátor, akkumulátor és intelligens szabályozó rendszer is szükséges. Az egyik legkorszerűbb megoldásban, a ma már kereskedelmi forgalomba is került Toyota Priusnál biztosítják, hogy a benzinmotor minden üzemállapotban az optimuma közelében tudjon működni. Nagy terhelésnél a villanymotor az akku felhasználásával besegít a benzinmotornak, kisebb terheléskor a benzinmotor teljesítményfeleslegével, illetve

fékezéskor a mozgási energiából a generátor áramot termel és tölti az akkumulátort. A kombináció eredményeként jelentősen csökken a légszennyezés és a fogyasztás is, akár 4 l / 100 km is elérhető.