

IPARBIZTONSÁG FIZIKAI ÉS KÉMIAI ALAPJAI

Dobor József

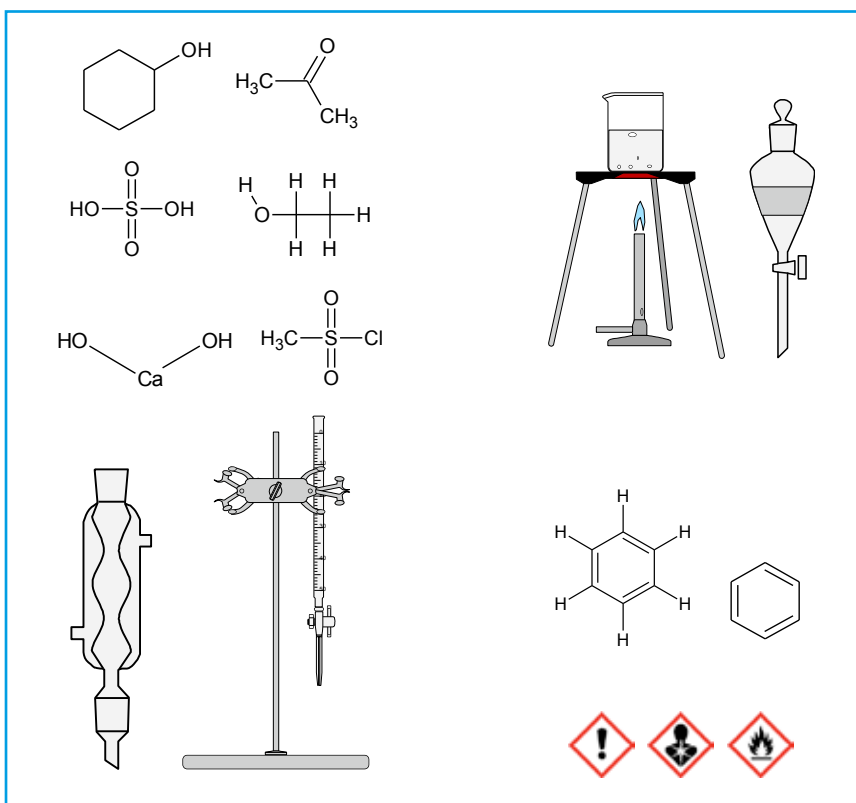


ÁROP – 2.2.21 Tudásalapú közszolgálati előmenetel



IPARBIZTONSÁG FIZIKAI ÉS KÉMIAI ALAPJAI

Dobor József



Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Budapest, 2014

Nemzeti Közsolgálati Egyetem

Szerző:

© Dobor József

Kiadja:

© Nemzeti Közsolgálati Egyetem, 2014

Minden jog fenntartva. Bármilyen másoláshoz, sokszorosításhoz, illetve más adatfeldolgozó rendszerben való tároláshoz és rögzítéshez a kiadó előzetes írásbeli hozzájárulása szükséges.

Olvasószerkesztés, tördelés:

Nemzeti Közsolgálati és Tankönyv Kiadó Zrt.

ISBN 978-615-5491-06-1

Tartalom

1. Bevezetés	9
1.1 A kémia és a vegyészet fontossága [1]	9
1.2 Az emberiség anyagi környezete [2].....	11
2. Alapvető fizikai és kémiai fogalmak összefoglalása [3, 4, 5, 6, 7]	13
2.1 Az anyag és megjelenési formái.....	13
2.2 Molekulák, az atomok kombinációi	15
2.2.1 Ionok és ionos vegyületek.....	16
2.3 A kémiai kötés	17
2.3.1 Kovalens (homopoláris) kötés	17
2.3.2 Ionos (heteropoláris) kötés.....	18
2.3.3 Fémes kötés	18
2.3.4 Másodlagos kötések	19
3. Anyagi halmazok [3, 4, 5, 6, 7]	21
3.1 Gázok	21
3.1.1 A gázok nyomása	21
3.1.2 Gáztörvények	22
3.1.3 Gázok diffúziója	28
3.1.4 Eltérések az ideális viselkedéstől, reális gázok.....	29
3.2 Folyadékok	31
3.2.1 Az intermolekuláris erők rövid ismertetése.....	31
3.2.2 A folyadék-halmazállapot jellemzése	41
3.3 A szilárd halmazállapot.....	41
3.3.1 Ionos kristályok	42
3.3.2. Kovalens kristályok.....	43
3.3.3 Molekulakristályok	43
3.3.4 Fémes kristályok.....	44
3.3.5 Amorf anyagok.....	44
3.3.6 Az oldódási folyamat molekuláris szinten.....	45
4. Kémiai reakciók [3, 4, 5, 6, 7].....	55
4.1 A kémiai reakciók tömegviszonyai.....	55
4.2 Savak és bázisok	56
5. A periódusos rendszer [3, 4, 5, 6, 7]	61
5.1 Az elemek csoportosítása a periódusos rendszeren belül.....	61
5.2 A fizikai tulajdonságok periodikus váltakozása.....	62
5.3.1 Az effektív magtöltés.....	62
5.3.2 Az atomsugár.....	63

5.3.3 Az ionsugár.....	63
5.3.4 Ionizációs energia	64
5.3.5 Elektronaffinitás	65
5.3.6 Elektronegativitás	66
6. Az égés mint fizikai és kémiai folyamat [8, 9, 10]	67
6.1 A hőtani alapfogalmak	68
6.2 Az égés feltételei.....	69
6.2 Égéstermékek.....	69
6.3 A láng szerkezete, fénye és hőmérséklete; az égés és a tűz kapcsolata	70
6.4 Szilárd anyagok, porok, folyadékok, gázok égése	72
6.5 Öngyulladó és piroforos elemek és vegyületek	78
6.5.1 A fémek és ötvözeteik	78
6.5.2 Öngyulladásra hajlamos egyéb anyagok	78
6.6 Robbanóanyagok	81
6.6. 1 A robbanás.....	81
6.6.2 A biztonságos munkakörülmények kialakítása	86
7. Alkalmazott kémia.....	89
7.1 Metanol előállítás [15].....	89
7.2 Növényvédőszer [15]	90
7.3 Műtrágyák [16].....	91
7.3.1 Ammóniumvegyületek.....	91
7.3.2 Nitrátvegyületek	92
7.3.3 Amid-nitrogént tartalmazó vegyületek (karbamid és származékai).....	91
7.4 Timföldgyártás és hulladéka, a vörösiszap [17–20]	93
7.5 Kénsavgyártás [19, 21]	100
7.6 A salétromsav gyártása [19, 22]	101
7.7 Ammóniagyártás [19, 23].....	103
7.8 A kőolaj feldolgozása az iparban [24, 25, 26, 27]	104
7.9 A vegyiparban alkalmazott hulladék-csökkentési stratégiák [20, 28, 29, 30]	105
7.9.1 Hulladékcökkentés meglévő vegyipari üzemek, gyárak esetében.....	106
7.9.2 Zöld vegyipar és a fenntartható fejlődés	106
8. Mérgező anyagok [31, 32, 33, 34, 35, 36]	109
8.1 A leggyakoribb mérgező anyagok és jellemzésük.....	109
8.2 Alifás és monoaromás szénhidrogének és halogénezett származékaik.....	115
8.2.1 Illékony monoaromás szénhidrogének (BTEX).....	115
8.2.2 Poliaromás szénhidrogének (PAH).....	117
8.2.3 Dioxinok.....	117
8.2.4 Peszticidek.....	119
8.3 Levegő-szennyezési alapfogalmak	119
8.3.1 Gyakori légszennyező anyagok.....	122

8.4 Szennyezők terjedése (összefoglalás).....	127
8.5 Környezeti elemek szennyezésével kapcsolatos kémiai alapismeretek.....	129
9. A garéi hulladéklerakó körüli problémák rövid ismertetése [20].....	133
10. Bevezetés a szerves kémiába [37].....	137
10.1 A szénatom periódusos rendszerben elfoglalt különleges helyzete.....	139
Felhasznált irodalom.....	141

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben számos ipari baleset történt Magyarországon és a szomszédos, illetve a távolabbi országokban is, amelyek egy része veszélyes anyaggal kapcsolatos tevékenység közben következett be.

Életvitelünk jelenlegi színvonalon való fenntartásához elengedhetetlen a nagy mennyiségű veszélyes vegyi anyaggal történő folyamatos kapcsolat, előállítás és szállítása az előállítási helyről a felhasználási pontra. A vegyi anyagok életciklusa olyan szoros kapcsolatban van mindennapjainkkal, hogy gyakorlatilag bátran kijelenthető: minden ember minden nap végez valamilyen tevékenységet vegyi anyaggal. A vegyszerek egy része pedig veszélyes vegyület.

Fertőtlenítőszer használata, gázüzemű berendezésekkel történő fűtés vagy főzés, üzemanyag tankolása gépjárműbe, zárt garázsban járatott motor, rosszul működő tüzelőberendezés, szakszerűtlenül beszerelt és üzemeltetett szellőztető-berendezés, permetezés egy konyhakertben – íme néhány példa, amely előfordulhat hétköznapjainkban a háztartásban. Az előzőekben felsorolt tevékenységek több ezerszeres, százezerszeres léptékekben zajlanak az iparban, természetesen rengeteg különböző vegyszert felhasználva.

A statisztikai adatok alapján megállapítható, hogy a káresemények nagy részéért az ember a felelős. Többek között az üzemi szabályok be nem tartása, figyelmetlenség, szakmai hiányosságok vezethetnek olyan balesetek kialakulásához, amelyek komoly következményekkel járhatnak.

A katasztrófavédelem szak mindhárom szakirányán tanuló hallgatók számára rendkívüli fontosságú, hogy a fizika és a kémia alapjait, továbbá alkalmazásait megfelelő mértékben elsajátítsák. A hallgatók tanulmányaik során mind elméleti, mind pedig gyakorlati oktatásokon keresztül kapcsolatba kerülnek a természettudományok iparral összefüggő területével. A cél, hogy a diploma megszerzését követően olyan szakmai szemmel tekintsenek majd a veszélyes anyagokkal kapcsolatos esetekre, hogy magas színvonalú döntések meghozatalára legyenek képesek. Egy katasztrófavédelmi szakember számára – a jogszabályokon túl – a természettudományok ismerete és célszerű, tudatos használata elengedhetetlen a döntéshozatalnál. A jegyzet témájának kidolgozásához a kémia, a vegyészet, a környezetvédelem és néhány interdiszciplináris tankönyv, szakkönyv, jegyzet és oktatási segédlet került felhasználásra, magasan képzett egyetemi oktatók műveiből. A felhasznált irodalom a jegyzet végén került felsorolásra.

1.1 A kémia és a vegyészet fontossága [1]

A kémia az anyagi világ tulajdonságainak megismerését célul kitűző természettudomány egyik ága, megközelítőleg 400 éves. Mint emberi tevékenység viszont sokkal régebbinek tekinthető. A kémia szó az ókori hellenisztikus Egyiptomban született, és magát az országot jelenti. A fáraók nyelvén Egyiptomot Keminek nevezték. Az arany előállítására való törekvés itt jelent meg először.

A 18. század a „gázkémia” kora. A vizsgálódások főszereplői a gázok. E korszak vívmánya, hogy felfedezték az oxigént, a nitrogént és a hidrogént. További eredmény, hogy az akkori tudósok ráébredtek: a víz és a levegő nem homogén, egynemű anyag, hanem összetett.

E korban olyan tudósok tevékenykedtek, akiknek neve mind a mai napig fennmaradt, például Boyle, Priestley, Cavendish, Lavoisier, Richter. A 18. század végén bevezették a kémiai nevezéktant, majd a 19. század elején pontosították az elem, a vegyület, az atom és a molekula fogalmát.

A múlt század végén egyre bizonyosabbá vált, hogy az atomok nem a végső összetevők, nem oszthatatlanok, sőt még kisebb alkotórészekből: protonokból, neutronokból és elektronokból állnak, amelyek elhelyezkedésétől függ, hogy milyen kémiai elemet hoznak létre.

A kémia a természettudomány egyik fontos ága. A kémia a természetes anyagokból új anyagokat kialakulásával/kialakításával foglalkozik, amelyek a természetben nem (vagy csak ritkán) fordulnak elő. Az új anyagok a laboratóriumi kísérletekben való létrehozás után, a nagyipar segítségével kerülnek tömegesen gyártásra. Nélkülük a társadalom ma már létezni sem tudna.

A vegyipar a világ legfontosabb iparágai közé tartozik. Termékei nélkül jelenlegi életvite-lünk elképzelhetetlen. A társadalomnak szüksége van rá! A fogyasztói társadalom folyamatos igényeit a termelés állandó csúcsra járatásával lehet kielégíteni. Ez pedig jelentős terhet ró a környezetre. Ennek mértékére alkalmazható az ökológiai lábnyom mint fogalom.

A vegyész szó hallatán pár évtizeddel ezelőtt sokakban egy fehér köpenyes, szemüveges tudós képe körvonalazódott, aki laboratóriumban lombikok és kémcsövek között szorgosan tevékenykedik. Az elmúlt évtizedekben azonban a kémia mint tudományág komoly átalakulásra ment keresztül. A kémia mint tudományág ma is deffiniálható úgy, hogy a világunkat felépítő anyagokat és az ezekben bekövetkező változásokat tanulmányozza.

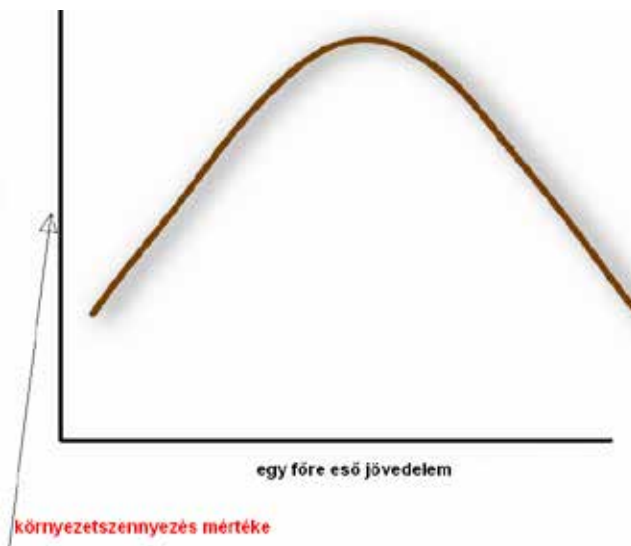
A vegyész feladatkörét azonban ma már nem lehet néhány szóban összefoglalni. Például vegyészek fejlesztenek ki új gyógyszervegyületeket, peszticideket, élelmiszer-adalékokat. Különléle fizikai-kémiai, kémiai vagy biológiai reakciók paramétereit határozzák meg. Meghatározzák az élő szervezetet felépítő fehérjék szerkezetét. Néhány vegyész nem hord fehér köpenyt, hanem a számítógép előtt ül, és vegyületek struktúráját és jellemzőit tanulmányozza, illetve újakat szerkeszt meg, vagy mérőberendezések segítségével azonosítja a kipufogógázban levő környezetszennyező anyagokat. Napjainkban a kémia olyannyira szerteágazóvá vált, hogy már senki sem mondhatja magáról, hogy ő vegyész. Mert pontosan meg kell neveznie, hogy a vegyészet mely területével foglalkozik, például analitikai kémiával, fizikai kémiával, biokémiával, szerves vagy szervetlen kémiával vagy környezetanalitikával.

Ma már határozottan kijelenthető, hogy a kémia interdiszciplináris tudomány, nehéz lenne felsorolni olyan tudományos munkát, amely nélkülözheti a segítségét. Vegyészek szintetizálnak új gyógyszereket többek között az AIDS, a rák ellen. Az oltóanyagok vegyi összetételének optimalizálásában is komoly szerepük van. A politikai szintéren is egyre hangsúlyozottabbá váló környezetvédelem ügyében is főszereplőként tekintünk a vegyészekre. A környezetszennyezés problémakörének hatékony megoldásához szükség van a környezet kémiájának alapos ismeretére. Bátran kijelenthető, hogy valamennyi ipar függ a vegyészek munkájától.

A kémia tanulása és oktatása közben nem szabad elfelejteni tehát, hogy az itt megfogalmazott törvényszerűségek nem örök érvényű, megváltoztathatatlan igazságok, hanem egy állandó fejlődési folyamatban, változásban, megújulásban levő tudomány modelljei, amelyek a jelenlegi tudományos fejlettségünknek megfelelően adnak képet az emberiséget körülvevő valóságról.

1.2 Az emberiség anyagi környezete [2]

Az ember megszületése óta alakítja, formálja, módosítja és megváltoztatja környezetét. A felsorolt tevékenységek hatása a korai társadalmakban lokális léptékben jelentkezett. A bolygóra kiható következmény megjelenése az ókori görög–római időkre nyúlik vissza. A kezdetleges bányászati tevékenységek (galenit, cerusszit) miatt ólmot juttattak a levegőbe aeroszol részecskék formájában, amelyek légáramlatok segítségével távolodtak el messzi területekre, s ez volt tulajdonképpen az első globális légszennyezés. Megdönthetetlen bizonyíték erre a grönlandi és a sarkvidéki jégmag-minták vizsgálata nyomán nagy érzékenységgű elem- és izotópanalitikai módszerek alkalmazásával kimutatott ólomszennyezés. A környezetterhelés „állandó üzemen működik” és számottevő átalakuláson megy keresztül a gazdasági, műszaki, társadalmi és szellemi körülmények folyamatos változásának következményeként. A környezet terhelésének időbeli változása összefüggésben van a gazdasági fejlettséggel, amelyet az 1. ábrán bemutatunk be.



1. ábra: A gazdasági fejlettség és a környezeti állapot összefüggése

Forrás: http://www.tankonyvtar.hulen/tartalom/tamop425/0047_Salma_Kornyezetkemial/adatak.html alapján saját készítésű ábra; letöltés: 2014. január 10.

2. ALAPVETŐ FIZIKAI ÉS KÉMIAI FOGALMAK ÖSSZEFOGLALÁSA [3, 4, 5, 6, 7]

2.1 Az anyag és megjelenési formái

Anyag

Ami tömeggel és térrel jellemezhető, anyagnak nevezünk.

Tömeg és súly

Az anyagmennyiség mértéke a tömeg. A súly az az erő, amellyel a gravitáció vonzza a testeket. A tömeg teljesen független a helytől, viszont a súly függ tőle. A súly a tömegvonzás (gravitációs erő) eredménye.

Tiszta anyagok és keverékek

A tiszta anyagoknak pontosan meghatározható, állandó összetétellel jellemezhető, jellegzetes tulajdonságaik vannak. A keverék két vagy több tiszta anyag elegye, amelyben a kiindulási anyagok megőrzik eredeti tulajdonságaikat. A keverékeknek nem állandó az összetételük, és fizikai úton szétválaszthatók.

A homogén keverékek összetétele az anyag térfogatának minden pontjában azonos. Például homogén keverék készíthető egy kanál só és egy pohár víz teljes elkeverésekor. A só és a cukor molekulái keverednek egymással.

A heterogén keverékekben, például a liszt és a konyhasó elegyében az egyes komponensek nagyobb alkotórészei, kristályok keverednek egymással, és szabad szemmel vagy mikroszkóp segítségével jól elhatárolhatóak egymástól a különböző részek.

Atomok és molekulák

Az atom az anyag kémiaiilag tovább már nem osztható része. Fizikai módszerekkel tovább bontható elemi részecskékre. A molekulák több azonos és/vagy különböző atom elsődleges kémiai kötésekkel összekapcsolódott csoportjai.

Elemek és vegyületek

Az elem olyan tiszta anyag, amelyet kémiai módszerekkel már nem lehet egyszerűbb anyagokra bontani. Egy adott elem egy adott atomok halmaza. Jelenleg több, mint 110 elemet fedeztek fel, bizonyították létezésüket. Mai tudásunk szerint ezek közül 83 előfordul a Földön termé-

szetes körülmények között, a többi atomreaktorokban (atommáglyákban) vagy gyorsítóknál sikerült előállítani (tehát mesterségesen). Az elemeket **vegyjelekkel** jelöljük.

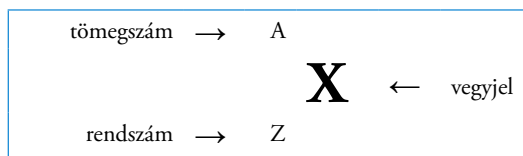
A vegyületek (vagy molekulák) több elem (atom) kémiai kötése során létrejövő anyagok. A vegyületekben (molekulákban) az elemek (atomok) aránya állandó, **képlettel** jelöljük.

Rendszám, tömegszám, izotópok

A **rendsám** (Z) az atommagban található protonok száma. Az atomban (semleges töltésű) a protonok száma megegyezik az elektronok számával. Az atom kémiai minőségét a rendszám határozza meg.

A **tömegszám** (A) az atommagban levő protonok és neutronok számának összege. Ugyanahhoz a rendszámhoz (kémiai tulajdonságú elemhez) különböző tömegszámú elemek is tartozhatnak, mivel az atomokban a neutronsám különbözhet. Az azonos rendszámú, de eltérő tömegszámú atomokat **izotópoknak** nevezzük.

Az elem rendszámát és tömegszámát az alábbi módon jelöljük.



Az elemek kémiai tulajdonságait főként az elektronok száma határozza meg. Következésképpen az izotópok hasonló kémiai tulajdonságokkal jellemezhetőek.

Az atomtömeg

Egy atom tömege rendkívül kicsi érték, nem az abszolút tömegükkel számolunk, hanem a különböző atomok egymáshoz viszonyított, relatív tömegét adjuk meg és használjuk fel a számolásokban. Nemzetközi megállapodás alapján a szén atom 12-es tömegszámú izotópjának (C-12) tömegét 12 atomtömeg-egységnek (**ate; angolul: atomic mass unit – a.m.u., jele: u**) választjuk meg, így 1 atomtömeg-egység a C-12 atom tömegének tizenketted része.

$$1 \text{ ate} = 1/12 \times 1,99268 \cdot 10^{-23} \text{ g} = 1,66057 \cdot 10^{-24} \text{ g}.$$

Az átlagos atomtömeg

A természetben előforduló elemeknél átlagos atomtömegekről beszélünk, mivel ezek legtöbbször különböző tömegszámú izotópok keverékei. Ezért a periódusos rendszerben található különböző elemek tömegszámai nem egész értékek. Az izotópok előfordulási aránya a Földön állandónak mondható, néhány kivételtől eltekintve. Az átlagos atomtömeg kiszámításánál az elemhez tartozó egyes izotópjainak relatív atomtömegét az előfordulási arányukkal súlyozzuk.

A mól, móltömeg és az Avogadro szám

A gyakorlatban azok az anyagmennyiségek, amelyekkel tevékenykedünk (például 1–10 g), hatalmas számú atomot tartalmaznak. Ezért szükségszerű volt egy olyan fizikai mennyiséget alkalmazni, amely nagyszámú atom mennyiségét definiálja. Ez az SI mennyiség a mól, jele **mol** (rövid **o-val írva**).

A mól az az anyagmennyiség, amely annyi részecskét (atomot, molekulát, vagy iont) tartalmaz, mint ahány atom van 12 g szén-12 izotópban. A definíció szerint ez a kísérletileg meghatározott szám

$$1 \text{ mol} = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ (db) részecske.}$$

Ezt a számot **Avogadro számnak** hívjuk az olasz tudós, Amedeo Avogadro tiszteletére.

A móltömeg egy mólnyi anyag tömegét jelenti gramm mértékegységben megadva. Az atomtömeg és a móltömeg meghatározásából következik, hogy az elemek móltömegének számértéke megegyezik az atomtömegükkel.

2.2 Molekulák, az atomok kombinációi

Molekula és kémiai képlet

A molekula két vagy több atomnak meghatározott sorrendben és arányban történő kapcsolódása elsődrendű kémiai kötések által. A molekula az öt felépítő atomok valamennyi elektronját, protonját és neutronját tartalmazza. A molekulák leírására az úgynevezett kémiai képleteket használjuk, amelyekben a molekulát alkotó elemek vegyjelei szerepelnek a megfelelő kiegészítésekkel (arányszámok). A kémiai képletek több fajtáját is használjuk a molekulák leírására.

Összegképlet

Az összegképlet arra alkalmas, hogy megmutassa, pontosan hány atom van az adott molekulában az egyes atomokból. A legegyszerűbb molekulák mindössze két atomból állnak, ezeket kétatomos molekulának (vagy elemmolekulának is) nevezzük. Néhány példa: hidrogén (H_2), nitrogén (N_2), oxigén (O_2), fluor (F_2), klór (Cl_2), bróm (Br_2), jód (I_2). Ha a molekula különböző atomokból épül fel, akkor néhány példával bemutatva, a következő módon jelölhetjük az összegképletet: HCl (hidrogén-klorid), NO (nitrogén-monoxid), CO (szén-monoxid), NaCl (nátrium-klorid). A molekulák kettőnél több egyforma vagy eltérő atomot is tartalmazhatnak, mint például az ózon (O_3), a víz (H_2O), a salétromsav (HNO_3).

Az oxigén (O_2) és az ózon (O_3) ugyanazon elemnek a különböző megjelenési formája. Ezeket **allotrop módosulatoknak** nevezzük. Ilyen allotropok például a grafit és a gyémánt (a szén különböző formái), a vörös- és a fehérfoszfor.

Fontos a molekula és a vegyület fogalmának megkülönböztetése. A **vegyületet** két vagy több elem atomjai építik fel, a **molekula** két vagy több (azonos vagy különböző) atomot tartalmaz. Például a N_2 képlet egy molekulát reprezentál, és nem vegyületet, mert csak egyféle elem atomjait (nitrogén) tartalmazza. Ezzel szemben az SO_3 képlet molekulát is (négy atomból áll), és vegyületet is szimbolizál (kétféle elemet tartalmaz).

Tapasztalati képlet

A tapasztalati képlet jelentése: az adott molekulát felépítő elemeknek a legegyszerűbb egész számú aránya a molekulában. Sok esetben a tapasztalati képlet megegyezik a molekulaképlettel, például SO_2 , CH_4 , H_2O .

Szerkezeti képlet

A szerkezeti képlet megadja a molekulában levő atomok kapcsolódási sorrendjét. Például a szén-dioxid szerkezeti képlete $O-C-O$. A kémikusok számára úgyszintén fontos ismerni a molekulák térbeli szerkezetét is. A szerkezeti képlet erről általában nem ad felvilágosítást.

Molekulatömeg

A molekulatömeg az atomtömegek összege a molekulában (figyelembe véve az atomok számát és arányát). Például a szén-dioxid molekulatömege:

$$\begin{aligned} &2(\text{O atomtömeg}) + \text{C atomtömeg} \\ &\quad \text{vagy} \\ &2(15,999 \text{ ate}) + 12,011 \text{ ate} = 44,009 \text{ ate} \end{aligned}$$

Móltömeg

A móltömeg egy mol vegyület grammban megadott tömege. Megegyezik a molekulatömeggel.

2.2.1 Ionok és ionos vegyületek

Amikor egy atomból vagy molekulából (melyek semlegesek) eltávolítunk elektronokat, vagy hozzájuk adunk elektronokat, akkor töltéssel rendelkező részecskék, vagyis ionok jönnek létre. A pozitív töltésű ion a **kation**, a negatív töltésű az **anion**. Azokat a vegyületek, amelyeket ionok hoznak létre, az **ionos vegyületek**. Ilyen például a hétköznapi konyhasó ($NaCl$), amely azonos számú Na^+ és Cl^- iont tartalmaz háromdimenziós elrendezésben. Az ionos vegyületekben a pozitív és a negatív töltések kiegyenlítik egymást, semleges töltésűek.

2.3 A kémiai kötés

Az atomok között létrejövő kémiai kötés a vegyérték-elektronok kölcsönhatása következtében kialakuló összetartó erő. A kémiai kötés létrejöttékor az egyesülő atomok külső elektronhéja úgy alakul át, hogy a rendszer valamilyen energiaminimummal jellemezhető, és stabillabb állapotba kerül (kedvezőbb energiaállapotba jut). Kvantummechanikában alkalmazott leíró módszerek:

MO (molekulapálya): molekulapályákat számolunk (például LCAO – Linear Combination of Atomic Orbitals), amelyeket a kizárási elv szerint töltünk fel elektronokkal.

VB (vegyértékkötés): változatlan, de úgynevezett *átfedő* atompályák miatt jön létre kötés (kémiai szemlélet).

A kémiai kötéseknek két típusa van:

- az elsőrendű kötések, amikor atomok vagy ionok kapcsolódnak össze (fajtai a kovalens kötés, az ionos kötés és a fémes kötés),
- másodrendű kötések, a molekulák között ható kapcsolat, az elsőrendűnél gyengébb (fajtai a hidrogénkötés, a dipólus-dipólus és a diszperziós kölcsönhatás/Van der Waals kötés)

2.3.1 Kovalens (homopoláris) kötés

Egyszeres vagy többszörös (kétszeres, háromszoros) elsőrendű kémiai kötés. Egyszeres kovalens kötéskor két atom (azonos valószínűséggel) megoszt egy elektronpárt. A kötésben résztvevő elektronok száma 2, 4 vagy 6. A kötés teljesen kovalens, ha az ellentétes elektromos töltések középpontja egybeesik.

A **molekulapályák** kvantummechanikai módszerrel meghatározható, molekuláris elektronállapotokat (például tartózkodási valószínűség) leíró függvények, típusaik:

σ -kötés minden egyszeres kötés (s , p elektronok között). Az atommagokat képzeletben összekötő kötéstengelyre forgásszimmetrikus, vagyis az atomok e tengely körül elfordulhatnak. Két atomra lokalizált.

π -kötés csak többszörös kötéseknel alakul ki (amelyek egyike szükségszerűen mindig σ -kötés), a kötésben az s -elektronok nem vesznek részt. Csak tükörszimmetriával jellemezhető: a szimmetriasík metszi az atommagokat, rajta az elektronok tartózkodási valószínűsége elhanyagolható, vagyis a molekula nem foghat szabadon a kötéstengely körül. Több atomra kiterjedő (delokalizált molekulapálya).

Kötés típusa	Szén-szén kötés hossza [pm]	Kötés disszociációs energiája [kJ/mol]	Példák a kialakuló vegyületre (név szerkezeti képlet)
C-C	154	350	$\begin{array}{c} \text{etán} \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$
C=C	134	620	$\begin{array}{c} \text{etén} \\ \text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 \end{array}$
C≡C	120	840	$\begin{array}{c} \text{etín} \\ \text{HC}\equiv\text{CH} \end{array}$

1. táblázat: A szén-szén kötések összehasonlítása

Forrás: <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/szerves-kemia-szerves/ch02s03.html> alapján saját készítésű; letöltés: 2014. január 10.

2.3.2 Ionos (heteropoláris) kötés

Ellentétes töltésű ionok közötti elektrosztatikus vonzás alakul ki. Általában gyengébb, mint a kovalens kötés (100–400 kJ/mol).

Kovalens kötésű dipólusmolekulák (különnemű töltések középpontja eltolódott) átmeneti jellegűek a kovalens és ionos kötés között (például H₂O).

2.3.3 Fémek kötés

A fémionokat szabadon mozgó (delokalizált) elektronok tartják össze. Kialakulásának feltétele: a kapcsolódó atomok elektronegativitása (EN) kicsi, 2 alatti érték. Rácstípus: fémrács. Példák: Fe (vas), Cu (réz), Sn (ón), bronz (Cu és Sn ötvözet), sárgaréz (Cu és Zn ötvözet).

Az elsőrendű kötések, rövid összefoglalása a 2. táblázatban található.

ELSŐRENDŰ KÖTÉSEK			
	kovalens kötés	ionkötés	fémek kötés
mi alakítja ki a kötéset?	közös elektronpár	ellentétes töltésű ionok közötti elektrosztatikus vonzás	az atomtörzsek között delokalizált elektronok
mi a kötés kialakulásának feltétele?	nagy elektronegativitású atomok	a kapcsolódó atomok közötti nagy elektronegativitáskülönbség	kis elektronegativitású atomok
példa	metán	nátrium-klorid	nátrium

2. táblázat: Az elsőrendű kötések jellemzőinek összefoglalása

Forrás: https://www.mozaweb.hu/Lecke-Kemia-Kemia_9-Osszefoglalas_II-100613 alapján saját készítésű; letöltés: 2014. január 10.

2.3.4 Másodlagos kötések

A másodlagos kötések ismertetése a 3.2.1. fejezetben található (összefoglalva 8. táblázatban).

3. ANYAGI HALMAZOK [3, 4, 5, 6, 7]

3.1 Gázok

A gázok kémiai felfogás szerint egyszerűbbnek tekinthetők, mint a folyadék vagy szilárd halmazállapotú anyagok. A gázokban a molekulák mozgása rendezetlen, a molekulák között ható vonzóerők rendkívül kicsinyek, gyakorlatilag a molekulák egymástól függetlenül, szabadon mozognak. Ezért a gáz halmazállapotú anyagok nem rendelkeznek határozott szerkezettel. A gázok tulajdonságait leíró törvények sokkal egyszerűbbek, mint a folyadékokra és a szilárd anyagokra vonatkozó törvényszerűségek.

Az anyagi minőségtől függően szobahőmérsékleten és 1 atm nyomáson az anyagok egy része gáz halmazállapotú. Az ionos vegyületek szobahőmérsékleten és 1 atm nyomáson nem gáz halmazállapotúak az alkotórészeket összetartó elektrosztatikus vonzóerők miatt. A molekuláris vegyületek között vannak gáz halmazállapotúak, de jelentős részük szobahőmérsékleten szilárd vagy folyadék. Hőközlés hatására azonban könnyen gázzá alakíthatók, ezzel szemben az ionos vegyületek csak nagyon magas hőmérsékleten párolognak el.

Néhány elem, amely standard körülmények (25 °C, 1 atm nyomáson) között gáz halmazállapotú: He, N₂, O₂, F₂, Ne, Cl₂, Ar, Kr, Xe.

Néhány (standard állapotban) gáz halmazállapotú molekula a HCl, HBr, CO, CO₂, NH₃, NO, NO₂, N₂O, SO₂, H₂S és a CH₄.

Gázoknak nevezzük azokat az anyagokat, amelyek szobahőmérsékleten és légköri nyomáson gáz halmazállapotúak (például N₂, CH₄).

Gőznek nevezzük a standard állapotban folyadék vagy szilárd halmazállapotú anyagok gáz halmazállapotú formáját (például vízgőz).

3.1.1 A gázok nyomása

A Földet több kilométer széles levegőréteg veszi körül, amelynek összetétele a következő: 78% N₂; 21% O₂ és 1% CO₂, Ar stb. Fizikai törvényszerűségek miatt a levegő sűrűsége a magassággal rohamosan csökken (például a magas hegységekben lakó emberek szervezete ehhez a körülményhez hozzászokik). Ezt jól szemlélteti néhány adat: a Földtől 6,4 km-es magasságig a levegő teljes mennyiségének 50%-a, 16 km-en belül 90%-a, 32 km-en belül 99%-a található.

Könnyen mérhető paraméter gázok esetében a nyomás. A gázzal érintkező felületre a gáz részecskéi nyomást fejtenek ki. Ez a tény azzal magyarázható, hogy a molekulák állandó mozgásban vannak, és folyamatosan ütköznek a felszínnel.

A barométer a légkör nyomását méri. Egyszerű módon elkészíthető, ha egy zárt végű üvegcsőbe higany töltünk, majd óvatosan fejre állítva egy higannyal telt tálcába helyezzük úgy, hogy az üvegcső vége érintkezzen a tálcán levő higannyal. A higany egy része kifolyik a

csőből, a cső tetején pedig vákuum keletkezik. Az üvegcsőben levő higanyoszlop nyomása pontosan megegyezik az atmoszféra (atm, a légkör) nyomásával. 1 atm megfelel 760 mm Hg oszlop nyomásának. Tovább folytatva a számolást $1 \text{ Hgmm} = 1 \text{ torr}$ nak felel meg (torr: az olasz tudósról, Torricelliről elnevezett mértékegység).

A nyomás SI mértékegysége: $1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa}$. A Hg előnye a barométerkészítés szempontjából a nagy sűrűsége. Ugyanis amennyiben vízzel végeznék el a fenti kísérletet, úgy 1 atm nyomásnak 10,3 m magas vízoszlop felelne meg. Gyakorlatilag ez a magyarázata annak, hogy milyen mélyről lehet egy kútból a vizet kiszivattyúzni. Tulajdonképpen a szivattyú szerepe a levegő kiszívása a csőből, a többi a légköri nyomás végzi, vagyis a vizet a légköri nyomás nyomja fel a fentieknek megfelelően, maximum »10,3 méter mélyről.

3.1.2 Gáztörvények

Boyle törvénye: a nyomás-térfogat összefüggés.

Már az 1600-as években történtek kísérletek. A 17. században Robert Boyle rendszerezett módszerrel tanulmányozta a gázok viselkedését. Egyik végén leforrasztott U-alakú csőbe higanyt töltött (2. ábra).

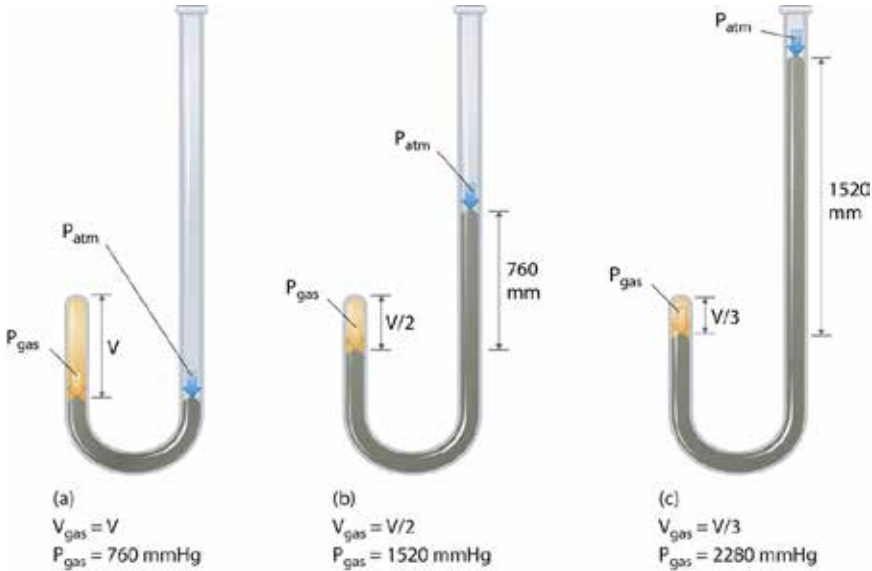
További higanymennyiségek hozzáadásával a cső leforrasztott szárában levő levegő térfogata folyamatosan csökkent. A bezárt levegő nyomása mindig egyensúlyban volt a légkör és a higanyoszlop nyomásával. A kísérlet állandó hőmérsékleten történt, amelynek alapján a térfogatváltozás így írható le.

$$V \sim \frac{1}{p}$$

ahol p a légkör nyomása + a D_h magasságú Hg oszlop nyomása, vagy másképpen

$$pV = \text{konstans}$$

A gázok térfogata tehát állandó hőmérsékleten fordítottan arányos a nyomással.



2. ábra: Boyle által a gázok nyomás-térfogat kapcsolatának vizsgálatára végzett kísérlet a) A csőbe zárt gáz nyomása megegyezik a külső nyomással. Az ábra b) és c) része: A hozzáadott higany hatására nő a gáznyomás és csökken a gáz térfogata. A hőmérséklet állandó.

Forrás: <http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/s14-03-relationships-among-pressure-t.html>; letöltés: 2014. január 10.

Charles és Gay-Lussac törvénye: a hőmérséklet-térfogat összefüggés.

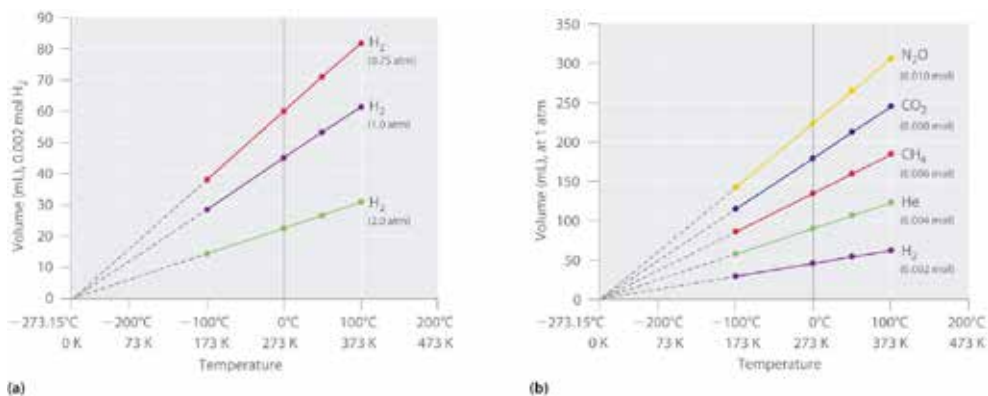
Ennek a törvényszerűségnek legkorábbi kutatói Jacques Charles és Joseph Gay-Lussac (1800-as évek) voltak. Kísérletileg bizonyították, hogy a gázok állandó nyomáson melegítés hatására kitágulnak, hűtés hatására pedig összehúzódnak. Ezt a jelenséget mindenki tapasztalja nap mint nap. Hétköznapiak számító törvényszerűségről van tehát szó, de természet-tudományos eszközökkel kellett bizonyítani. Az összefüggés a következő:

$V \sim t$, vagy

$$\frac{V}{t} = \text{konstans.}$$

Tehát a gáz térfogata adott (állandó) nyomáson egyenesen arányos a gáz hőmérsékletével. A gázok térfogatát különböző nyomásértékeknél a hőmérséklet függvényében ábrázolva

kiderül, hogy a kapott egyenesek minden nyomás esetén $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ értéknél metszik az x-tengelyt (3. ábra).



3. ábra: A gáz térfogatának és hőmérsékletének kapcsolata különböző nyomásokon. A különböző egyenesek különböző nyomáson tapasztalható összefüggést ábrázolnak. Hőmérséklet csökkentésére a gázok kondenzálódnak. A folytonos vonalak a kondenzáció feletti hőmérsékletet ábrázolják. A szaggatott vonalszakaszok a folytonos vonalak extrapolációi. Ezek a nulla térfogatnál és $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál metszik az x-tengelyt. b) 1 atm nyomáson a különböző gázmolekulák viselkedése van ábrázolva
 Forrás: <http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/s14-03-relationships-among-pressure-t.html>; letöltés: 2014. január 10.

Az ábrázolt függvény egyenesének kezdeti szakaszait csak extrapolálni (a kísérletek alapján következtetve) van lehetőség, mivel a gyakorlatban nagyon alacsony hőmérséklet-értékeknél a gáz kondenzál (lecsapódik, cseppfolyósodik, halmazállapot-változás történik). 1848-ban Kelvin felismerte e ténynek a jelentőségét. Kelvin feltételezte, hogy a $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ az elméletileg elérhető legkisebb hőmérséklet. A tudósok **abszolút nulla fok**nak nevezték el, és ez lett a Kelvinről elnevezett Kelvin hőmérsékleti skála (T) kezdőpontja. Egy kelvin (K) egy Celsius fokkal egyenlő (mint egység). A $^{\circ}\text{C}$ és a K közötti átszámítás összefüggése:

$$K = (^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{C}) (1\text{ K} / 1^{\circ}\text{C})$$

A fentiek alapján Charles és Gay-Lussac törvénye K-ben is kifejezhető:

V - T, vagy

$$\frac{V}{T} = \text{konstans}$$

Avogadro törvénye: a térfogat-anyagmennyiség összefüggés

Avogadro olasz tudós folytatta a Boyle, Charles és Gay-Lussac kísérleteit. 1811-ben nyilvánosságra hozta elméletét, amely alapján a különböző gázok azonos térfogata azonos hőmérsékleten és nyomáson azonos számú molekulát (vagy atomot, ha egyatomos a gáz) tartalmaz (4. ábra: és 4. táblázat):

$V \sim n$ Az összefüggés **Avogadro törvénye**, vagyis állandó hőmérsékleten és nyomáson a gáz térfogata egyenesen arányos a benne levő molekulák számával.

A fenti összefüggés megfordítva is használatos, vagyis a gázok azonos számú molekulája azonos hőmérsékleten és nyomáson egyenlő térfogatot tölt be.

Különböző gázokból 1 mol ($6 \cdot 10^{23}$ db) mennyiségű molekula (az anyagi minőségtől függetlenül) azonos állapotban (hőmérsékleten és nyomáson) egyenlő térfogatot tölt be. Kijelenthető, hogy az azonos állapotú gázok térfogatának (V) és anyagmennyiségének (n) hányadosa állandó: $V_m = V/n$, ahol V_m a **moláris térfogat**.

A moláris térfogat egyenlő 1 mol gáz térfogatával (mértékegysége: dm^3/mol).

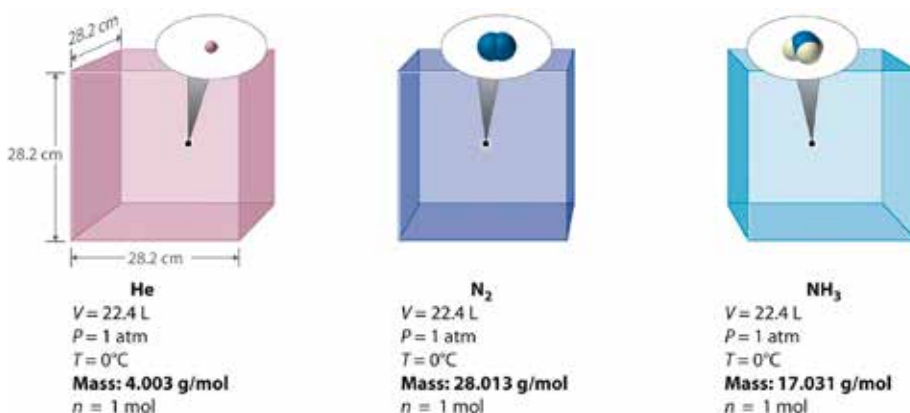
A gázok moláris térfogata az anyagi minőségtől független, csak a hőmérséklettől és a nyomástól függ. A különböző állapotok összefoglalása a 3. táblázatban tekinthető meg.

Az állapot elnevezése	nyomás	hőmérséklet	Moláris térfogat értéke [dm^3/mol]
standard	0,1 MPa	25 °C	24,50
szobahőmérséklet	0,1 MPa	20°C	24,00
normál	0,1 MPa	0°C	22,41

3. táblázat: A gázok moláris térfogatai különböző állapotokban (hőmérsékleti paraméter változtatva); Forrás: saját készítésű táblázat

Gázmolekula (vagy atom) neve	N_2	CH_4	He	CO_2
1 mol anyagmennyiség	$6 \cdot 10^{23}$ db	$6 \cdot 10^{23}$ db	$6 \cdot 10^{23}$ db	$6 \cdot 10^{23}$ db
tömeg	28 g	16 g	4 g	44 g
V_m moláris térfogat	24,50 dm^3	24,50 dm^3	24,50 dm^3	24,50 dm^3

4. táblázat: Standardállapotban levő gázmolekulák (és atomok a He esetében) összehasonlítása; Forrás: saját készítésű táblázat



4. ábra: Avogadro hipotézise; Különböző gázmolekulákat tartalmazó azonos térfogatokban, ugyanazon a hőmérsékleten és nyomáson azonos számú gázmolekula található. Mivel a gázok moláris tömege különböző, ezért az 1 mólnyi anyagmennyiségű gázmolekulák tömege is eltérő.

Forrás: <http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/s14-03-relationships-among-pressure-t.html>; letöltés: 2014. január 10.

Az ideális gázegyenlet

A fentiekben levezetett gáztörvények összegzésével egy további egyenletet kapunk, amely az ideális gázok viselkedését írja le.

Boyle törvénye:

$$V \sim \frac{1}{T}$$

konstans n és T mellett

Charles törvénye:

$$V \sim T \quad \text{konstans } n \text{ és } p \text{ mellett}$$

Avogadro törvénye:

$$V \sim n \quad \text{konstans } p \text{ és } T \text{ mellett}$$

A három fenti törvényből következik, hogy

$$V \sim \frac{nT}{p} = R \frac{nT}{p},$$

vagy az általánosan ismert formában: $pV = nRT$,

ahol R , az egyetemes gázállandó. Ez egyenlet az **ideális gázok állapotegyenlete**. Az ideális gáz egy olyan feltételezett gáz, amelynek a nyomás-térfogat-hőmérséklet paraméterek változásakor történő viselkedése az ideális gázegyenlettel írható le. Az ideális gázok molekulái

nem fejtenek ki egymásra vonzó- és taszítóerőt, emellett térfogatuk elhanyagolható az edény térfogatához viszonyítva. Fontos megjegyzés, hogy a valóságban nem létezik (teljesen) ideális gáz, az egyenlet ennek ellenére nagy nyomás- és hőmérséklet-tartományban jó közelítést ad a valós gázokra. Néhány ideális és reális gáz felsorolása található az 5. táblázatban.

Ideális gázok		Reális gázok	
oxigén	O ₂	szén-dioxid	CO ₂
nitrogén	N ₂	klór	Cl ₂
hidrogén	H ₂	kén-dioxid	SO ₂
nemesgázok: hélium, neon, argon, kripton, xenon	He, Ne, Ar, Kr, Xe	ammónia	NH ₃
		hidrogén-klorid	HCl

5. táblázat: Néhány ideális és reális viselkedésű molekula felsorolása; Forrás: saját készítésű táblázat

Kísérletekkel bizonyították, hogy 0 °C-on és 1 atm nyomáson (normál körülmények között) 1 mol ideális gáz 22,414 dm³ térfogatú.

Így az **egyetemes gázállandó** értéke kiszámítható:

$$R = \frac{101,325 \text{ kPa} \cdot 22,414 \text{ dm}^3}{1 \text{ mol} \cdot 273,15 \text{ K}} = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Az ideális gáz 1 molja standard állapotban, 25 °C-on, 1 atm. nyomáson 24,5 dm³. Az ideális gázok egyenlete a gyakorlati életben felhasználható sűrűségszámításra is. A gáz móljainak száma,

$$n = \frac{m}{M}$$

ahol m a gáz tömege (g), M pedig a moláris tömege (g/mol).

Ezt behelyettesítve az ideális gázok egyenletébe, és rendezve a sűrűsége

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T},$$

ahol ρ a gáz sűrűsége (g/cm³).

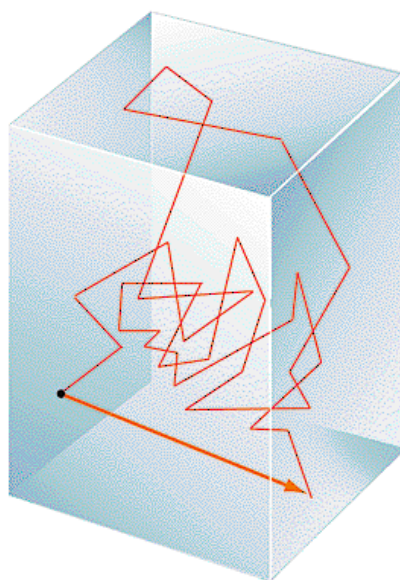
A sűrűség ismeretében moláris tömeg értéke is kiszámítható (például ha a molekula szerkezeti képlete nem ismert).

$$M = \frac{\rho \cdot R \cdot T}{p}$$

Laboratóriumi körülmények között a gázok sűrűségének meghatározása egyszerűen megvalósítható. Meghatározott paraméterek mellett (állandó nyomáson és hőmérsékleten) egy gázzal töltött lombikot analitikai mérlegen lemérünk. Egy következő méréssel a lombikban található levegőt vákuum segítségével eltávolítjuk, és ismét megmérjük a tömegét (meghatározzuk az üres lombik tömegét). Így a gáz tömege kiszámítható. A lombik térfogata ismert, ezért a sűrűség kiszámítható. Ezt követően a hőmérséklet- és a nyomásértékek ismeretében a fenti képlet alapján a moláris tömeg kiszámítható.

3.1.3 Gázok diffúziója

A diffúzió jelentése gázok esetében a gáz molekuláinak folyamatos (és az időben haladva teljesen végbemegy) keveredése egy másik gáz molekuláival a kinetikus tulajdonságai alapján. Önként végbemenő folyamatról van szó. A molekulák (és atomok nemesgázok esetében) sebessége nagyon nagy, ennek ellenére a diffúziós folyamat viszonylag lassú. A molekulák mozgásuk során gyakran ütköznek, és két ütközés között tudnak diffundálni. Ezért az egyenes vonalú mozgás úgynevezett zezugos pályán valósul meg (5. ábra).



5. ábra: A gázcsepscék mozgásának magyarázata

Forrás: http://www.chem.ufl.edu/~itl/2045/lectures/lec_e.html; letöltés: 2014. január 10.

1832-ben a skót kémikus Thomas Graham kísérleteiből arra következtetett, hogy azonos nyomáson és hőmérsékleten különböző gázok diffúziósebességeinek aránya a moláris tömegek négyzetgyökével fordítottan arányosak.

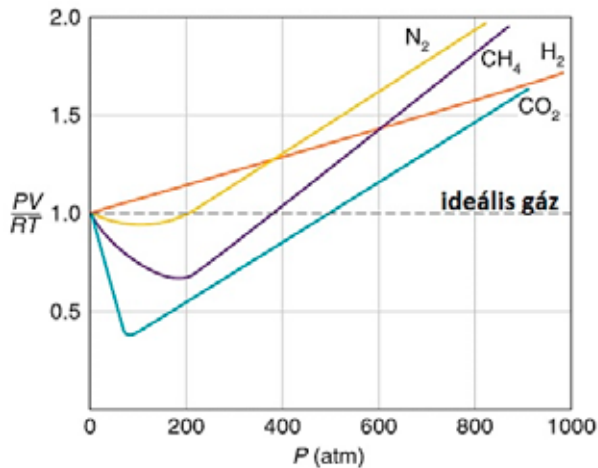
$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\sqrt{\frac{3RT}{M_1}}}{\sqrt{\frac{3RT}{M_2}}} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}}$$

$$\frac{c_1}{c_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

3.1.4 Eltérések az ideális viselkedéstől, reális gázok

Az előző fejezetekben az volt a feltevés, hogy a gázmolekulák nincsenek egymásra hatással, és térfogatuk elhanyagolható. Ez adott feltételek mellett igaz, de nem minden esetben. Intermolekuláris erők létezése nélkül például a gázok nem lennének képesek folyadékokká kondenzálódni.

A reális gázok tulajdonságai csak alacsony nyomáson ($p < 5$ atm) jellemezhetőek az ideális gázok egyenletével. A magyarázat a következő: a gázok között fellépő intermolekuláris erők hatótávolsága kicsi, és alacsony nyomásértéken a molekulák még távol vannak egymástól ahhoz, hogy fellépjenek a vonzóerők. Jelentős nyomáson az ideálistól számottevő eltérés tapasztalható az intermolekuláris erők következtében. Az előbbieken ismertetett jelenséget az 6. ábra mutatja, ahol a pV/RT mennyiség került ábrázolásra a nyomás függvényében. A függvény ideális gáz esetében vízszintes. Alacsony nyomásokon a görbék eleje még vízszintes, majd átmegy az ideális gáz egyenesébe (a nyomásértékek ábrázolása a függvény könnyebb bemutathatósága érdekében nagyobb léptékű). A nyomás növelésére a molekulák megfelelő közelségbe érnek ahhoz, hogy vonzzák egymást. További nyomásnövelés hatására a molekulák annyira közel kerülnek egymáshoz, hogy már a taszítóerők nagysága érvényesül, és emiatt a gáz nyomása nőni fog.



6. ábra: PV/RT ábrázolása P függvényében 1 mol gázra 0 °C-on. Ideális gázokra $PV/RT = 1$; reális gázoknál nagyobb nyomás esetén ettől eltérést tapasztalunk

Forrás: http://www.chem.ufl.edu/~itl/2045/lectures/lec_e.html alapján készítve;

letöltés: 2014. január 10.

Alacsony hőmérsékleten is van eltérés az ideális gáz-viselkedéstől, mert lecsökken az átlagos kinetikus energia, ez pedig növeli annak valószínűségét, hogy a részecskék egymás vonzásában maradjanak. J. D. van der Waals 1873-as kísérletei során számításba vette az intermolekuláris erőket és a molekulák véges térfogatát, így sikerült jó közelítéssel összefüggést adnia a reális gázok viselkedésére.

Reális gázokra vonatkozó egyenlet, az úgynevezett **van der Waals** állapotegyenlet:

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2} \right) (V - nb) = nRT = \frac{m}{M} RT = NkT$$

A 6. táblázat különböző gázok a és b értékeit tartalmazza. Az a és b értékek úgy kerülnek megválasztásra, hogy a lehető legnagyobb legyen az egyezés, a legjobb közelítéssel, az egyenlet és a megfigyelt viselkedés között (a = arányossági tényező; b = a gáz anyagi minőségére jellemző konstans).

gáz	a (atm dm ⁶ /mol ²)	b (dm ³ /mol)
hélium	0,034	0,0237
neon	0,211	0,0171
hidrogén	0,244	0,0266
oxigén	1,36	0,0318
klór	6,49	0,0562
szén-dioxid	3,59	0,0427
metán	2,25	0,0428
ammónia	4,17	0,0371
víz	5,46	0,0305
etán	0,5562	0,0638
etanol	1,218	0,08407
benzol	1,824	0,1154

6. táblázat: A különböző gázokra jellemző a és b állandók

Forrás: <http://web.inc.bme.hu/csonka/csg/oktat/mmkem/kemia-1.pdf> alapján saját készítés;
letöltés: 2014. január 10.

3.2 Folyadékok

A legfontosabb különbség a gázok és a kondenzált állapotú anyagok (folyadék, szilárd) között a molekulák közötti távolság. A folyadékokban és a szilárd anyagokban számottevően kisebb a részecskék közötti távolság, ezért számolni kell a molekulák között fellépő úgynevezett intermolekuláris erőkkel. A molekulák között létesülő másodlagos kötőerők következtében a folyadékokban és szilárd anyagokban rendezett szerkezet jön létre. A szilárd anyagokban és a folyadékokban a molekulák közötti üres terek száma kisebb, mint a gáz halmazállapot esetében. Ennek köszönhető, hogy a folyadékok és a szilárd anyagok nehezen összenyomhatóak és határozott térfogatuk van. A folyadékokat felépítő részecskék kevésbé rendezettek, távolabb vannak egymástól, ezért könnyebben elmozdulnak és felveszik az edény alakját. A szilárd anyagok alkotórészeire nagymértékű rendezettség a jellemző a tér minden irányában, ennek köszönhetően határozott alakkal és térfogattal rendelkeznek. Fontos megjegyezni, hogy általában az anyag sűrűsége szilárd halmazállapotban nagyobb, mint folyadék halmazállapotban, de fontos kivétel például a víz (jelentősége a természetben rendkívüli).

3.2.1 Az intermolekuláris erők rövid ismertetése

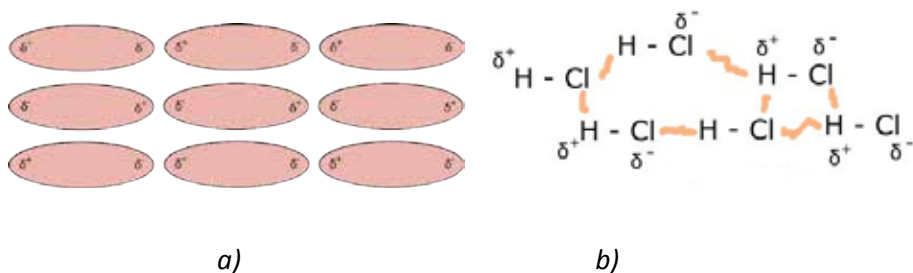
A molekulák között az intermolekuláris erők alakítják ki a vonzást, ezzel magyarázható a gázok nem ideális viselkedése és a kondenzált fázisok kialakulása. A hőmérséklet csökkenésével, a molekulák átlagos kinetikus energiája is csökken, így a részecskék már nem képesek

elszakadni egymástól. Több molekula aggregátumokat hoz létre, és folyadékcseppekké alakulnak, majd kondenzálódnak. Az anyagi halmazokat felépítő részecskék között kialakult intermolekuláris erők nagyságát a forráspont és az olvadáspont értékei jellemzik (összefoglalva a 8. táblázatban).

Dipól-dipól erők

A dipól-dipól erők poláris (dipólusmomentummal rendelkező) molekulák között alakulnak ki. Elektrosztatikus tulajdonságúak és a Coulomb törvénnyel jellemezhetőek. A kialakuló vonzás mértéke függ a molekulák dipólusmomentumának nagyságától. A dipól-dipól erőknek tulajdoníthatóan, szilárd halmazállapotban, a molekulák úgy helyezkednek el, hogy maximális legyen a részecskék közti vonzóerő (7. ábra).

A folyadékokban kisebb mértékű a rendezettség, mint a szilárd állapotban.

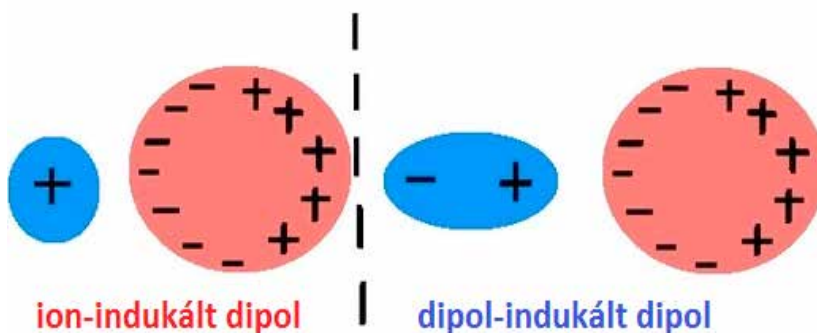


7. ábra: Dipól-dipól kölcsönhatás értelmezése a) általánosságban, szilárd halmazállapotban, b) a hidrogén-klorid molekulák között

Forrás: a) <http://scientopia.org/blogs/ethicsandscience/2007/07/09/basic-concepts-phase-changes/>,
 b) <http://www.ck12.org/user:krogers/section/Intermolecular-Forces-of-Attraction/> alapján készítve;
 letöltés: 2014. január 10.

Ion-dipól erők

Az ionok és a poláris molekulák között megvalósuló kölcsönhatásra úgyszintén a Coulomb-törvény érvényes (8. ábra). A kölcsönhatás erőssége függ a dipólusmomentum nagyságától, az ion töltésétől és az ion méretétől. A kationok kisebb méretéből adódóan a fajlagos töltés nagyobb, mint az anionok esetében. Tehát azonos töltésű kation és anion közül a kationok fejtenek ki nagyobb vonzást. Az ion-dipól kölcsönhatások klasszikus példája a **hidratáció**. Ionos vegyületek oldódásakor (például nátrium-klorid) a vízmolekulák elektromos szigetelőként viselkednek, körbeveszik és távol tartják egymástól az ellentétes töltésű ionokat.



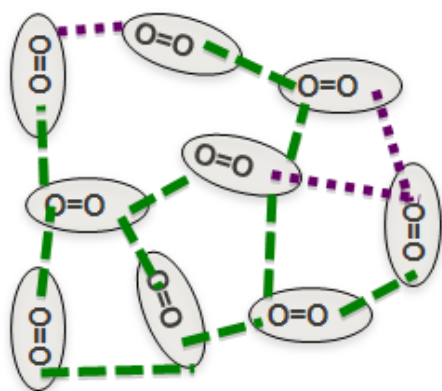
8. ábra: Az ion-dipól kölcsönhatás két esete. Forrás: http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Quantum_Mechanics/Atomic_Theory/Intermolecular_Forces/Polarizability_alapján_készítve; letöltés: 2014. január 10.

Diszperziós vagy más néven London-erők

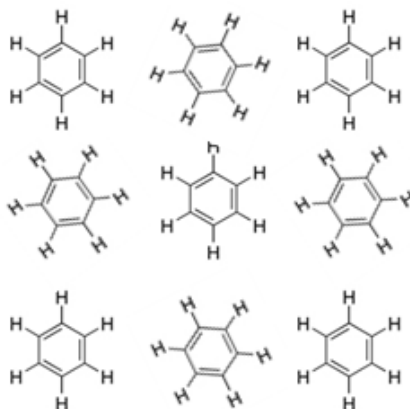
Amikor egy nem-poláros molekula (vagy atom) közelébe egy ion (kation/anion) vagy egy poláris molekula kerül, a nem poláros molekula (vagy atom) elektroneloszlása eltérő lesz az eredetitől. A pozitív és negatív töltések súlypontja elkülönül egymástól (9. ábra). Az ilyen módon kialakuló dipólust **indukált dipólus**nak nevezzük, mert a semleges atomban a töltésszétválást a közelben tartózkodó ion vagy poláris molekula eredményezi. A hatást kifejtő részecskétől függően lehet ion-indukált dipólus vagy dipólus-indukált dipólus.

Az indukált dipólus kialakulása függ az adott molekula polarizálhatóságától is, vagyis attól, hogy milyen könnyen változtatható meg az (eredeti) elektroneloszlása. Az adott molekula (vagy atom) minél több elektront tartalmaz (és minél diffúzabb az elektronfelhő), annál könnyebben valósítható meg a polarizálás.

Különleges tény, de két apoláris molekula között is felléphet indukációs hatás (9. ábra). Tulajdonképpen ez magyarázat arra, hogy miért kondenzálódnak az apoláris molekulák vagy atomok. Az oxigénmolekula (vagy a benzol) példáján egy adott pillanatban az elektron helyzetétől függően dipólusmomentum (pillanatnyi dipólusmomentum) alakulhat ki. Viszont ezt a dipólusmomentum-mérés relatív hosszú ideje alatt nem észleljük, mert a számos, pillanatnyi dipólusmomentum-érték kiátlagolóódik. Az egyik pillanatban jelenlévő dipólus egy másik közeli oxigénmolekulában (vagy a benzolmolekulában) dipólust indukál, majd pedig a következő pillanatban ez az indukált dipólus további töltésszétválást gerjeszt egy következő molekulában, és így tovább. Így tehát vonzás jön létre a molekulák (vagy atomok például nemesgázok) között, és ez nagyon alacsony hőmérsékleten elégséges ahhoz, hogy cseppfolyósodjon az oxigénmolekula (vagy a nemesgázok).



a)



b)

9. ábra: A diszperziós kölcsönhatás, vagy más néven a London-erők szemléltetése (ideiglenes töltésszétválások jönnek létre); a) az apoláris oxigénmolekulák között vonzó-taszítóerők lépnek fel; b) benzol molekula szimmetrikus, nem-poláris

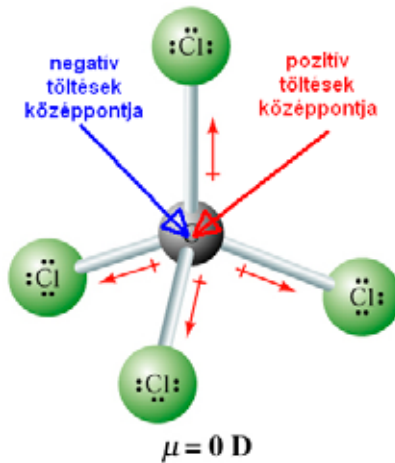
Forrás: <http://bruecknerchemistry20122013.blogspot.hu/2013/01/intermolecular-forces-imsf.html>; letöltés: 2014. január 10.

Az ideiglenes dipólusok elméleti kémiai (kvantummechanikai) értelmezését Fritz London végezte (ezért hívjuk **London-erőknek**) el 1930-ban. Bebizonyította, hogy az indukált dipólus–indukált dipólus vonzóerő nagysága egyenesen arányos a polarizálhatósággal. Ez az erő a diszperziós erő. A móltömeg növekedésével a diszperziós erők növekednek, ugyanis a nagyobb molekulák több elektronnal rendelkeznek, és nagyobb méretük miatt gyengébben kötöttek bennük az elektronok. Így a molekulák polarizálhatósága is nagyobb. Sok esetben a diszperziós erők nagyobbak a dipól–dipól kölcsönhatásoknál (7. táblázat).

Vegyület neve	Molekulatömeg [g/mol]	Dipólusmomentum [Debye]	Forráspont [°C]
szén-tetraklorid	153,8	0	76
propán	44	0,1	-42
dimetil-éter	46	1,3	-25
acetaldehid	44	2,7	20
acetonitril	41	3,9	82

7. táblázat: A különböző anyagok dipólusmomentumai

Adatok: <http://www.mikeblaber.org/oldwine/chm1045/notes/Forces/Intermol/Forces02.htm> alapján készítve; letöltés: 2014. január 10.



10. ábra: A szén-tetraklorid dipólusmomentum-értékének magyarázata: a szén-tetrakloridban található négy kötés dipólusmomentumai kompenzálják egymást, az eredő 0 Debye (a dipólusmomentum mértékegysége).

Forrás: http://dc368.4shared.com/doc/Q1u5buL_/preview.html alapján szerkesztve; letöltés: 2014. január 10.

A szén-tetraklorid molekulák között ható diszperziós erők jóval nagyobbak, mert a molekula több elektronnal rendelkezik, és emiatt nagy a polarizálhatósága (10. ábra). Diszperziós vagy London-erők többféle típusú molekula között kialakulnak függetlenül attól, hogy azok semlegesek, töltöttek, polárisak vagy apolárisak.

Van der Waals-erők

Dipólus-dipólus vagy ion-dipólus kölcsönhatás: dipólusok között fellépő taszító- és vonzóerő, amelynek következtében a pólusok rendeződnek (orientációs hatás) és az eredeti dipólusmomentumuk megnő (indukciós hatás). A van der Waals-erő által létrejött kötés nagyon gyenge (4–8 kJ/mol), de rendkívüli fontosságú a biológiai rendszerekben: erős molekuláris kötődések kialakulását eredményezi. Hő hatására felbontható kötéstípus.

A dipól-dipól, dipól-indukált dipól és a diszperziós erőket együttesen van der Waals-erőknek hívjuk. Az anyagok lényeges fizikai tulajdonságait (olvadáspont, forráspont, oldhatóság) határozzák meg. A molekulák közti távolságot a közöttük ható van der Waals-erők, az elektronok és magok közti taszítóerők aránya szabja meg. A van der Waals-rádiusz a két molekula közti távolság fele, ha a vonzóerők maximálisak.

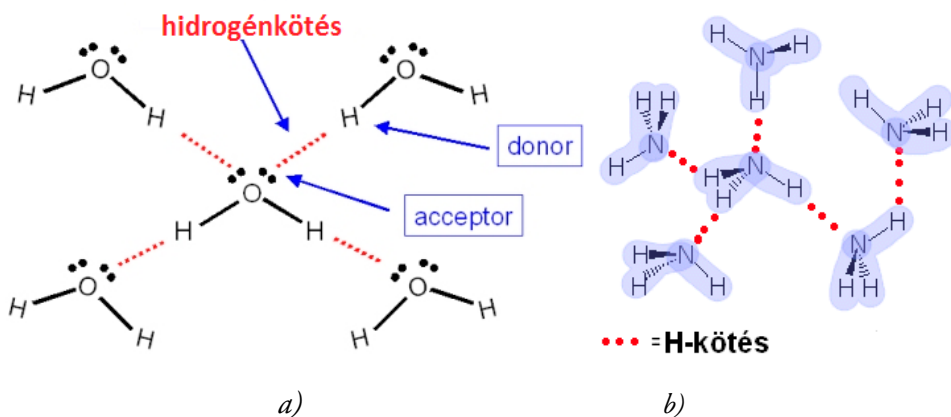
Hidrogénkötés (H-híd)

Nagy elektronegativitású atomhoz kapcsolódó hidrogén, amely egy másik nagy elektronegativitású atom nemkötő elektronpárjával kapcsolódik. A kötési energia viszonylag nagy (12–

29 kJ/mol). A hidrogénkötés feltétele, hogy nagy elektronegativitása (elektronvonzó képességű), és nemkötő elektronnal is rendelkező elem atomja (N, O, F) szükséges, amelyhez közvetlenül kapcsolódik H-atom.

A H-hídkötés a dipól-dipól kölcsönhatás egy sajátos esete. Egy poláris kötésben részt vevő H-atom (például O–H, N–H) és egy magános elektronnal rendelkező elektronegatív atom O, N vagy F között alakul ki. A H-hidak létezését a vegyületek forráspontjának tanulmányozásakor ismerték fel. A H_2O , HF és NH_3 kiemelkedően magas forráspontját a H-hídkötések eredményezik. A H-hídkötés viszonylag nagy energiájú (40 kJ/mol) dipól-dipól kölcsönhatás (ahhoz képest, hogy másodrendű kötésről van szó). A H-hídkötést az elektronegatív atom magános elektronszára és a H mag között kialakuló Coulomb-kölcsönhatás eredményezi. A H_2O molekula két H-atomja és az O két nemkötő elektronszára miatt egyszerre négy intermolekuláris H-hídkötésben is részt vesz (kettő, mint protondonor, kettő pedig, mint protonakceptor.), ezért a víz forráspontja kiemelkedően magas (11.a. ábra).

Megjegyzendő, hogy a molekulák között vonzóerők mellett taszítóerők is fellépnek, amelyek a távolság csökkentésével nőnek. Ez a magyarázat a folyadékok összenyomhatatlanságára. A másodrendű kötések vázlatos összefoglalása a 8. táblázatban található.



11. ábra: A hidrogénkötés szemléltetése; a) vízmolekulák; b) ammóniamolekulák között

Forrás: a) <http://www.mikeblaber.org/oldwine/BCH4053/Lecture03/Lecture03.htm> és
b) <http://pegasus.cc.ucf.edu/~jparadis/chem2046/outline11.html> alapján készítve; letöltés: 2014. január 10.

MÁSODRENDŰ KÖTÉSEK			
	diszperziós kölcsönhatás	dipol-dipol kölcsönhatás	hidrogénkötés
mi a jellemzője?	az atommagok rezgéséből adódó időleges töltéseltolódás	a dipólusmolekulák között kialakuló elektrosztatikus vonzóerő	nagy elektronegativitású atomhoz kapcsolódó hidrogén, amely egy másik nagy elektronegativitású atom nemkötő elektronpárjával létesít kapcsolatot
példa	nemesgázok atomjai között, nemfémek	hidrogén-klorid molekulák között	víz, ammónia, ecetsav

8. táblázat: Az elsőrendű és a másodrendű kötések jellemzőinek összefoglalása

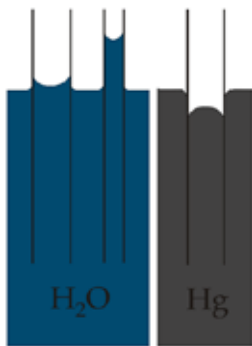
Forrás: https://www.mozaweb.hu/Lecke-Kemia-Kemia_9-Osszefoglalas_II-100613 alapján saját készítésű; letöltés: 2014. január 10.

3.2.2 A folyadék-halmazállapot jellemzése

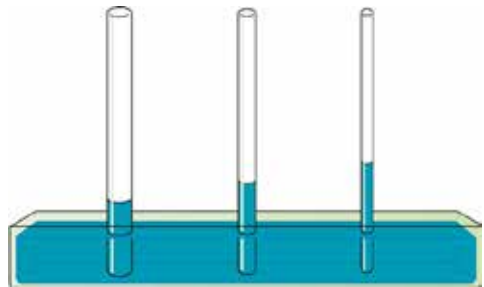
A folyadékok sok szerves és szervetlen szilárd anyagnak az oldószerei. Áttekintésre kerül a folyadékok két jellegzetes tulajdonsága, a felületi feszültség és a viszkozitás. Továbbá a földi lét legfontosabb és egyben legkülönlegesebb oldószere a víz.

A felületi feszültség

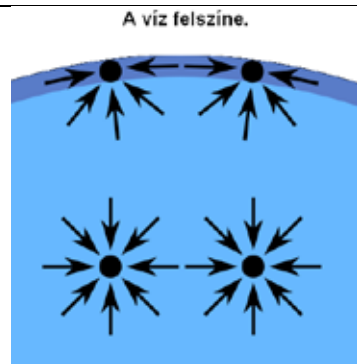
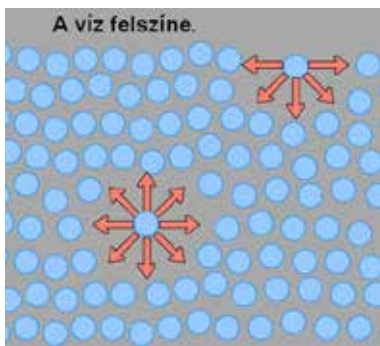
Egy edény belsejében levő molekulára minden irányból egyenlő vonzóerő hat, így az erők eredője nulla. Kivételt képez a felszínen helyet foglaló molekula, amelyre csak lefelé és oldalt irányuló erők hatnak. Ezen erőhatások a folyadék belseje felé húzzák a felszínen levő molekulát, így azok törekednek a legkisebb felületet kialakítására. Ez a magyarázat az esőcseppek közelítőleg gömbalakjára, mivel azonos térfogatú geometriai testek közül a gömbnek a felülete a legkisebb. A folyadék felületének csökkentéséhez energia szükséges. Az az energia, amely a folyadék felületének egységnyi növeléséhez szükséges, a felületi feszültség. A felületi feszültség az intermolekuláris erőktől függ. A viszonylag nagy intermolekuláris erővel rendelkező anyagoknak nagy a felületi feszültsége. Legfontosabb példa a víz (az erős H-hídkötések miatt).



a)



b)



c)

12. ábra: a) Víz esetén: ha az adhézió erősebb, mint a kohézió, akkor a kapillárisban felemelkedik a folyadék (például víz). Higany esetében: ha a kohézió erősebb, a folyadékszint lecsökken a kapillárisban (például higany). A víz meniszkusza konkáv, lefelé görbül, míg a higanyé konvex, vagyis felfelé görbül.

Forrás: <http://web.inc.bme.hu/csonka/csg/oktat/mmkem/kemia-1.pdf>;

b) a hajszálcsövesség szemléltetése; Forrás: <http://www.paroc.co.uk/knowhow/energy-efficiency/building-design/envelope>; c) a felületi feszültség magyarázata

Forrás: <http://www.mychemistrytutor.com/tutorials/properties-liquids-surface-tension>;

http://soft-matter.seas.harvard.edu/index.php/Surface_tensions alapján készítve; letöltés:

2014. január 10.

A felületi feszültség másik fontos hatása a kapillaris effektus. A 12. ábra: szemlélteti, hogy a víz felkúszik a kapillaris (kis átmérőjű üvegcső) falán (hajszálcsövesség 12. b ábra). A meniszkusz (mérőhengerben a folyadékok) alakja a kohéziós és adhéziós erők arányától függ.

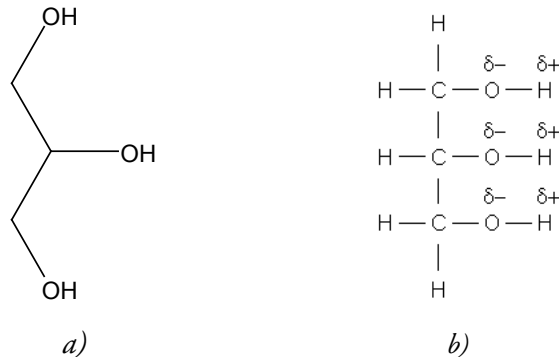
A kapillárishatás jelensége alatt két hatás érvényesül, a kohézió (intermolekuláris kölcsönhatás az azonos molekulák között) és az adhézió (a különböző molekulák közötti vonzás). Ha az adhézió nagyobb, mint a kohézió, a folyadék felfelé mozog, mint a víz esetében, ha a kohézió az erősebb, akkor lefelé mozog a folyadék, mint például a higanynál.

Összefoglalva:

- Adhéziós erőnek nevezzük a különböző anyagok részecskéi között ható erőket.
- Kohéziós erőnek nevezzük az egynemű anyagok részecskéi között ható erőket.

A viszkozitás

A viszkozitás a folyadék áramlással szembeni ellenállása. Az olaj lassabban folyik, mint a víz, mert viszkózusabb. A jelenségért a molekulák között ható kölcsönhatások a felelősek. Azok az anyagok, amelyek erős intermolekuláris erőkkel jellemezhetőek, nagyobb viszkozitásúak, mint a gyenge intermolekuláris erőkkel rendelkezők. Nevezetes példa a glicerin, amely nagyon viszkózus anyag. Szerkezete az alábbi 13. ábrán látható. Egy glicerinmolekulában három hidroxilcsoport van, amelyek hidrogénhíd kialakítására képesek.



13. ábra: A glicerin szerkezeti képlete a) a glicerin szerkezete; b) parciális töltések a glicerinmolekulában Forrás: <http://www.hferrier.co.uk/higher/unit1d/unit1d.htm> alapján; letöltés: 2014. január 10.

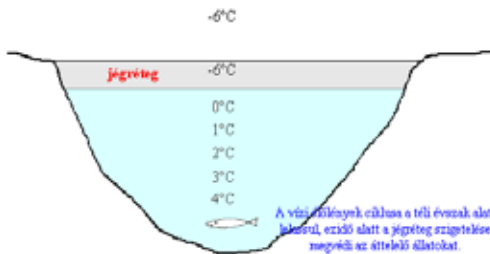
A folyadékok viszkozitása általánosságban a hőmérséklettel csökken, miután a hőmozgás növekedésével csökken a molekulákat összetartó erő. A viszkozításra hatással van még a molekulák alakja is. Hosszú, egymásba gabalyodó molekulaalak nagy viszkozitást eredményez.

Megjegyzés: lényeges megkülönböztetni a viszkozitást a sűrűségtől. Kis sűrűségű folyadékok lehetnek nagyon viszkózusak, mint a glicerin példája mutatja. A higany sűrűsége $13,6 \text{ g/cm}^3$ (vagyis 13-szor sűrűbb, mint a víz), de viszkozitása mindössze másfélszerese a vízének.

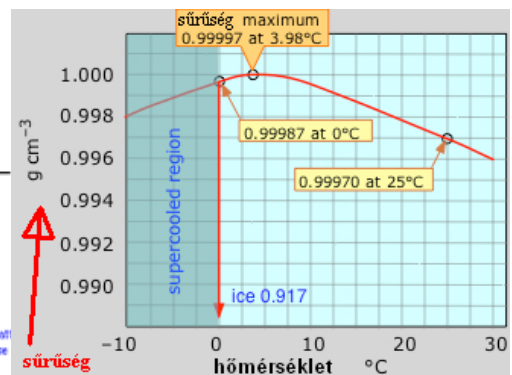
A víz szerkezete és tulajdonságai

A víz legfontosabb tulajdonságai:

- A víz nagyon sok szerves, ionos anyag kitűnő oldószere.
- Olyan vegyületeknek is jó oldószere, amelyek képesek hidrogénhid kötések kialakítására.
- Nagy a fajhője, hőkapacitása. A molekulák átlagos kinetikus energiájának növeléséhez (hőmérsékletének emeléséhez) fel kell bontani a H-hidakat, s így a víz jelentős mennyiségű hőenergiát képes elnyelni anélkül, hogy a hőmérséklete nagyon megemelkedne. Fordítva is igaz, sok hőt tud leadni úgy, hogy a hőmérséklete csak kismértékben csökken. Komoly hatása van a bioszférában, a tavak, óceánok hőmérséklet-kiegyenlítő hatásának (áramlatok).
- Anomáliának számít legkülönlegesebb tulajdonsága, miszerint a jég kisebb sűrűségű, mint a víz. A jégben levő vízmolekulában az oxigén körül tetraéderesen helyezkednek el a hidrogének, és háromdimenziós szerkezet jön létre. A vízre jellemző architektúra azért jöhet létre, mert a vízmolekula egyszerre négy H-hídkötésben tud részt venni (megegyezik a nemkötő elektrópárjainak a száma a H atomok számával). Ebben az állapotban a vízmolekulák aránylag távol vannak egymástól.



a)



b)

14. ábra: A víz sűrűségének anomáliája; a) a víz fagyásának jelentősége

Forrás: http://olc.spsd.sk.ca/de/physics20/heat/expansion_water.htm;

b) a víz sűrűségének és hőmérsékletének függvénye; Forrás: http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Physical_Properties_of_Matter/Bulk_Properties/Density_alapján;

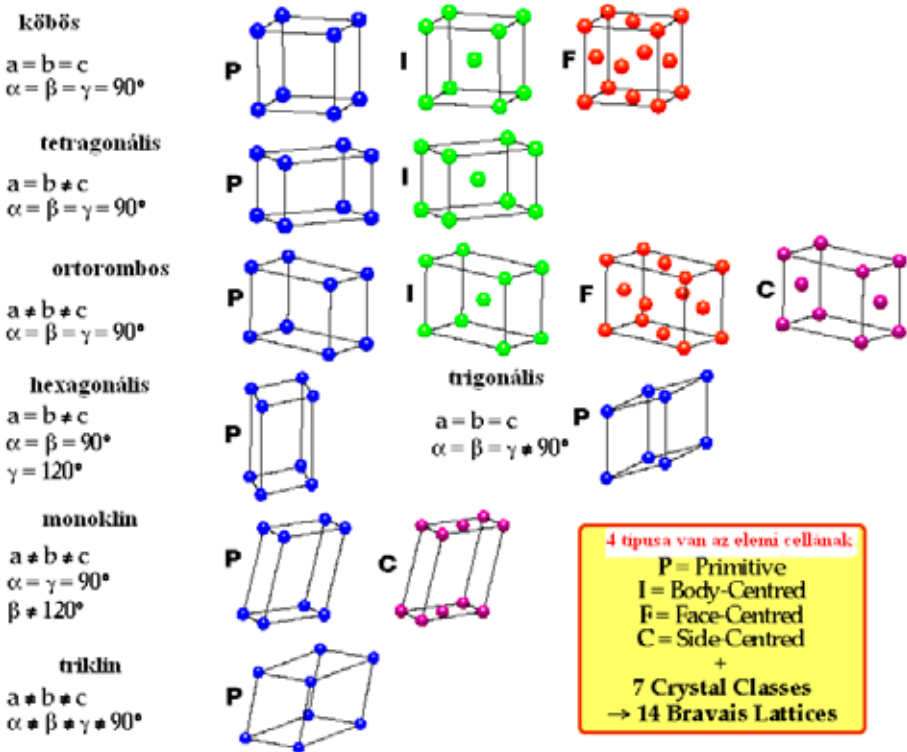
letöltés: 2014. január 10.

Az olvadáskor a háromdimenziós szerkezet többé-kevésbé érintetlen marad, ezért aránylag kevés molekula tud elszakadni a H-hídkötésekből. A hőmérséklet emelkedésével kiterjed a víz térfogata, ami a sűrűség csökkenését idézi elő. 0 °C-tól 4 °C-ig a molekulák bezáródnak a

szerkezetbe, és a víz sűrűsége nő, 4 °C felett a hótágulás uralkodik, és csökken a víz sűrűsége. A víz e fontos tulajdonságának köszönhetően nem fagynak be télen a tavak teljesen fenéig, ami lehetővé teszi a vízi élőlények áttelelését (14. ábra).

3.3 A szilárd halmazállapot

A kristályokban szigorú, hosszú távú rendezettség dominál, és az atomok, molekulák, ionok konkrét helyet foglalnak el.



15. ábra: A hét kristályrendszer elemi cellájának alakja

a.: Egyszerű köbös; $a=b=c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

c.: Ortorombos; $a\neq b\neq c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

e.: Monoklin; $a\neq b\neq c$; $\alpha=\gamma=90^\circ$ $\beta\neq 90^\circ$

g.: Hexagonális; $a=b\neq c$; $\alpha=\beta=90^\circ$ $\gamma=120^\circ$

b.: Tetragonális; $a=b\neq c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

d.: Romboéderez; $a=b=c$; $\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$

f.: Triklin; $a\neq b\neq c$; $\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90^\circ$

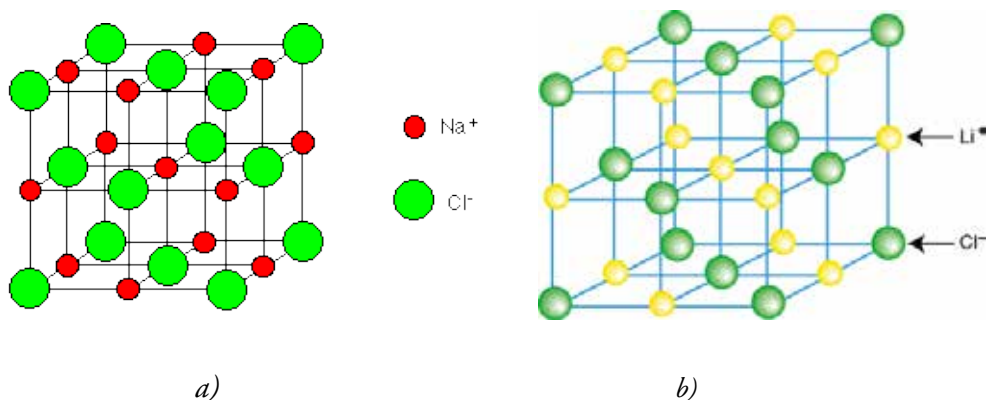
Forrás: <http://home.iitk.ac.in/~sangals/crystosim/crystalut.html> alapján; letöltés: 2014. február 03.

Ezek középpontja a rácspont, amelyek meghatározott geometriai rendezettsége a rács-szerkezetet. Az elemi cella a rácspontok elrendeződésének legkisebb ismétlődő egysége. Az elemi cella alapján a kristályok hét kristályrendszerbe sorolhatók, ezek a 15. ábrán láthatók. A koordinációs szám a konkrét rácspontot közvetlenül körülvevő rácspontok száma a kristályrácsban. A térkitöltési határfok a cellatér fogat azon része, amit a részecskék elfoglalnak, és amely meghatározza a kristály sűrűségét.

3.3.1 Ionos kristályok

Az ionos kristályok többnyire meglehetősen eltérő méretű kationokból és anionokból állnak. Az ionátmérők ismeretében levezethető a kristályok szerkezete és így stabilitása. Különálló ionok átmérője pedig nem mérhető, mivel önmagukban nem fordulnak elő. Továbbá az ionátmérő más és más lehet a különböző vegyületekben (kristályokban). Ez okból az ionátmérőkre csak egy átlagos, közelítő érték adható meg.

A legismertebb ionos vegyület a nátrium-klorid, hétköznapi nevén a konyhasó. Kristály-szerkezetének felépülése: a nagyméretű kloridionok lapon centrált köbös rácsot alkotnak, az összes él felezőpontjában és a kocka közepén azonban egy-egy nátriumion helyezkedik el. Így tehát a nátriumionok is lapon centrált köbös rácsot képeznek (16. ábra).



16. ábra: Példa ionos kristályokra; a) nátrium-klorid szerkezete;

Forrás: <http://www.chemguide.co.uk/atoms/structures/ionicstruct.html>;

b) lítium-klorid struktúrája

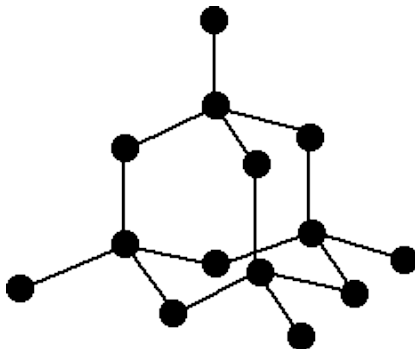
Forrás: <http://www.sparknotes.com/chemistry/bonding/ionic/section1.rhtml> alapján; letöltés: 2014. február 03.

3.3.2 Kovalens kristályok

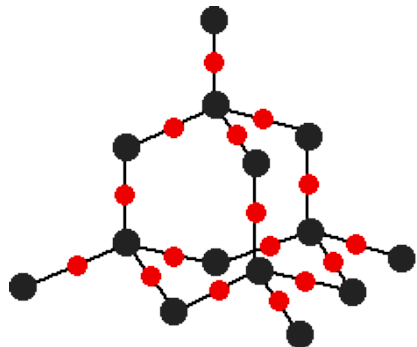
Az atomokat kovalens kötések rögzítik, terjedelmes háromdimenziós hálózatban. A kovalens kristályok nevezetes képviselője a szén két allotróp módosulata, a gyémánt (olvadáspont: 3550 °C) és a grafit. A gyémántban szerkezetében a szénatomok tetraéderesen kapcsolódik 4 másik atomhoz. A legkeményebb ismert anyag (17. ábra).

A grafitban a szénatomok hatos gyűrűt alkotnak, sp^2 hibridállapotban. A fennmaradt nem hibridizált 2 p orbitál a p kötésben vesz részt. Miután a nem hibridizált 2 p orbitál elektronjai kötetlenek, szabadon tudnak mozogni, ebben a kiterjedten delokalizált molekulapályán, így a grafit meglehetősen jó elektromos vezető. A hatos gyűrű által határolt rétegeket gyenge van der Waals-erők tartják össze. A grafit szilárdságát a kovalens kötés adja, viszont mivel a rétegek könnyen elcsúsznak (aszimmetria) egymáson, ezért a grafit még kenőanyagnak is használható (ellenben az ugyanúgy szénatomok által felépülő gyémánt szerkezetével).

Egy további gyakori példa a kovalens kristályok szemléltetésére a SiO_2 , a kvarc. A Si–O kötés a gyémánttól eltérően poláris, a kvarc fizikai tulajdonságai viszont hasonlóak a gyémántéhoz (olvadáspontja: 1610 °C; keménysége: 7, míg a gyémánté 10).



a) gyémánt (fekete kör a szénatomot jelöli)



b) szilícium-dioxid (fekete kör szilícium, piros kör oxigén)

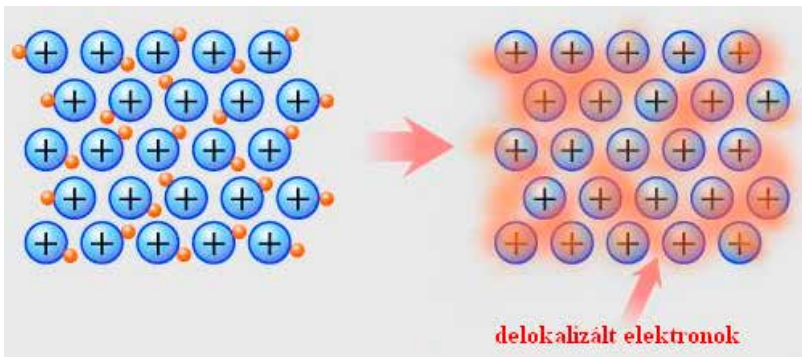
17. ábra: Példa kovalens kristályok szerkezetére; a) gyémánt szerkezete; b) szilícium-dioxid (kvarc) struktúrája Forrás: <http://www.chemguide.co.uk/atoms/structures/giantcov.html> alapján; letöltés: 2014. február 03.

3.3.3 Molekulakristályok

A rácspontjaiban molekulák találhatóak, amelyek között az összetartó erő van der Waals és/vagy H-hídkötés. Jellemző példa a CO_2 , a jég, a I_2 , a P_4 és a S_8 . A jég kivételével szoros illeszkedésűek, de ez méretük és alakjuk függvénye. A másodlagos összetartó erők miatt alacsony az olvadáspontjuk (100 °C alatt).

3.3.4 Fémek kristályok

A fémek kristályok szerkezete viszonylag egyszerűen megfogalmazható, ugyanazon atom található minden rácspontban. Leginkább térben centrált köbös, lapon centrált köbös vagy hexagonális illeszkedésű rácsot alkotnak. Ezeknél a rács típusoknál a térkitöltési hatások nagyfokú, ezért a fémek általában nagy sűrűségűek (könnyű- és nehézfémek megkülönböztetése a sűrűség alapján). Ez a kristályszerkezet abban különbözik a többitől, hogy itt a kötőelektronok az egész kristályra kiterjedten delokalizáltak (18. ábra).



18. ábra: Példa fémek kristály szerkezetére

Forrás: <http://www.wwk.in/index.php/physics/electricity-and-magnetism/conductors-capacitors-and-dielectrics> alapján; letöltés: 2014. február 03.

3.3.5 Amorf anyagok

A nem kristályos szerkezetű szilárd anyagokat amorf anyagoknak nevezzük. Struktúrájukban nem található meg olyan hosszú távú, térben kiterjedt rendezettség, mint a kristályokban. Jelentősen rövidebb távolságban található bizonyos fokú rendezettség.

Az amorf anyagok legfontosabb képviselője az üveg. Jelentős szerepe van már több ezer év óta, előállításával már időszámításunk előtt is próbálkoztak. Az üveg szeretlen anyagok lehűlése után kialakuló, nem kristályos, átlátszó produktum. Bizonyos szempontból inkább a folyadékokhoz hasonlít, mint a szilárd anyagokhoz. Napjainkban többszáz-fajta különböző üveget állítanak elő és használnak az élet jó néhány területén. A színes üveg színét fém-oxidok formájában jelenlévő fémionok okozzák. Például a zöld üveg Fe(III)oxidot tartalmaz.

A különböző rácstípusok jellemzőinek összefoglalása a 9. táblázatban tanulmányozható.

	Molekularács	Atomrács	Fémrács	Ionrács
Rácspontokban levő részecskék	molekulák	atomok	fématomtörzsek	kationok és anionok
Rácsösszetartó erő	másodrendű kötőerők	kovalens kötés	fémes kötés	ionkötés
Olvadáspont és forráspont	alacsony (a másodrendű kötések miatt)	magas (a kovalens kötések miatt)	különböző értékek (a változó erősségű fémes kötés miatt)	magas (az ionkötés miatt)
Halmazállapot (szobahőmérsékleten, és légköri nyomáson)	mindhárom halmazállapot előfordul (a molekula méretétől és kötés típusától függően)	szilárd	szilárd (a higany kivételével)	szilárd
Elektromos vezetőképesség	szigetelő	szigetelő vagy félvezető	jó vezetőképesség	szilárd állapotban szigetelő; olvadék vagy oldat állapotában vezető
Jellemző anyagok	szacharóz, jód, víz	gyémánt, szilícium, kvarc	vas, alumínium, nátrium	nátrium-klorid, magnézium-oxid, nátrium-jodid

9. táblázat: A különböző rácstípusok jellemzőinek rövid összefoglalása

Forrás: https://www.mozaweb.hu/Lecke-Kemia-Kemia_9-Osszefoglalas_II-100613 alapján készítve; letöltés: 2014. február 03.

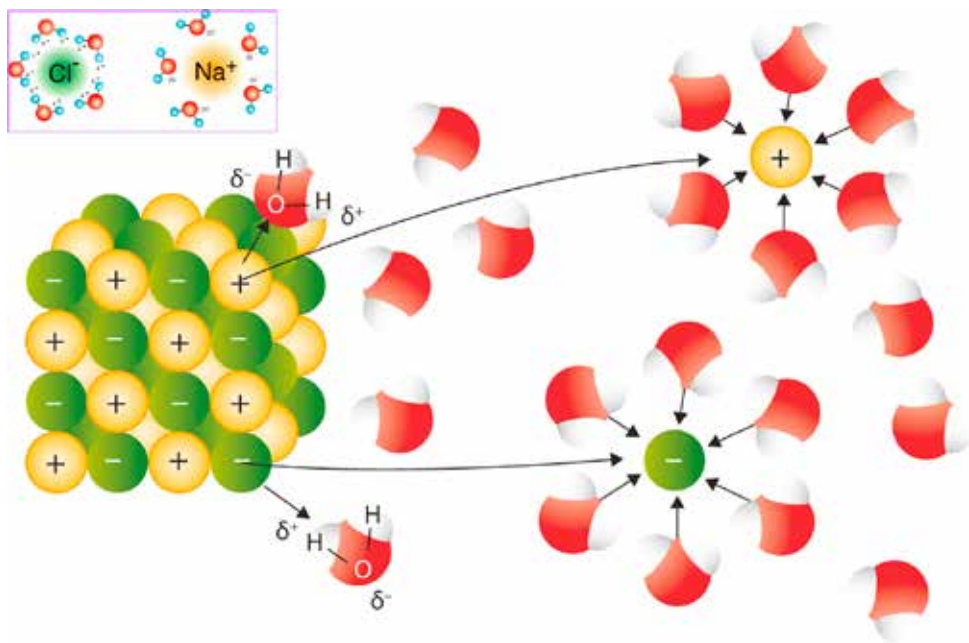
3.3.6 Az oldódási folyamat molekuláris szinten

Az oldódás folyamatában szintén jelentős szerepe van az intermolekuláris erőeknek. Az íratlan törvény, a vegyészek között, a laboratóriumokban is gyakran emlegetett: a „hasonló a hasonlóban oldódik” szabály is, amelynek alapja az intermolekuláris erők tevékenykedése az oldódási folyamat során. Amikor egy anyag (az oldandó anyag) oldódik az oldószerben, a molekulái törekednek arra, hogy egyenletesen jelenjenek meg az oldószer molekulák között. Az oldandó anyag alkotóelemei az oldószer molekulák helyére kerülnek. A folyamat az oldódás közben fellépő, alábbi három kölcsönhatás relatív erősségétől függ:

1. oldószer-oldószer,
2. oldószer-oldott anyag és
3. oldott anyag-oldott anyag kölcsönhatások.

Oldódáskor az 1. és 3. lépés alapján a molekulák egymáshoz való kötődésének meg kell szűnnie, vagyis ezek a lépések biztosan energia-befektetést igényelnek. A 2. kölcsönhatás megvalósulásánál energia szabadulhat fel vagy nyelődhet el, az egymással kapcsolatba kerülő anyagok minőségétől (tulajdonságaitól) függően. Az oldáskor felszabaduló vagy elnyelődő hő a három részfolyamat energiaszükségletének eredménye.

Ha a 2. részfolyamat kölcsönhatása folyamán energia szabadul fel, és ez nagyobb, mint az 1. és 3. kölcsönhatás során elnyelődő energia, akkor az oldódás hőfejlődéssel járó folyamat. Ellenkező esetben az oldat lehűl, hőt nyel el a környezetből (19. ábra)



19. ábra: Nátrium-klorid vízben való oldódása

Forrás: http://catalog.flatworldknowledge.com/bookhub/reader/2547?e=gob-ch09_s03# és

http://www.grandinetti.org/Teaching/Chem121/Lectures/SolutionChemistry_alapján;

letöltés: 2014. február 03.

Folyadék-folyadék oldatok (elegyek)

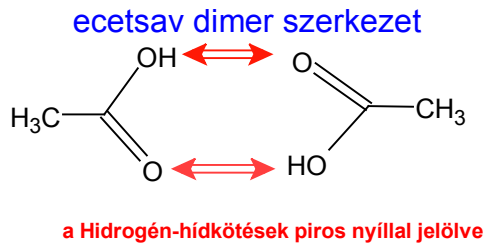
Az apoláris folyadékok jó oldószere szintén apoláris (például szén-tetraklorid és kloroform, vagy benzol és toluol). Oldódásuk könnyen végbemegy, mivel gyenge diszperziós (London-) kölcsönhatás jellemzi az említett vegyületeket. A szén-tetraklorid és a kloroform (illetve a benzol és toluol) molekulák közötti kapcsolat (kölcsönhatás) arányos (megegyező nagyságú) a szén-tetraklorid és a kloroform azonos molekulák közötti kapcsolatával (illetve a benzol és

toluol). A minden arányban (koncentrációban) elegyedő (oldódó) folyadékokat korlátlanul elegyedőeknek nevezzük.

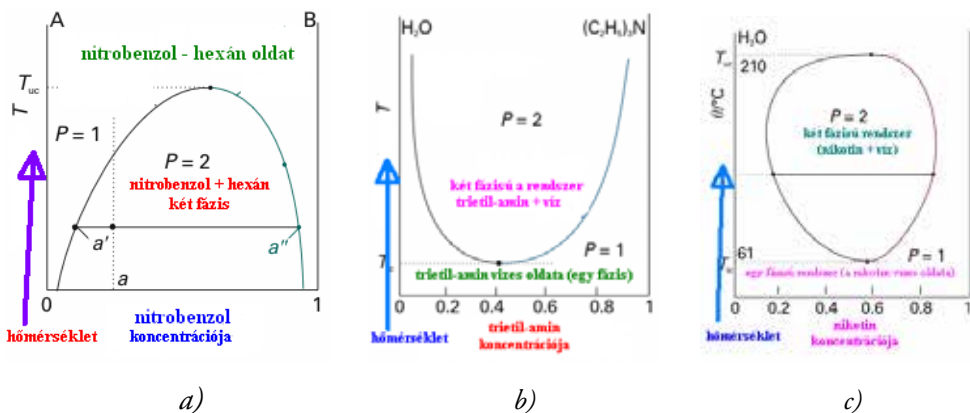
A benzol és a víz között a dipólusmindukált dipólus kölcsönhatás jelentősen kisebb, mint a víz H-hídkötése, ezért a két folyadék oldódása egymásban energetikailag akadályozott folyamat. Az ilyen elegyeket rosszul elegyedő folyadékoknak hívjuk (megjegyzendő, hogy a benzol csekély mennyisége a vízben elegendő, káros hatásának kifejtéséhez). Amennyiben a benzolt vízzel elegyítjük, két fázist kapunk:

- benzol nagyon kevés oldott vízzel és
- víz nagyon kevés oldott benzollal.

A hasonló a hasonlóban elv nem mindig teljesülő törvényszerűség, vannak kivételek. Nevezetesen az ecetsav vízben nagyon jól oldódik, mivel H-hídkötéseket képes létrehozni a víz molekuláival. Viszont szén-tetrakloridban és benzolban is jól oldódik. A magyarázat a következő: az előbb említett apoláris oldószerekben ugyanis az ecetsav dimert képez (20. ábra), amely egy szimmetrikus, átmeneti és ráadásul apoláris struktúra. Így a dimereket felépítő, a benzol vagy szén-tetraklorid molekulái között főleg a diszperziós kölcsönhatásérok dominál.



20. ábra: Az ecetsav molekula dimer szerkezete apoláris oldószerben; Forrás: saját készítésű ábra



21. ábra: Alsó (a), felső (b) és alsó-felső kritikus (c) elegyési hőmérséklet, folyadék-folyadék elegyedésekor, Forrás: https://www.chem.queensu.ca/people/faculty/Mombourquette/Chem221/7_PhaseDiagrams/LiqLiq.asp alapján készítve; letöltés: 2014. február 03.

A folyadékok elegyedését a hőmérséklet befolyásolja, léteznek alsó, felső és alsó-felső kritikus elegyedési hőmérséklettel jellemezhető oldatok (21. ábra).

Folyadék-szilárd oldatok

Ionos kristályok

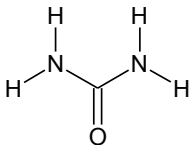
Az ionokat az oldatban hidrátburok stabilizálja, amely ion-dipólus kölcsönhatásnak köszönhetően alakul ki (19. ábra). Az ionos vegyületek sokszorosan jobban oldódnak poláris oldószerekben (például víz, szerves savak, cseppfolyós ammónia), mint apolárisban, mivel utóbbiaknak nincs (vagy csekély) a dipólusmomentuma.

Kovalens kristályok

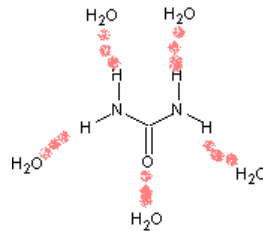
Nagy általánosságban sem apoláris, sem poláris oldószerben nem oldódnak (gyémánt, szilícium-dioxid, fizikai oldószerük nincs).

Molekulakristályok

A molekulák között leginkább gyenge diszperziós, dipól-dipól erők vagy H-hidak hatnak. Jó példa a szénhidrogének csoportjából a hexán molekula, amelyeket csak gyenge diszperzió (London-) erők tartanak össze. Következésképpen tudható, hogy a hexán apoláris oldószerekben oldódik jól, például a benzolban. Vízben nagyon rosszul oldódik. Ezzel szemben a karbamid (22. ábra) jobban oldódik vízben és etanolban, mint apoláris oldószerekben, mert H-hídkötéseket tud vízmolekulával kialakítani.



a karbamid szerkezete



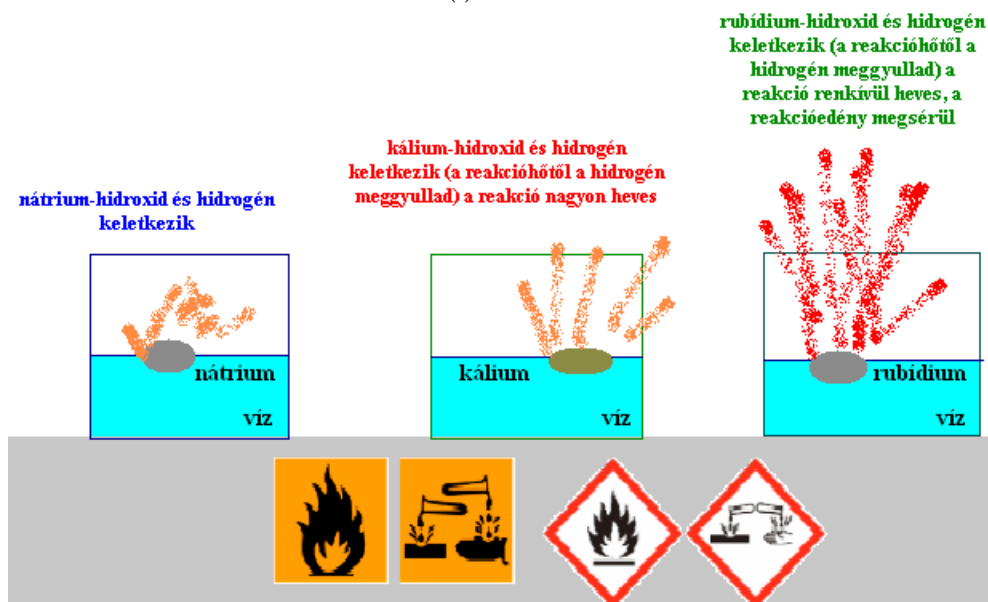
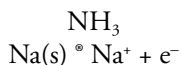
a karbamid vizes oldatban H-hídkötéseket hoz létre (piros színnel jelölve)

22. ábra: A karbamid oldódása vízben; Forrás: saját készítésű ábra

Fémes kristályok

Nagy általánosságban nem oldhatók sem apoláris, sem poláris oldószerben. Vagyis fizikai oldószerük nincs, az oldódási folyamat kémiai reakció és általában oxidálódnak fémionokká.

Jellegzetes példa az alkálifémek heves (esetenként robbanásra is képes) reagálása a vízzel. A víz oxidálja őket, miközben maga redukálódik, és H_2 gáz fejlődik (23. ábra). Az alkálifémek cseppfolyós ammóniában kék színnel oldódnak szolvatált elektronok (egy oldatban lévő szabad elektron) képződése közben.



23. ábra: Alkálifémek reakciója a vízzel, a lítium, nátrium, rubidium, cézium sorban növekszik a reakció hevessége; Forrás: saját készítésű ábra

Koncentrációegységek

Az oldatok összehasonlításához, hatóanyag-tartalmuk pontos ismeretéhez nélkülözhetetlen ismernünk a leggyakrabban használt koncentráció-egységeket (10. táblázat).

koncentráció megnevezése	koncentráció kiszámítása	jelölése
tömegszázalék	$\text{oldott anyag tömege [g]} \cdot 100$	m/m%; tömeg%
	100 g oldat	
térfogatszázalék	$\text{oldott anyag térfogata [cm}^3\text{]} \cdot 100$	V/V%; térfogat%
	100 cm ³ oldat	
vegyesszázalék	$\text{oldott anyag tömege [g]} \cdot 100$	vegyes%
	oldat térfogata [cm ³]	
tömegtört	$\text{oldott anyag tömege [g]}$	w
	100 g oldat	
mólszázalék	$\text{oldott anyag moljainak száma} \cdot 100$	n/n%
	oldat moljainak száma	
móltört	$\text{oldott anyag moljainak száma}$	x
	oldat moljainak száma	
koncentráció, molaritás	$\text{oldott anyag moljainak száma}$	c
	1000 cm ³ oldat	
molalitás, Raoult-koncentráció	$\text{oldott anyag moljainak száma}$	c _R
	1000 g oldószer	

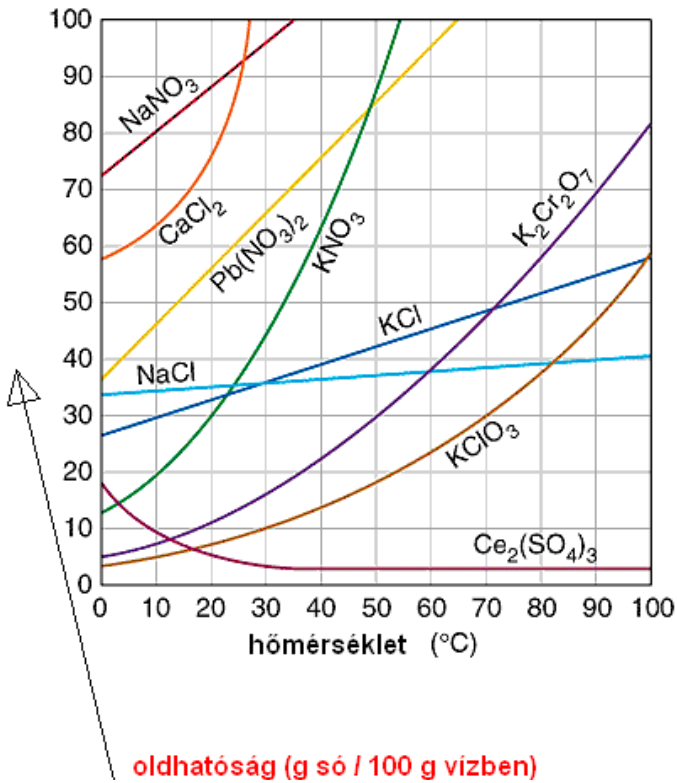
10. táblázat: Gyakrabban használt koncentrációk rövid összefoglalása; Forrás: saját készítésű táblázat

A szilárd anyagok oldhatóságának hőmérsékletfüggése

Az oldhatóság: adott hőmérsékleten meghatározott mennyiségű oldószerben mennyi anyag oldódik maximálisan. Mértékegysége g oldott anyag/100 g oldószer. Az oldhatóság alapján az anyagokat három csoportba sorolhatjuk:

- oldható,
- gyengén oldható,
- oldhatatlan anyagokra.

Adott hőmérsékleten meghatározott mennyiségű oldószerben, maximális mennyiségű anyag feloldásakor beszélünk a **telített** oldatról. Ha a maximális mennyiségnél kevesebb anyagot oldottunk fel, **telítetlen** az oldat. A telített oldatban dinamikus egyensúly alakul ki egy bizonyos idő elteltével. Telített oldatot úgy készítsünk, hogy feleslegben adjuk az oldandó anyagot. Az oldhatóság függ a hőmérséklettől, általában nő a hőmérséklettel, de előfordul fordított függvény is. Néhány ionos vegyület oldhatóságának hőmérsékletfüggését mutatja a 24. ábra.



24. ábra: Néhány ionos vegyület vízben való oldhatóságának hőmérsékletfüggése. Forrás: <http://hrsbstaff.ednet.ns.ca/sweetap/Solutionsnotes.html> alapján letöltés: 2014. február 03.

Kétséget kizáró reláció nem bizonyítható az oldáshő előjele és az oldhatóság hőmérsékletfüggése között. Példaként megemlítendő, hogy a kalcium-klorid oldódása exoterm, a kálium-nitráté pedig endoterm, ennek ellenére az oldhatóságok értéke nő a hőmérséklet növekedésével, mint a 24. ábrán is szemléltetésre került. A hőmérsékletfüggést minden esetben kísérleti úton szükséges meghatározni.

Gázok oldhatóságának hőmérsékletfüggése

A szilárd anyagok jelentős részével ellentétben a gázok oldhatósága csökken a hőmérséklettel. Hétköznapi példaként megemlíthető a víz forralásakor tapasztalható jelenség, amikor először a levegőbuborékok távoznak.

A vízben oldott oxigén (molekuláris) oldhatóságának csökkenése az élővizet segédanyagként (hűtőközeg) felhasználó erőművek gyakran 1-2 °C-kal melegebb vizet engednek vissza a környezetbe, amely befolyásolhatja a vízi ökoszisztémák tevékenységét. E probléma

megoldására a felhasznált víz átmenetileg egy puffer medencébe kerül, és a megfelelő idő elteltével vezetik vissza a környezetbe, a megfelelő hőmérsékletű vizet.

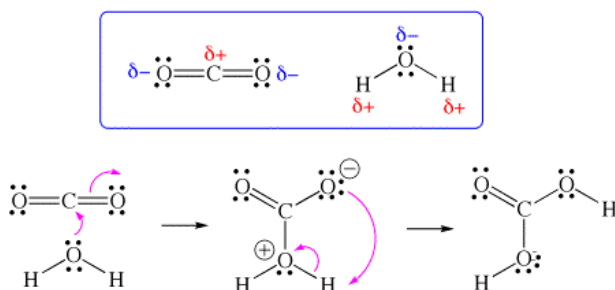
Nyomás hatása a gázok oldhatóságára

A gázok oldhatóságát a nyomás nagymértékben befolyásolja. Erre vonatkozik Henry törvénye:

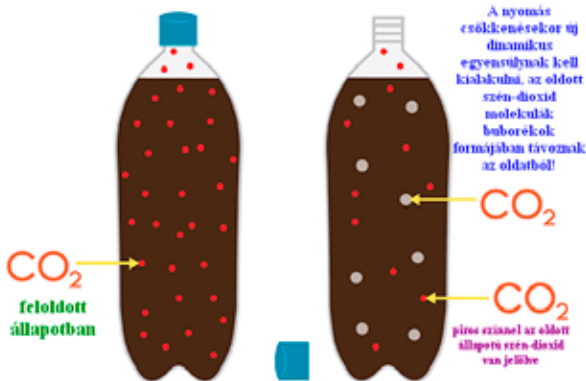
$$c = k \cdot p,$$

azaz a gázok oldhatósága egyenesen arányos a gáznak az oldat felszíne felett mért parciális nyomásával, k a hőmérséklet függvénye (hőmérséklettől és a gáz anyagi minőségétől függő állandó), mértékegysége [mol/dm³×atm].

Abban az esetben jelentős különbség tapasztalható a Henry-törvénytől, amikor a gázmolekula kémiai reakcióba is lép az oldószerrel (25. ábra).



a) A szén-dioxid reakcióba lép a vízzel. A szénatom elektronban szegény, 4-es oxidációs állapotban van. A víz elektronban gazdag oxigénatomja egy elektront párt bocsát a szénatom rendelkezésére. Szénsav keletkezik.



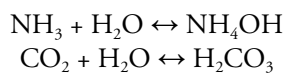
b) A Henry-törvénynek megfelelően a lezárt palackban a légköritől nagyobb nyomáson a szén-dioxid oldódik a vízben. Amikor kinyitjuk a palackot, csökken a nyomás, és új dinamikus egyensúly alakul ki, amelynek megfelelően kevesebb mennyiségű szén-dioxid marad oldatban, így teljesül a Henry-törvényben bizonyított összefüggés.

© Science Media Group

25. ábra: A szén-dioxid és a víz reakciójának magyarázata (a) és egy hétköznapi példa (b)

Forrás: <http://butane.chem.uiuc.edu/pshapley/GenChem1/L23/3.html> és <http://www.learner.org/courses/chemistry/text/text.html?dis=U&num=Ym5WdElUQS9PU289&sec=YzJWaklUQS9OeW89> alapján; letöltés: 2014. február 03.

Például:



Az oxigén a vérben a hemoglobinhoz kötődik (reverzibilisen), ezért jóval nagyobb a koncentrációja (a vérben), mint parciális nyomása alapján számított. Vízben az oxigén oldhatósága csekély $2,9 \cdot 10^{-4}$ mol/dm³ 24 °C-on.

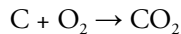
4. KÉMIAI REAKCIÓK [3, 4, 5, 6, 7]

A kémiai folyamatok során az anyagok kémiai minősége változik meg, új anyagok keletkeznek. Az elemek vagy vegyületek (atomok vagy molekulák) reagálnak egymással, a vegyületekben levő kötések felbomlanak és/vagy átrendeződnek, így új anyagok jönnek létre.

A kémiai változást **kémiai reakciónak** nevezzük. A két alapvető természeti törvény, a tömegmegmaradás és az energia-megmaradás törvénye érvényesül minden kémiai folyamat során.

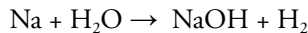
4.1 A kémiai reakciók tömegviszonyai

A kémiai folyamatok leírására **reakcióegyenleteket** használunk. A szén égésének egyenlete:

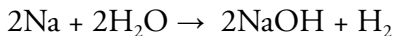


A + jellel különítjük el a reagáló anyagokat a bal oldalon, a nyíl pedig mutatja a jobb oldalon keletkezett termékeket. A tömegmegmaradás törvényének, az egyik fő vezérlvnek érvényesüléséhez az egyenletet rendezni kell, vagyis a helyes együtthatókkal ellátni a reaktánsokat és a termékeket, és úgynevezett sztöchiometriai együtthatókat kell írni a képletek elé.

Ennél az egyenletnél nem kell külön rendezést végezni (mivel az 1-es együtthatót külön nem szükséges jelölni), de például a nátrium és a víz reakciója során, már rendeznünk kell az egyenletet:



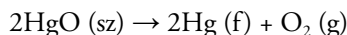
Az egyenlet bal és jobb oldalán ugyanannyi nátrium-, hidrogén- és oxigénatomnak kell szerepelnie a tömegmegmaradás teljesüléséhez. Első összeszámolásnál látható, hogy a jobb oldalon több hidrogén található.



Rendezve az egyenletet teljesül a tömegmegmaradás törvénye.

A reakcióegyenlet nem közvetít arról információt arról, hogy milyen összetételű anyagkeverékből indultunk ki, és hogy egyáltalán lejátszódik-e a reakció. A létező, ténylegesen lejátszódó folyamatokat leíró egyenleteket csak alapos kémiai ismeretekkel rendelkező szakember képes levezetni.

Esetenként, a reakcióban résztvevő anyagok fizikai állapotát is jelölik az egyenletekben. Jelölések a következők (g) a gázállapot, (f), a folyadék, (sz), a szilárd halmazállapot és (aq) a vízben oldott állapot jelölésére alkalmazott szimbólum. Egy példa a higany-oxid hevítése:



Egy további példa az ecetsav disszociációja, vizes közegben acetát ionokra és protonokra esik szét az ecetsav molekula:



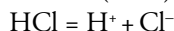
Amikor az oda- és a visszaalakulások száma megegyezik, akkor kialakult az egyensúly, a disszociációs egyensúly, ez az állapotot a **kémiai egyensúly**. A kémiai reakció ekkor mindkét irányban végbemegy, a ° jel helyett a ° jelet használjuk. Ez azt jelenti, hogy a reakció megfordítható, reverzibilis. Egyensúlyban ugyanannyi molekula disszociál, mint ahány képződik (visszaalakul).

4.2 Savak és bázisok

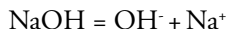
A sav-bázis reakciók a biológiai és kémiai rendszerekben lezajló legfontosabb folyamatok.

Arrhenius savak és bázisok

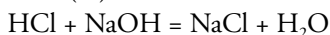
Az első próbálkozás a savak és bázisok pontos megfogalmazására Arrhenius (svéd fizikai kémikus) nevéhez fűződik. Arrhenius a savakat úgy értelmezte, hogy ezek az anyagok vizes oldatokban a protonkoncentrációt, amíg a bázisok a hidroxidion-koncentrációt növelik. A hidrogén-klorid savmolekula vizes oldatban (sósav) protonra és kloridionra disszociál:



A nátrium-hidroxid egy bázismolekula a fenti elmélet alapján, vizes közegben a következőképpen esik ionjaira:



Az Arrhenius-féle sav-bázis reakcióban só és víz képződik. A hidrogén-klorid és a nátrium-hidroxid reakciójakor nátrium-klorid (só) és víz keletkezik:



Arrhenius definíciója csak vizes közegben értelmezte a savak és bázisok fogalmát.

Brönsted savak és bázisok

1932-ben Brönsted (dán fizikai kémikus) papírra vetette a savak és bázisok ma is érvényben levő fogalmát. Az elmélet szerint a savak protondonorok, vagyis proton tudnak átadni, a bázisok pedig proton akceptorok, magyarán proton felvételére képesek.

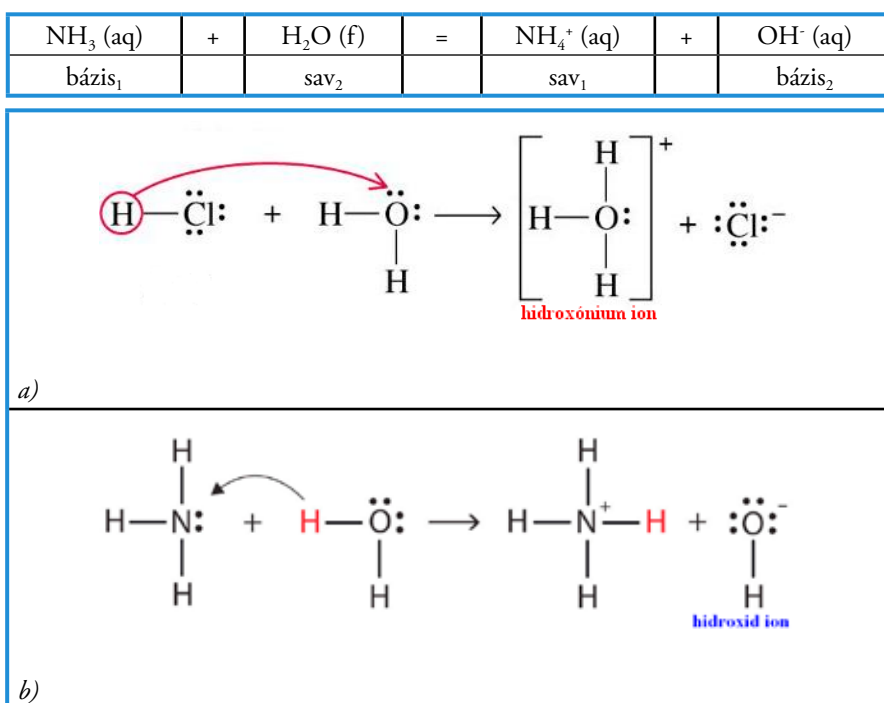
Konjugált sav-bázis párok

Brönsted elméletének kiterjesztése a konjugált sav-bázis pár fogalma. Nevezetes példa:

HCl (aq)	+	H ₂ O (f)	=	Cl ⁻ (aq)	+	H ₃ O ⁺ (aq)
sav ₁		bázis ₂		bázis ₁		sav ₂

A proton leadásával a sav (HCl) bázissá (Cl⁻) változik át, mivel proton felvételére képes. A keletkező bázist a sav konjugált bázisának nevezzük. Ugyanígy a sav-bázis reakció folyamán a bázis savvá alakul a proton felvételével (H₃O⁺), így ugyanis már proton leadására képes. Az így keletkező savat pedig a bázis konjugált savának nevezzük.

A Brönsted-elmélet alapján (26. ábra) a reakcióban nem képződik só és víz. Vagyis a nátrium-hidroxid nem Brönsted-bázis, mivel nem képes protont felvenni. A nátrium-hidroxid viszont erős elektrolit, így a vízben teljesen disszociál, és a képződött OH⁻-ion már képes protonfelvételre egy savtól. A Brönsted-tézis szerint az ammóniát bázisként definiálhatjuk, mert protont képes felvenni. Ebben az esetben az ammónium ion az ammónia konjugált savpárja, a hidroxidion azonban a víz konjugált bázispárja.



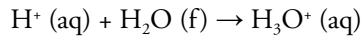
26. ábra: A Brönsted elmélet bemutatása (a) savmolekula és (b) bázismolekula disszociációjának levezetésével

Forrás: a) <http://chemistry.tutorvista.com/inorganic-chemistry/arrhenius-theory.html>;

b) http://lawrencekok.blogspot.hu/2011/05/lib-chemistry-on-acids-and-bases_08.html alapján; letöltés: 2014. február 03.

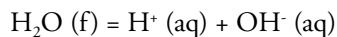
A hidratált proton

A proton vizes oldatban hidratált formában van jelen, a proton kis mérete miatt kapcsolódik a vízmolekulához létrehozva ezzel a hidroxónium iont:

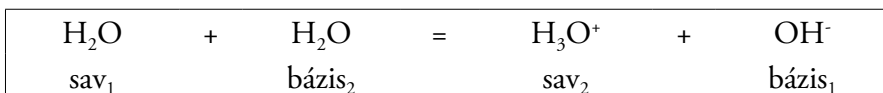


A víz öndisszociációja és a pH-skála

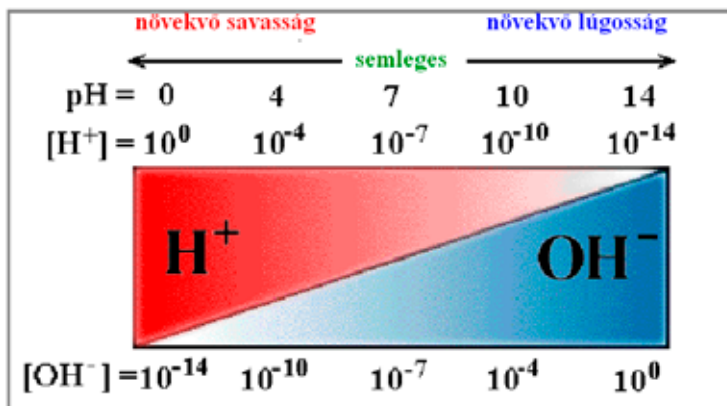
A víz különleges tulajdonságokkal rendelkezik, többek között képes savként és bázisként is viselkedni, attól függően, hogy bázisokkal vagy savakkal reagál, ezt **amfoter** tulajdonságnak nevezzük. Emellett a víz autodisszociációra (öndisszociációra) is képes, vagyis a víz saját magában kis mértékben ugyan, de disszociál:



A Brönsted-elmélet alapján:



A víz öndisszociációja rendkívül kis mértékben megy csak végbe, így a tiszta víz nagyon gyenge elektrolit, és rossz az elektromos vezetőképessége. (A csapvíz tartalmaz oldott ionokat, ezért jól vezeti az elektromosságot.) Miután a H^+ és OH^- ionok koncentrációja többnyire nagyon kis szám, így nehéz a pontos számolás. 1909-ben Soren Sorensen (dán kémikus) kezdeményezte a pH fogalmát (27. ábra). $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$



27. ábra: A pH értelmezése

Forrás: http://www.utdallas.edu/~brikowi/Teaching/Field_Methods/WaterQuality_Background.html alapján; letöltés: 2014. február 03.

Szavakkal a pH a hidrogénion-koncentráció (mol/dm^3) 10-es alapú negatív logaritmus. A különbözős kémhatások $25\text{ }^\circ\text{C}$ -on:

Savas oldatok: $[\text{H}^+] > 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$, $\text{pH} < 7,00$

Bázikus oldatok: $[\text{H}^+] < 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$, $\text{pH} > 7,00$

Semleges oldatok: $[\text{H}^+] = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$, $\text{pH} = 7,00$

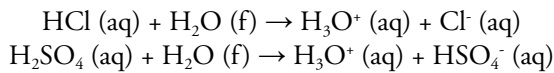
A gyakorlati életben a pH meghatározására mérőműszereket vagy indikátorokat (papír vagy oldat formájában) használnak.

Savak és bázisok erőssége

A savak (anyag minőségüktől függően) vizes oldataikban disszociálnak. A sav erőssége a disszociációfokkal számszerűsíthető, amely azt jelenti, hogy egyensúlyban a molekulák mekkora része esik szét ionokra (disszociál).

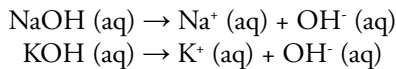
$$\text{disszociációfok} = \frac{\text{disszociált sav koncentrációja}}{\text{a sav kiindulási koncentrációja}}$$

Az erős savak erős elektrolitok és (nagyon tömény oldataik kivételével) jóformán teljes mértékben disszociálnak a vízben. Például sósav (HCl), kénsav (H_2SO_4),



Többféle savmolekula nem teljesen disszociál, mert gyenge sav.

Ez természetesen a bázisokra (lúgokra) is igaz. A bázis erősségét meghatározza, hogy milyen mértékben képes protont átvenni egy savtól, amely általában az oldószer. Az alkálifémek és alkáliföldfémek hidroxidjai – mint a NaOH , KOH – erős bázisok, amelyek vízben teljes mértékben disszociálnak.



Pufferek

A pufferoldatok gyenge savból vagy gyenge bázisból és annak erős bázissal vagy savval alkotott sójából álló oldatok. A meglepő tulajdonsága, hogy nem vagy csak kis mértékben változik a pH-értékük, amikor kis mennyiségű savat vagy lúgot adunk a rendszerhez.

A pufferek jelentőségteljes szerepet játszanak a kémiai és biológiai folyamatokban. Például az egyik legfontosabb példa a vér esetében, csak $\text{pH}=7,35\text{--}7,45$ értéken tud oxigént szállítani. Ha a pH-értéke csak néhány tizeddel megváltozik, már nem tudná megfelelő hatékonysággal szállítani az oxigént. Tehát a vér is puffer, pontosabban bikarbonát puffer, amely a szénsavból és a nátrium-hidrogén-karbonátból áll.

5. A PERIÓDUSOS RENDSZER [3, 4, 5, 6, 7]

Az 1800-as évek második felére, a felfedezett kémiai elemek száma olyan mértékben megemelkedett, hogy szükségessé vált egy rendszer bevezetésére. Tulajdonképpen a csoportokba rendezés azért volt lényeges, mert nagyobb lehetőség volt a további fizikai és kémiai törvényszerűségeknek, megállapításoknak.

A legelső között Dimitrij Ivanovics Mengyelejev (orosz kémikus) mutatott fel a tudományos szakemberek előtt olyan csoportosítást, amely gyakorlati szempontból is használható volt (a vezérelv a relatív atomtömeg volt). Ez alapján a növekvő protonszám szerint valósult meg a rendezés, amely közvetett módon a hasonló elektronrendszerű (szerkezetű) elemeket helyezte egy csoportba, amelyek hasonló kémiai tulajdonsággal rendelkeznek.

Az elemek által alkotott függőleges oszlopokat csoportoknak nevezzük. A csoportban lejjebb haladva minden elemnek megegyezik a külső elektronhéj-szerkezete, de a belső héjak száma fokozatosan nő. Régebben (egy évtizeddel ezelőtt) fő- és mellékcsoportok voltak, napjainkban a csoportokat 1–18 között számozzuk. Az elemek által alkotott vízszintes sorokat a periódusoknak nevezzük, amelyen belül az atomok elektronhéjainak száma azonos, viszont a legkülső héjon (vegyértékelektronok) az elektronok száma folyamatosan nő. A periódusos rendszer négy mezőre rendezhető az annak alapján, hogy melyik héj töltődik: s-mező, p-mező, d-mező és f-mező.

1913-ban Henry Moseley (angol fizikus) egy mérési módszert alkalmazott a rendszám meghatározására: nagy energiájú elektronokkal ütköztetve az adott elemet röntgensugárzás lép ki, amelynek frekvenciája (n) kapcsolatban áll a rendszámmal.

5.1 Az elemek csoportosítása a periódusos rendszeren belül

Tehát a periódusos rendszer vízszintes sorai periódusok, függőleges oszlopait csoportok. Főcsoport elemeinek (I.A–VII.A; 1–2, 13–17) s- vagy p-pályáik betöltetlenek. A nemesgázok (VIII.A; 18) telített p-pályával rendelkeznek (He esetén az s-pálya teljesen betöltött). Az átmeneti fémek (I.B–II.B; III.B–VIII.B) telítetlen d-pályával rendelkeznek. A lantanoidák (lantanidák) és aktinoidák (aktinidák) f-pályákkal rendelkeznek (28. ábra).

A főcsoport elmei és a nemesgázok egy csoporton belül megegyező külső elektronszerkezettel rendelkeznek. A kémiai kötésekben a külső elektronok (vegyértékelektronok) vesznek részt, ennek következtében az egy csoportban az elemek közel megegyező kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek.

új csoportjelölés																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
régli csoportjelölés (A: főcsoport; B: mellékcsoport)																	
I.A	II.A	III.B	IV.B	V.B	VI.B	VII.B	VIII.B	VIII.B	VIII.B	I.B	II.B	III.A	IV.A	V.A	VI.A	VII.B	VIII.B
s-mező		ÁTMENETIFÉMEK (d-mező)										p-mező					
ALKÁLIFÉMEK	ALKÁLIFÖLDFÉMEK											FÖLDFÉMEK	SZÉNCSOPORT	NITRÓGENCSOPORT	OXIGÉNCSOPORT	HALOGENCSOPORT	NEMESGÁZOK

f-mező
LANTANOIDÁK
AKTINOIDÁK

28. ábra: A periódusos rendszer felépítésének rövid ismertetése; Forrás: saját készítésű ábra

5.2 A fizikai tulajdonságok periodikus váltakozása

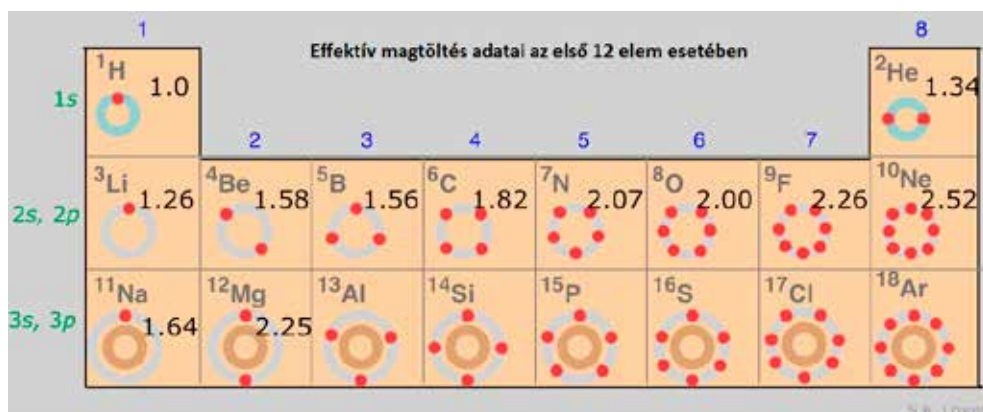
A periódusos rendszerben a fizikai és a kémiai tulajdonságok változása periodikus. Ennek magyarázatához szükség van néhány fontosabb fogalom rövid ismertetésére.

5.3.1 Az effektív magtöltés

Az effektív magtöltés definiálásához jó példa a He atom, magtöltése +2. A magtöltés komplett vonzerejét csökkenti az atom elektronfelhőjében található két 1s elektron egymásra gyakorolt taszítóereje. Ezért a magtöltés némileg kisebb, mint a számított érték. Ezt az adatot nevezzük effektív magtöltésnek (Z_{eff}).

$$Z_{\text{eff}} = Z - S,$$

Z a protonok száma az atommagban, S az árnyékolási tényező (az atommagot árnyékoló, belső elektronok befolyásoló hatását kifejező érték). Összefoglalva, sokelektronos atomban minden elektronra jellemző, hogy az atommagban levő protonokra vonzóhatás fejt ki, és a különböző elektronok taszítóhatást gyakorolnak egymásra. Adott elektronpályán levő elektronokat mindössze a kisebb energiaszint héjain keringők árnyékolnak, a külsőbb pályák elektronjai nem (29. ábra).



29. ábra: Az effektív magtöltés adatai az első 12 elemnél

Forrás: http://chemwiki.ucdavis.edu/Under_Construction/chem1/Atoms_and_the_Periodic_Table/Periodic_Properties_of_the_Elements; letöltés: 2014. február 15.

5.3.2 Az atomsugár

Az atomok méretének jelentős befolyásoló hatása van az alapvető fizikai és kémiai tulajdonságokra (sűrűség, olvadáspont, forráspont). Az elektronfelhő gyakorlati megfogalmazása: az a térrész az atommag körül, ahol az elektron előfordulási valószínűsége 90% (az atomok mérete).

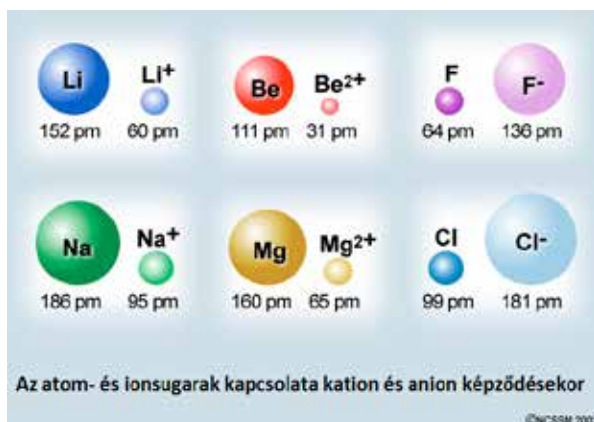
A második periódus példáján a lítium- és a fluoratom irányban egyértelműen csökken az atomsugár. E periódus elemeinél a belső héjon található elektronok száma megegyezik. A magtöltés a lítium- és a fluoratom irányban nő, és az árnyékolási tényező mértéke csak kis mértékben növekszik. Az effektív magtöltés növekszik, ezért csökken az atomsugár. Egy oszlopon (csoporton) belül fentről lefelé (például a berilliumtól a báriumig) nő az atomsugár.

5.3.3 Az ionsugár

Az ionvegyületek esetében az ionsugár méretének jelentős befolyásoló hatása van további fizikai és kémiai tulajdonságokra (például kristályrács típusa).

Az anionok sugara nagyobb, mint az atomsugár, miután ugyanazon magtöltés több elektronnal rendelkezik, a nagyobb számú elektronok erősebben taszítják egymást és nagyobb térrészre van szükségük.

A kationok sugara ezzel szemben kisebb, mint a kiindulási atom rádiusza, hiszen ugyanazon magtöltés kevesebb elektron hatása között oszlik meg, csökken az elektronok közötti taszítás és összehúzódik az elektronfelhő (30. ábra).



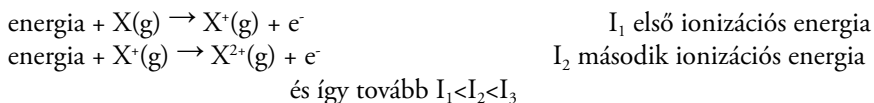
30. ábra: Atom és ionsugarak méretének kapcsolata

Forrás: <http://www.dlt.ncssm.edu/tiger/chem2.htm>; letöltés: 2014. február 15.

Az oszlopban (egy csoporton belül) felülről lefelé haladva nő az ionátmérők mérete. Amikor az anion és a kation izoelektronos (elektronjainak száma megegyezik, például fluorid anion és nátrium kation) a kationok mérete kisebb, mint az anionoké, mivel a magjuk több protonot tartalmaz.

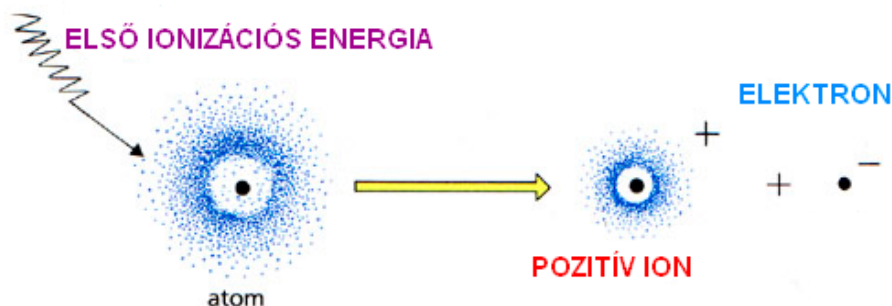
5.3.4 Ionizációs energia

Az ionizációs energia az a legkisebb energiaszükséglet, amely a gáz halmazállapotú, alapállapotú atomból egy elektron eltávolításához szükséges (31. ábra).



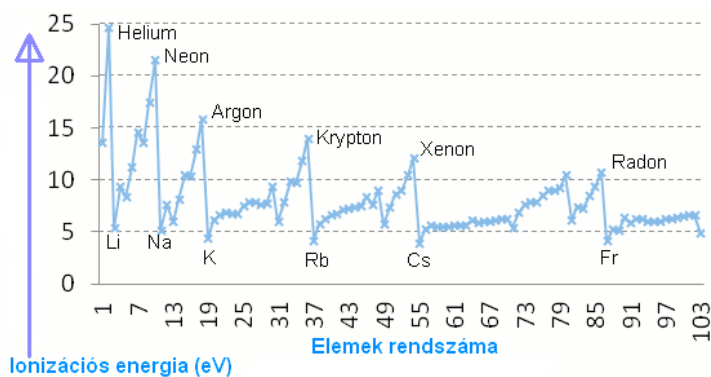
Az elektron eltávolításával a maradék elektronok egymást taszító hatása csökken, így pedig nő az effektív magtöltés, vagyis fokozatosan nagyobb energia-befektetés szükséges a további elektronok eltávolításához. Az ionizációs energia előjele pozitív, amit be kell fektetni az elektron eltávolításához.

A nemesgázok ionizációs energiája nagyon magas érték, mivel a nemesgázatomokból nagyon nehéz egy elektron eltávolítása. Ezt a törvényszerűséget a gyakorlatban tapasztaltak is alátámasztják, hiszen a nemesgázok nem vagy csak igen nehezen vihetők kémiai reakciókba. Az alkálifémek ionizációs energiája a legalacsonyabb érték. A külső elektronpályákon található ns^1 elektront hatékonyan árnyékolják a belső elektronpályák elektronjai, ezért ezek gyengén vannak kötve az atomban, eltávolításukhoz kis energia is elegendő (32. ábra).



31. ábra: Az első ionizációs energia szemléltetése

Forrás: <http://sun.menloschool.org/~dspence/chemistry/atomicionization.html> alapján; letöltés: 2014. február 15.



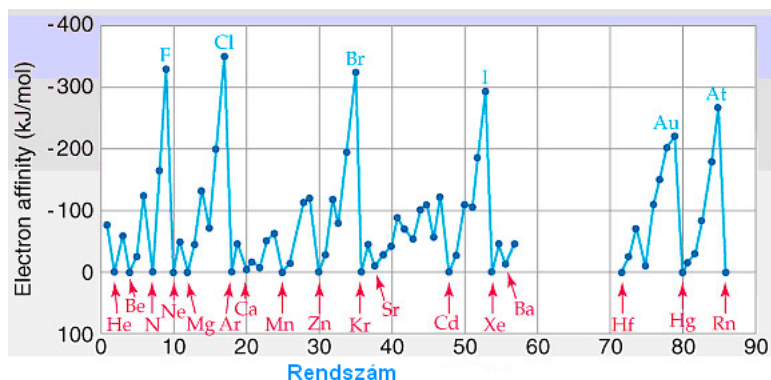
32. ábra: Az első ionizációs energia változása az atomszám függvényében

Forrás: <http://www.chemicool.com/the-periodic-table.html> alapján; letöltés: 2014. február 15.

5.3.5 Elektronaffinitás

Az atomok elektronfelvételére való hajlama az elektronaffinitással karakterizálható. Más szavakkal az elektronaffinitás az az energiaváltozás, amely egy mol gáz halmazállapotú atom elektronfelvételét kíséri. Mértékegysége: kJ/mol. Előjele: lehet pozitív és negatív érték is.

Minél negatívabb érték az elektronaffinitás, annál nagyobb az atom törekvése, hogy elektront vegyen fel (33. ábra).



33. ábra: Az elektronegativitás változása a rendszám függvényében

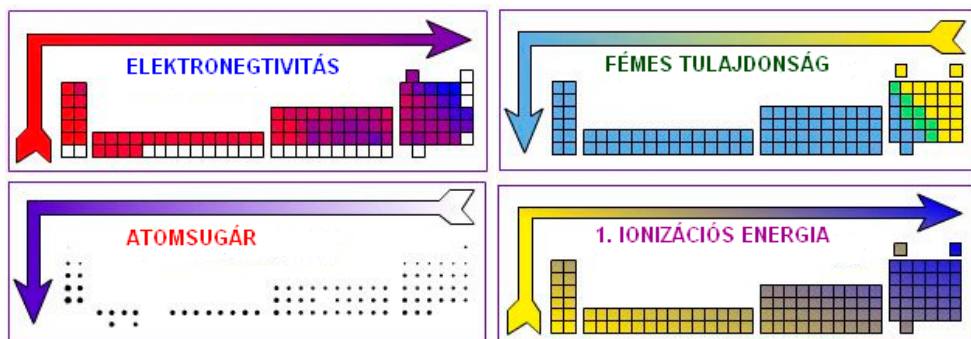
Forrás: <http://www.iun.edu/~cpanhd/C101webnotes/modern-atomic-theory/electron-affinity.html> alapján; letöltés: 2014. február 15.

A halogénatomok elektronegativitása a legmagasabb, mivel így stabil nemesgázszerkezet alakul ki (egy elektron felvétele után).

5.3.6 Elektronegativitás

Az elektronegativitás jelentése az atomnak azon tulajdonsága, hogy kémiai kötés létrejöttékor milyen mértékben tudja magához vonzani a kötő elektronegativitást. Mértékegység nélküli viszonyszám. A skála relatív, a hidrogénatom esetében az érték 2,1. Legnagyobb az elektronegativitása a fluoratomnak.

A 34. ábrán látható az elektronegativitás, az atomsugár, a fémesség jellem és az első ionizációs energia változása a periódusos rendszerben.



34. ábra: Tendenciák a periódusos rendszerben (összefoglaló ábra)

Forrás: http://chemistrybycott.org/periodic_table_formulations.htm alapján; letöltés: 2014. február 15.

6. AZ ÉGÉSI MINT FIZIKAI ÉS KÉMIAI FOLYAMAT [8, 9, 10]

A hőenergiának két meghatározó jellemzője:

- a hőmérséklet,
- a hőmennyiség.

6.1 Hőtani alapfogalmak

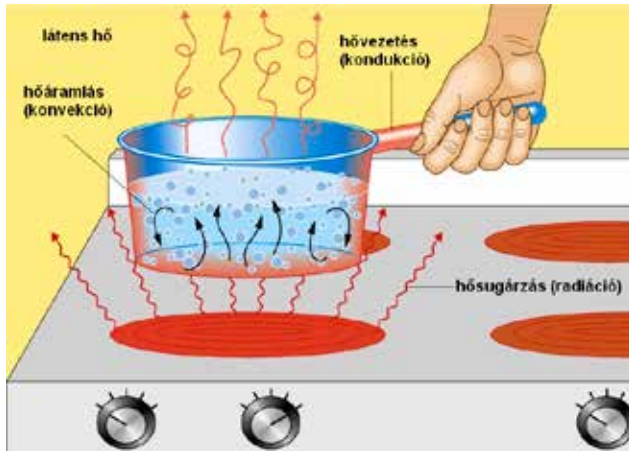
Hővezetés (kondukción): leginkább a szilárd testekben zajló hőmozgás. A hőenergia az anyagot felépítő részecskék elmozdulása nélkül adódik át a melegebb helyről a hidegebb hely (tárgy) irányába. Feltétel az adott test térfogatának különböző pontjai között fennálló hőmérséklet-különbség.

Hőáramlás (konvekció): a hő az anyagot felépítő részecskék helyváltoztató mozgása folyamán terjed tovább. Egy adott fluidum és a vele kapcsolatban levő szilárd felület (fal) között jön létre a hőáramlás. Típusai a kényszerített áramlásra alapuló kényszerkonvekció és a belső paraméterek változása következtében kialakuló szabadkonvekció. Feltétel a szilárd felület és a fluidum, ezért a kialakuló hőáramot a felület szűk környezetében megvalósuló áramlási és hőmérsékleti paraméterek befolyásolják. E folyamatnál a legnagyobb akadályt a fal és a fluidum kapcsolódási felületénél kialakuló határreteg hőellenállása jelenti.

Hősugárzás (radiáció): a hőenergia elektromágneses sugárzás útján való továbbterjedése. Független a hőt elnyelő vagy kibocsátó közeg vastagságától, de függ a hőmérsékletétől. A hősugárzás minden testre jellemző és folyamatos. Ez az energia elnyelődik (abszorbeálódik) egy közeli másik testen, visszaverődik (reflektáció) vagy áthalad (transzmittálódik).

Latens (rejtett vagy lappangó) hő: nyelődik el vagy szabadul fel, amikor egy adott anyag állandó hőmérsékleten (anyagi minőségtől függ) halmazállapot-változáson megy keresztül (példa szilárd-folyékony – olvadáshő vagy folyékony-gáz-gőz – párolgási hő).

Az említett fogalmak összefoglalása a 35. ábrán látható.



35. ábra: A hőtani alapfogalmak rövid szemléltetése

Forrás: <http://inwallspeakers1.com/heat-energy-transfer/> alapján; letöltés: 2014. február 15.

6.2 Az égés feltételei

Az égés kialakulásához három kritériumnak kell egyszerre teljesülnie. Az égés feltételeit összefoglalva:

- éghető anyag
- az égéshez szükséges oxigén
- megfelelő hőmérséklet, gyújtóforrás

A három feltétel egy időben és térben való megléte (36. ábra).



36. ábra: Az égés feltételei

Forrás: <http://www.techtransfer.com/resources/wiki/entry/746/> alapján; letöltés: 2014. február 15.

Éghető anyagok azok, amelyek tűz vagy hő jelenlétére lángra gyulladnak, parázslanak, elszenesednek, és a tűzforrás eltávolítása után a fenti jelenségek továbbra is fennmaradnak.

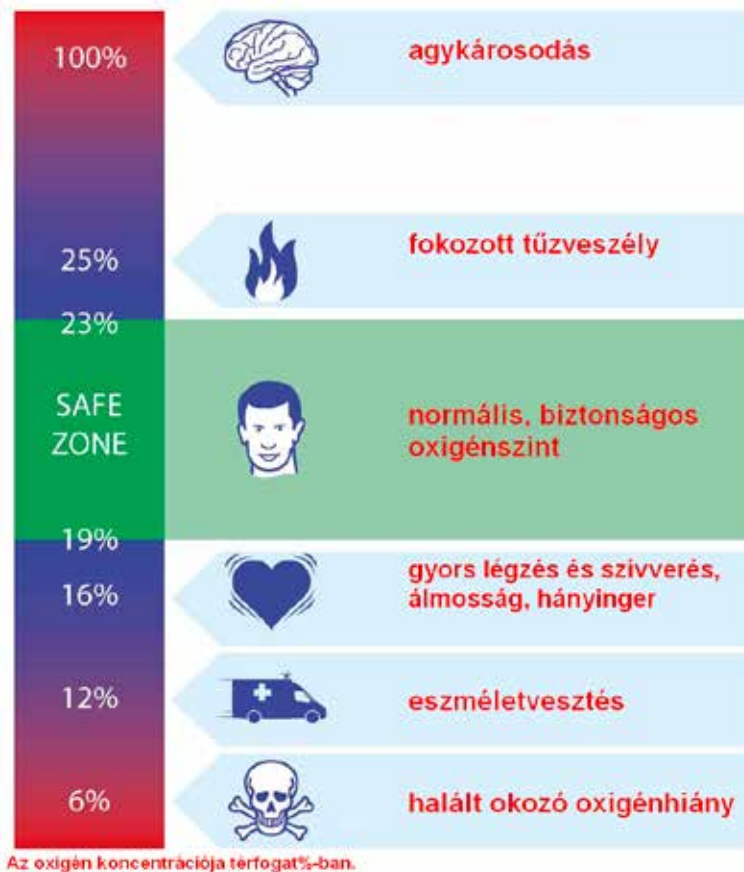
Nehezen éghető anyagok azok, amelyek tűz vagy hő hatására lángra gyulladnak, parázslanak, elszenesednek, de a hőforrás eltávolítása után a jelenségek megszűnnek.

Nem éghető anyagok, amelyek tűz vagy hő hatására nem lobbannak lángra, nem parázslanak és nem is szenesednek el.

A levegő 21%-a oxigén, ami az égéshez elégséges. Amennyiben az oxigéntartalom:

- 18–14% között van, az égés tökéletlen;
- 10% alatt van, megszűnik az égés.

Az oxigéntartalmú anyagok tartalmazznak kémiaiilag lekötött állapotban oxigént, tehát az ilyen éghető anyagok égéséhez nem szükséges a levegő oxigénje. A különböző peroxid-vegyületeket rendszerint alkalmazzák gyújtókeverékekben. A különböző oxigénszint élettani hatásai a 37. ábrán láthatóak.



37. ábra: A különböző oxigénkoncentráció emberi szervezetre gyakorolt hatásának szemléltetése

Forrás: <http://www.crowcon.com/service-and-support/oxygen-risk.html> alapján;

letöltés: 2014. február 15.

6.2 Égéstermékek

Égéstermék az éghető anyag égésfolyamata során keletkező stabil vagy metastabil (átmenetileg létező) vegyületek csoportja légnemű és szilárd halmazállapotban. A gáznemű oxidok a főkomponensek, továbbá nitrogén és egyéb, az égés folyamatában részt vevő alkotórészeket, azon felül el nem használt oxigént is tartalmaz a füstgáz. A szilárd anyagok egy része oxidok és az égés kiindulási anyagának el nem égett, illetve nem éghető alkotórészei. A hamu és salak összetételének vizsgálata bizonyítékot (és magyarázatot) szolgáltat a lezajlott égési folyamatról, illetve a tűz keletkezésének oka is sok esetben értelmezhető.

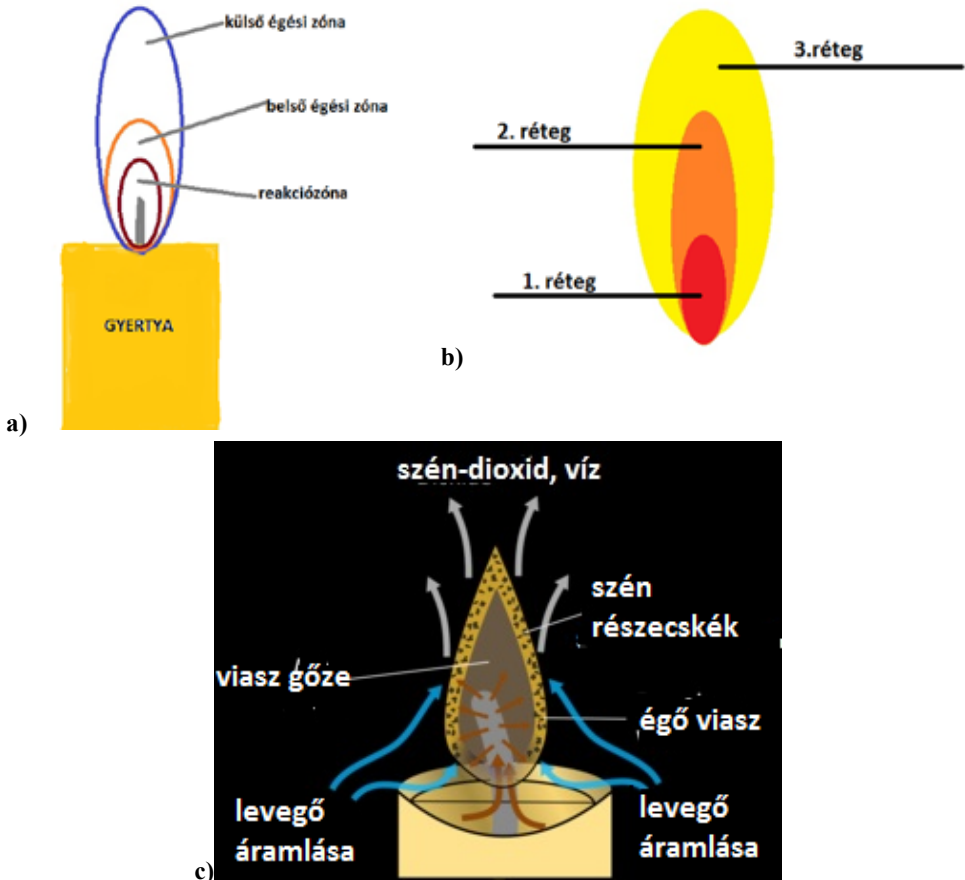
6.3 A láng szerkezete fénye és hőmérséklete; az égés és a tűz kapcsolata

*A láng jellemzése*A lángjelenség fő kiváltója az éghető anyag (szilárd vagy folyékony) optimális szintű párolgása és a gáznemű anyagok éghető alkotórészekre történő bomlása. E jelenség folyamatossága vezet a láng kialakulásához. A láng egy olyan reakciótér, ahol a gőzök, a gázok oxidációja és egyéb kémiai átalakulása zajlik.

Sok esetben a felszabaduló gázok, gőzök nem tartalmaznak oxigént, így az égési folyamat-hoz nélkülözhetetlen oxigén a levegőből (mint gázkeverékből) párhuzamosan lép be (diffundál) az égési zónába. A láng diffúz szerkezetű (többek között fa, papír, benzin, olaj égésekor), vagyis ekkor a felszabaduló éghető gőzök, gázok előzőleg nem keverednek a levegővel.

A láng szerkezete

A láng belsejében, tulajdonképpen a szerkezetében keletkező különböző zónák hőmérsékletei eltérőek. Legmagasabb hőmérséklettel a **reakciózóna** jellemezhető. A reakciózóna rendkívül sok reaktív gyököt (gyök olyan atom vagy atomcsoport, amely párosítatlan elektronnal rendelkezik és nagyon reakcióképes) tartalmaz. A gyökök az energiaközlés révén gerjesztett energiaállapotba kerülnek, amely átmeneti, instabil helyzet. Az alapállapotba kerülve fényt bocsátanak ki, ezért – az anyagi minőségtől függően – a láng különböző színű részekből épül fel. A reakciózóna feletti zónák, már kevesebb reaktív gyököt tartalmaznak és hőmérsékletük is alacsonyabb (38. ábra).



38. ábra: A láng szerkezete a) általánosan; Forrás: saját készítésű; b) általánosan 2; Forrás: saját készítésű; c) gyertyaláng (forrás alapján készítve)

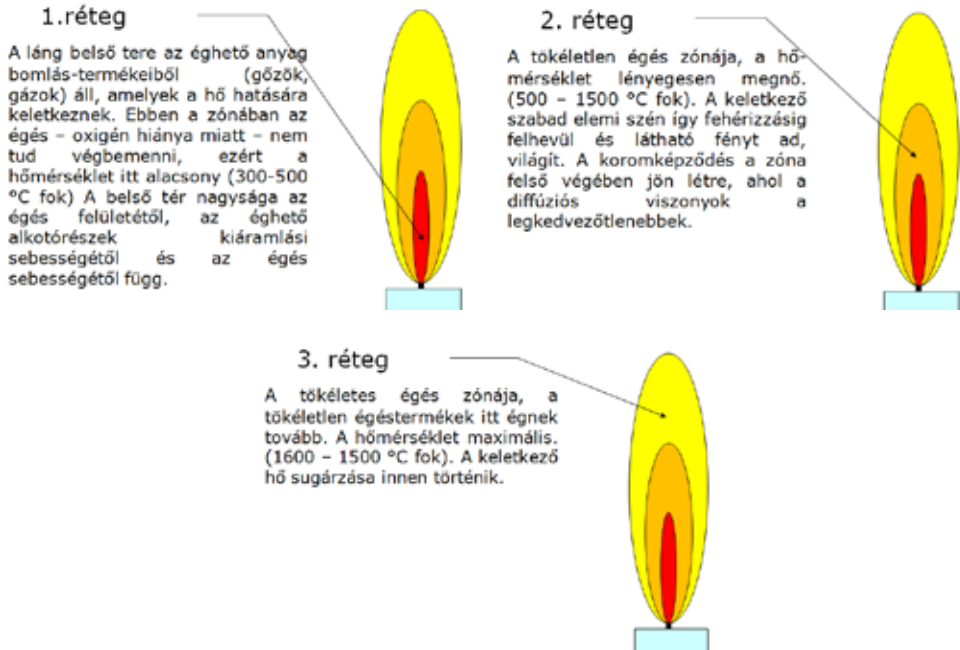
Forrás: a) és b) <http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kemia7/www/ch05.html>;

c) <http://www.thenakedscientists.com/HTML/content/kitchenscience/exp/25aeab656d/> alapján; letöltés: 2014. február 15.

A lángok csoportosítása

- Abban az esetben, ha az égési folyamatban résztvevő gázok előzőleg összekeverednek, **előkevert** lángokról beszélünk (például az acetilén-levegő; a hidrogén-oxigén, biztonságosan hegesztőpisztolyban történik a keverés). Amikor az égéshez elengedhetetlen szereplő az oxigén, akkor a láng közvetlen közelében található levegőből jut be a reakciózónába, ebben az esetben **diffúziós** lángról beszélünk (például a gyertya lángja).
- Az égésben résztvevő gáz halmazállapotú anyagok áramlási sebessége alapján különbséget teszünk **lamináris** (amikor az áramlást jellemző Reynolds-szám (R_e) kisebb, mint 2300) és **turbulens** lángok között (ahol R_e nagyobb, mint 2300).

A lángban három – élesen el nem határolható – réteget különböztetünk meg (39. ábra).



39. ábra: A láng szerkezetének összefoglalása; Forrás: saját készítésű ábra

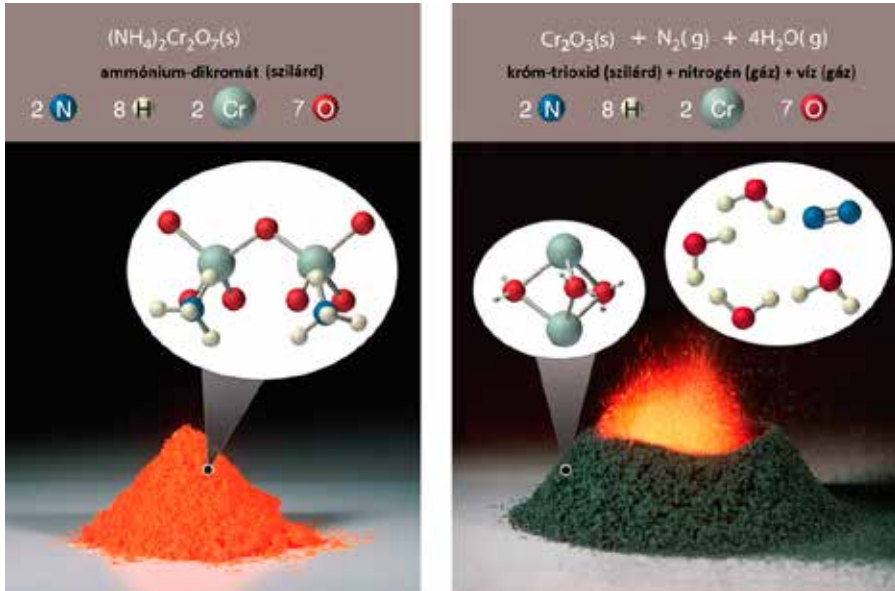
6.4 Szilárd anyagok, porok, folyadékok, gázok égése

A szilárd anyagok égése

A szilárd anyagok melegítés hatására különféle átalakulásokat szenvednek, ezt pedig a kémiai összetétel határozza meg (40. ábra). Az elmúlt évtizedek tapasztalata szerint a szilárd anyagok égéstípusa három csoportba tehető:

1. már szilárd állapotban egyesülnek az oxigénnel, izzással, parázslással égnék (fémek, magnézium, alumínium stb.).
2. szilárd állapotból a hőhatás következményeként megolvadnak, majd elpárologva a gőzeik égnék (bitumen, zsírok, gyanták, műanyagok nagy része stb.).
3. anyagok, amelyek a hő hatására bomlanak és a gáz halmazállapotú termékeik égnék (fa, szén, tőzeg stb.).

Tehát leggyúlékonyabb az a szilárd anyag, amely aránylag kisfokú melegítés hatására gőzfázisba kerül, például cellulóz-nitrát.



40. ábra: Szilárd anyag átalakulása égési folyamat során, az ammónium-dikromát példáján bemutatva

Forrás: http://images.flatworldknowledge.com/averillfwk/averillfwk-fig03_007.jpg alapján; letöltés: 2014. március 1.

Folyadékok égése

A folyadék halmazállapotú anyagok párolgása a hőmérséklet függvénye, és a keletkezett gázok (víz párolgásánál gőzök) szintén a hőmérséklettől függően egy-egy adott nyomással rendelkeznek.

A hőmérséklet folyamatos növelésével, laboratóriumi körülmények között határozható meg a lobbanáspont (lobbanási hőmérséklet), vagyis az a hőmérséklet, amelynek elérésekor a folyadékból keletkezett gázok (vagy gőzök) gyújtóforrás hatására belobbannak. A gyújtóforrás eltávolításakor önálló égésre nem képes, rövid időre tapasztalható esemény láng formájában.

A lobbanáspont előhírnöke egy másik fizikai-kémiai adatnak, amelyet gyulladáspontnak (gyulladás hőmérséklet) neveztek el a szakemberek. További melegítés hatására a lobbanáspont felett (a folyadék párolgási sebessége és a keletkezett gáz/gőz nyomása növekszik, 41. ábra), egy meghatározott hőmérsékleten (a gyújtóforrás hatására) megjelenik a láng, amely a gyújtóforrás nélkül már önfenntartó folyamatban ég tovább. Tehát az a legalacsonyabb

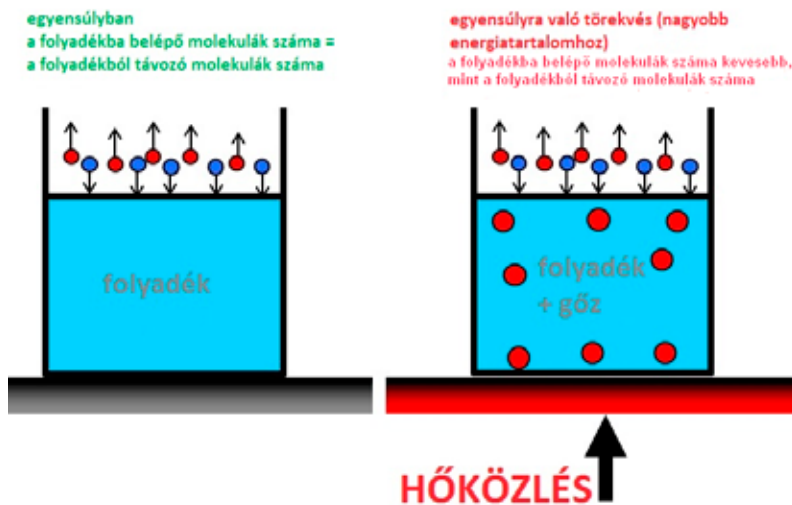
hőmérséklet, amikor a gyújtóforrás eltávolítása után is folyamatos az égési folyamat a **gyulladáspon**t.

A folyadék halmazállapotú anyagok a lobbanáspont alapján két nagy osztályba sorolhatóak:

1. Könnyen meggyulladó folyadékok, lobbanáspontjuk 293K (20 °C) alatti hőmérséklet-tartományban található (benzin, pentán, hexán, aceton). Ezeket az anyagokat hétköznapi elnevezéssel gyúlékony anyagoknak nevezzük.
2. Nehezen meggyulladó folyadékok, lobbanáspontjuk 293 K (20 °C) feletti hőmérséklet-tartományban van (tűzelőolaj olaj).

Az egyik legfontosabb paraméter a párolgási sebesség, amely függ:

- a folyadék hőmérsékletétől,
- a gőznyomástól,
- a légáramlás sebességétől,
- a párolgó felület nagyságától és
- a tárolóedény alakjától.



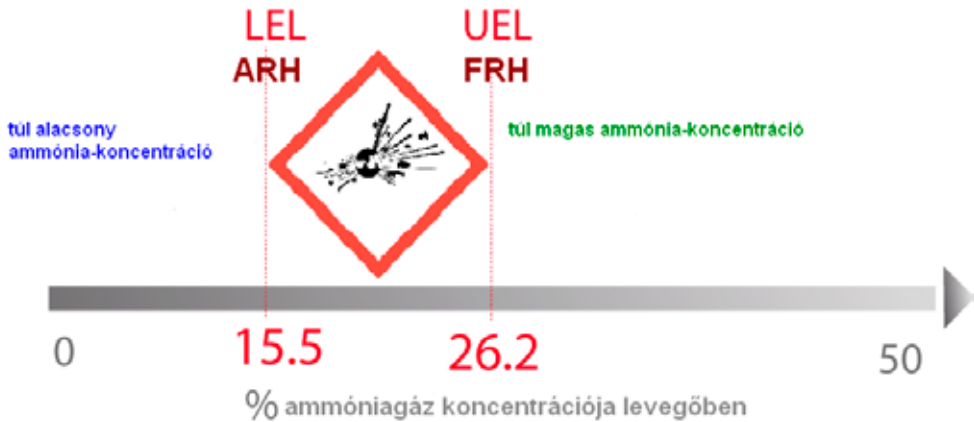
41. ábra: Folyadék párolgási sebességének változása a hőmérséklet emelkedésekor

Forrás: [http://en.wikiversity.org/wiki/Fluid_Mechanics_for_MAP/Introduction alapján;](http://en.wikiversity.org/wiki/Fluid_Mechanics_for_MAP/Introduction_alapján;)

letöltés: 2014. március 1.

Gázok égése

Az oxigénkoncentrációtól függően nagyobb vagy kisebb intenzitással, lángképződés közben égnek el (kinetikai égés). A gázhalmazállapot jellemzője, hogy gyorsan kitért a rendelkezésre álló teret, legyen az tartály vagy szoba.



42. ábra: Az alsó és a felső robbanási határ bemutatása az ammónia példáján

Forrás: <http://www.chemical-pollution.com/en/sources-pollution/reactivity-danger.php> alapján; letöltés: 2014. március 1.

A gázok és gőzök bizonyos koncentrációban képesek robbanóképes koncentrációt alkotni a levegővel (ennek reakció-kinetikai magyarázata van). Az éghető anyag és az égést tápláló oxigén koncentrációja is határt szab az égési folyamatnak, ezeket nevezzük alsó és felső robbanási határnak (42. ábra).

Alsó robbanási határ (ARH):

A gáz halmazállapotú anyagnak azt a koncentrációját, amelynél a robbanás a levegőfelesleg következtében még nem lehetséges, alsó robbanási határnak (határértéknek vagy határkoncentrációnak) nevezzük.

Felső robbanási határ (FRH):

A gáz halmazállapotú anyagnak azt a koncentrációját, amelynél a robbanás a gázfelesleg, illetve levegőhiány következtében már nem lehetséges, felső robbanási határnak (határértéknek vagy határkoncentrációnak) nevezzük.

veszélyes anyag neve	ALSÓ ROBBANÁSI HATÁRÉRTÉK (LEL=ARH) (%) lower explosive limit	FELSŐ ROBBANÁSI HATÁRÉRTÉK (UEL=FRH) (%) upper explosive limit
ACETON	2,15	13,0
ACETILÉN	2,5	100
BENZOL	1,2	8
BUTADIÉN	1,1	12,5
SZÉN-DISZULFID	0,6	60,0
ETIL-ALKOHOL	3,3	19,0
ETIL-ÉTER	1,7	36,0
ETILÉN (ETÉN)	2,7	36,0
BENZIN	~ 0,6	~ 8
FŰTŐOLAJ/DIESEL	~ 0,6	~ 6,5
HEXÁN	1,1	7,5
HIDROGÉN	4	77
IZOBUTÁN	1,8	8,5
IZOPROPIL-ALKOHOL	2,0	12,7
METÁN	4,4	17
METANOL	6,0	36,0
PENTÁN	1,5	7,8
PROPÁN	1,7	10,8
PROPIÉN (PROPÉN)	2,0	11,1
TOLUOL	1,2	7,0

11. táblázat: Néhány gyakran használt veszélyes gáz és folyadék halmazállapotú anyag alsó és felső robbanási határkoncentrációja

Adatok forrása: http://www.rkiinstruments.com/pages/faq/What_is_LEL_UEL.htm;

<http://www.lenntech.com/air-purification/international-different-nomenclature-for-explosive-limits.htm>;

<http://www.exveritas.com/introduction-to-explosive-atmospheres/> alapján saját készítésű;

letöltés: 2014. március 1.

A kialakítható és huzamosan fenntartható (szellőztetés, hőmérséklet és nyomás vezérlő-paraméterek), veszélytelen, nem robbanóképes gázkoncentrációk jelentősége, hogy ipari, laboratóriumi tevékenységek történhetnek a különféle gyúlékony gázokkal és folyadékokkal. A valós koncentrációértékek folyamatosan mérhetőek a megfelelő szenzorokkal ellátott mérőműszerekkel (például monitoring hálózatban vagy egyedileg is, automatizálható).

További fontos megállapítás, hogy minél nagyobb az alsó és felső határ közti különbség (vagyis minél nagyobb az elegy robbanásra képes tartománya), annál veszélyesebb a keverék. Legnagyobb robbanási tartománya az acetilénnek, a hidrogénnek van; legkisebb a benzinnak, petróleumnak, butánnak. Néhány gyakran használt veszélyes gáz és folyadék alsó és felső robbanási határkoncentrációja a 11. táblázatban található.

Levegő és szilárd anyagok keverékének égése

Néhány különféle technológiai folyamat (szövés, aprítás, őrlés, keverés stb.) során folyamatos a szilárd részecskék kiáramlása. E jelenség többszörös problémát jelent, rendszerint anyagvesztéssel, egészségkárosodással és robbanásveszélyes keverék kialakulásával kell számolni. A por nagy fajlagos felületű, kis szemcse nagyságú (μm) részecskék tömege. A szemcseméret tág határok között változhat, könnyű tömege lehetővé teszi a levegőbe jutott anyag fluid állapotban hosszabb-rövidebb ideig történő lebegését. A robbanáshoz szükséges koncentrációt kialakíthatja a huzat, egy munkafolyamat, de a közelben zajló anyagmozgatás is. Robbanóképes keverék keletkezhet, amely gyújtóforrás hatására porrobbanás formájában elég. Az anyagi minőség és az ebből adódó eltérő tulajdonságok alapján a porokat csoportosítjuk tűzveszélyességük szerint. Porok robbanóképeségi osztályozása került felsorolásra a 12. táblázatban.

Robbanóképeségi osztály jelölése (porrobbanási osztály)	K_{st} (bar m/sec) robbanási nyomásemelkedés sebessége	Jellemzőség
St 0	0	nem robbanóképes
St 1	0–200	gyengén erősen robbanóképes
St 2	200–300	erősen robbanóképes
St 3	> 300	nagyon erősen robbanóképes

12. táblázat: Porok robbanóképeségének osztályozása az úgynevezett deflagrációs index alapján (kísérletileg meghatározott adat)

Forrás: http://www.scielo.org.za/scielo.php?pid=S0038-223X2012001400012&script=sci_arttext#t4; http://dragon.klte.hu/~beneg/eges_elmelet.pdf; <http://www.vedelem.hu/letoltes/jegyzet/jegy17.pdf> alapján saját készítésű; letöltés: 2014. március 1.

A robbanási nyomásemelkedés sebessége K_{st} függ:

- a porrészecskék felépítő vegyület fizikai, fizikai-kémiai tulajdonságai,
- a szemcseméret és eloszlása
- a turbulencia (az áramló fluidra jellemző fizikai paraméterek)
- a térség alakja (edényzet, tartály formája)
- a gyújtóforrás jellemzői.

6.5 Öngyulladó és piroforos elemek és vegyületek

6.5.1 A fémek és ötvözeteik

A fémek és ötvözeteik tömör állapotban általában nem öngyulladók, mivel kicsi a fajlagos felületük, jó hővezetők, ezért nem alakulnak ki magasabb hőmérsékletű részek az anyagi halmazban (amely esetleg megközelítené a gyulladási hőmérsékletet).

Az alkálifémek jellemző tulajdonsága az öngyulladás. Továbbá vízzel heves reakcióba lépnek, amely során hidrogén fejlődik, amit a keletkező reakcióhő begyűjthet. A reakció sebessége (hevessége) az alkálifémek csoportjában (lefelé haladva) az alkálifém atomtömegével – a lítium, nátrium, kálium, rubídium, cézium irányban – nő (23. ábra). A cézium a legpiroforosabb.

Fontos még megemlíteni az ipari gyakorlatban előforduló magnézium, alumínium és vas kis szemcseméretű porának öngyulladó hajlamát. Jelentősebb mennyiségben az alumínium- és magnéziumpor kizárólag egy bizonyos pihentetési idő (előérlelés) leteltével raktározható és szállítható. A piroforos fémporokra általános érvényű kijelentés, hogy előállítás alatt vagy után időt kell biztosítani arra, hogy a porszemcsék felületén vékony oxidréteg képződhessen, amely a további oxidációt lassítja vagy akadályozza (passzív oxidréteg, amely csak bizonyos tömörség esetén véd; a vasnál túl laza ez az oxidréteg).

A nedvesség katalizálhatja a finomabb szemcseméretű fémporok önmelegedését és beindíthatja az öngyulladást (alumínium, magnézium, vas esetében). A reakcióképesebb fémek nagyobb szemcseméretnél is piroforosak. Jó példa az urán, a cirkónium és az szénhidrogénnel szennyezett acél- vagy vasreszelékek, fémmegmunkálási maradékok.

Helytelen tűzoltási módszer alkalmazása további tüzeket, robbanásokat eredményezhet (nagyfokú vízszugár fémporfelhőt, kavarhat fel, és további porrobbanást okozhat). Az izzó fém hevesen reagál vízzel és hidrogén fejlődik, mely a levegő oxigénjével elegyedve durranógázt (durranógáz a hidrogén- és oxigéngáz 2:1 arányú, robbanóképes elegye) képez és felrobban.

6.5.2 Öngyulladásra hajlamos egyéb anyagok

Acetilén (etin)

Szintelen, tiszta állapotban szagtalan gáz. A szennyezett, ipari felhasználású acetilén szagát szennyezések (kén- és foszfortartalmú szerves és szervetlen vegyületek) okozzák. A gázt felépítő molekulák apolárisak, így vízben igen rosszul, apoláris oldószerekben (például acetonban) viszont jól oldódódnak. Összenyomás hatására felrobban, jelentős hőfejlődés közben elemeire (szénre és hidrogénre) bomlik.

Ez a magyarázata annak, hogy miért nem lehet más gázokhoz hasonlóan palackba sűríteni. A biztonságos tárolás mégis megoldható úgy, hogy a gázpalackokat megtöltik kovafölddel

(lyukacsos anyaggal), és átítatják acetonnal, majd ebben oldják nagy nyomáson az acetilént. Ezt nevezik disszugáznak (a dissous francia eredetű szó, jelentése: oldott). (1,2 MPa nyomáson 100 g aceton 30 dm³ acetiléngázt old) [11].

Foszfor

A fehérfoszfor apoláris oldószerekben (szén-diszulfid, éter, benzol, zsírok) jól oldódik. Kevésbé stabil molekulárcsot alkot, amely reakcióképesebb, mint a vörös- (atomrács) és fekete-foszfor (fémrács). A fehérfoszfor önmagától meggyullad és sárgásfehér lánggal ég, fehér P₂O₅ keletkezik. Öngyulladás 60 °C-on valósul meg (a vörösfoszfor 400 °C-on gyullad meg) [12].

Foszfin

A foszfor gáz halmazállapotú vegyülete. A levegőn könnyedén lángra lobban: az öngyulladó cseppfolyós difoszfin indítja be a gyulladást. A foszfin és dimervegyülete a difoszfin egyidejűleg keletkezik. A foszfor-hidrogénnek ez a tulajdonsága magyarázza a mocsarakban fel-felvillanó elszigetelt lángokat [13].

Ammónium-nitrát és ammónium-nitrát tartalmú műtrágya

Az ammónium-nitrát könnyen, már kis hőmérsékleten is bomlik. A hőmérséklet emelkedésekor e folyamat gyorsul, a hő az anyagi halmazból nem tud távozni, és ez robbanáshoz vezethet.

Endoterm képződéshőjű vegyület

Azon vegyületek, amelyeknek képződéshője + 40 kJ/mol értéknél magasabb, robbanásszerű bomlásra (akár levegő jelenléte nélkül is) képesek. Az etilén (vagy etén, összegképlet: C₂H₄) endoterm képződéshője + 52 kJ/mol.

Polimerizációra hajlamos vegyület

A monomer gyártásnál rendszerint előállított anyagokat (például vinil-klorid, etilén-oxid) kizárólag a polimerizálódást megakadályozó segédanyagokkal (adalékok) lehet szállítani, mert a nagy hőfejlődéssel járó autopolimerizáció (nem alkalmas helyen és időben, például szállítás közben) igen komoly tűz- és robbanásveszély előidézője lehet.

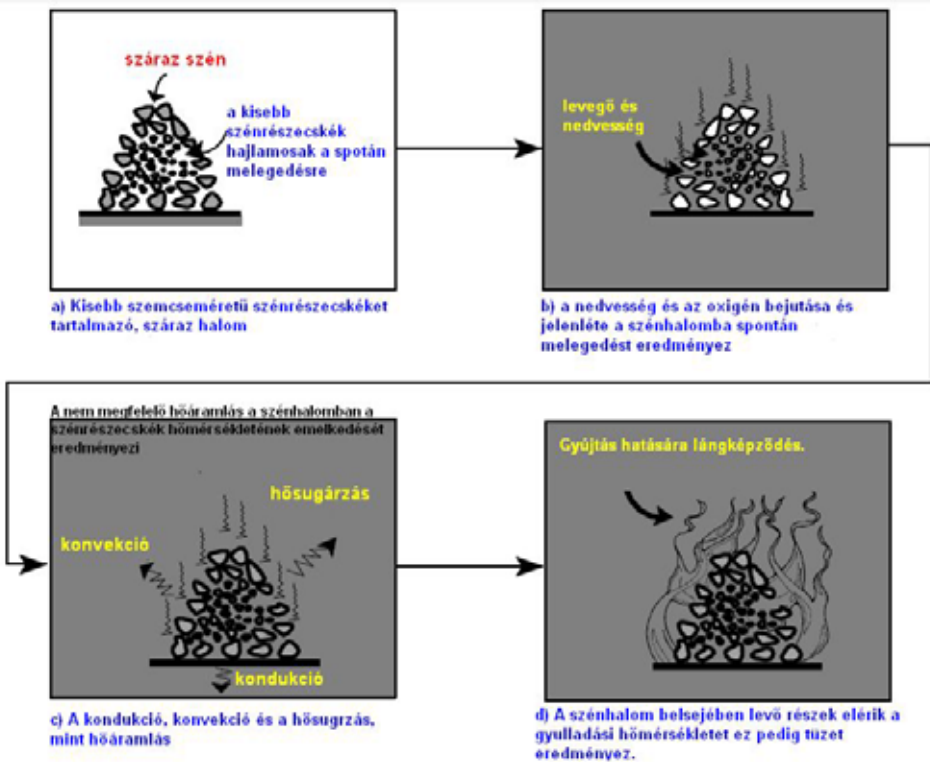
Élelmiszeripari és mezőgazdasági öngyulladásó anyag

A mezőgazdaságban esetenként bekövetkező öngyulladás sokszor biológiai folyamat vagy autooxidáció eredményezi. Gyakori a széna öngyulladása szárítás közben, vagy a dohányé fermentálás alatt. Számos növényi és állati olaj, természetes gyanta hajlamos az öngyulladásra.

A szén öngyulladásai folyamata

A szénport (vagy kőszenet) halmokban tárolva bizonyos fokú aprítottság és nedvességtartalom mellett képes az öngyulladásra. Számptalan példa azt mutatja, hogy a nedvesebb szén (por vagy darabok) hajlamosabb önmagától meggyulladni. A folyamat rövid ismertetése (43. ábra):

- A szénrészecskék felületén adszorbeálódik a levegőben levő oxigén, ez egy exoterm (hőtermelő) folyamat (amennyiben a halmaz jó hővezető képességű és nagy felületű, akkor a keletkezett hő gyorsan eltávozik a környezetbe, ellenkező esetben a hő felhalmozódik, és helyi gyulladási hőmérséklet túllépések alakulnak ki a halmazban).
- A halom felületén levő szénatomokkal reagál az oxigén, a reakció sebessége 60 °C-ig viszonylag lassú, de felette ugrásszerűen emelkedik.
- A halmokban jellemzően helyi felmelegedett térrészek fejlődnek ki, ahol kevésbé tömör és nedvesebb a halom területe.



43. ábra: A szénpor öngyulladásának rövid ismertetése

Forrás: <http://energy.gov/sites/prod/files/2013/06/f2/hdbk1081.pdf> alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

6.6 Robbanóanyagok

Olyan vegyület vagy keverék, amelyet meggyújtva vagy felrobbantva egy nagy sebességű, heves kémiai reakció játszódik le, miközben nagy mennyiségű gáz és hő képződik, amelyet fény, hang és nagy nyomású lökeshullám kísér. Néhány gyakran használt anyag a puskapor, lőporok, dinamit, nitroglicerin és a trinitro-toluol (TNT). Primer (iniciáló) robbanóanyagok: ólomazid, tricínát, tetrazen, dinol. Katonai robbanóanyagok: TNT, hexogen (RDX), nitropenta (PETN), tetril. További gyakran használt vegyület az ammónium-nitrát/tüzelőolaj keverék (ANFO).

6.6.1 A robbanás

A robbanás fajtái

A robbanás nagyon gyors energia-leadással megvalósuló természetes vagy mesterséges folyamat. Létezik fizikai és kémiai robbanás aszerint, hogy a gyors energiaátalakulás fizikai vagy kémiai folyamat kíséretében megy végbe. Fizikai robbanás történik, amikor egy gőzkazán vagy nyomás alatti gázt vagy cseppfolyós gázt tartalmazó tartály felhasad, felrobban. A kémiai robbanás lehet kondenzált fázisú robbanás vagy térrobbanás.

Kondenzált fázisú robbanás középpontjában kráter képződik. A robbanóanyag szilárd vagy folyékony halmazállapotú (TNT, plasztik, nitroglicerin).

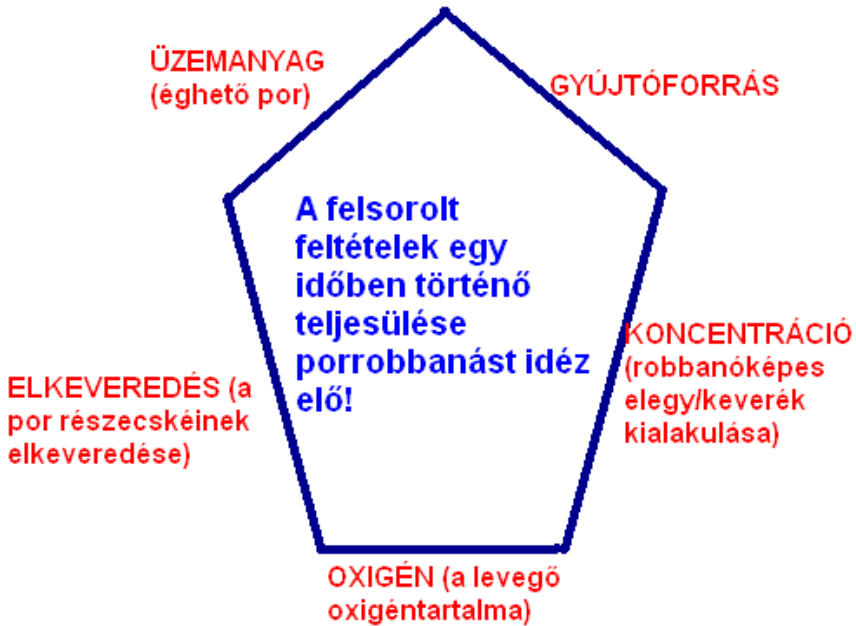
A térrobbanás, amelyben a résztvevő anyagok közül minimum az egyik gáz halmazállapotú. Az egész teret kitölti a levegő és az éghető alkotóelem keveréke, amely lehet metángáz (sújtólégrobbanás), hidrogén, acetilén, szén-monoxid; finom por (liszt, szénpor, cukor).

Térrobbanás egy bizonyos gáz vagy gőz gyors, kémiai bomlása. A térrobbanás zárt térben (tartályban, csőben, reaktorban, helyiségben) megy végbe, a nyílt jelző utal a határoló falak nélküli, nyílt térben lezajló térrobbanásra.

A porrobbanás jellemző adatai

Leginkább a levegő porkoncentráció alapozza meg a porrobbanást. Leginkább a fluid állapotban (a levegő áramlása következtében a kis méretű porrészecskéket magával ragadja a felszínről) jelenlevő porkoncentráció alapozza meg a porrobbanás egyik fő feltételét. Ez könnyen kialakulhat anyagmozgatás során, példaként megemlíthető a por szállítása levegő segítségével, csővezetékben.

A porfelhő porkoncentrációja a jellemző térrész más-más pontjaiban nagyon különböző, emellett a porszemcsék a nehézségi erő hatására állandó sebességgel ülepednek. A porfelhő gyakorlatilag hasonlóan gyújtható meg, mint egy gázelegy. A por-levegő elegy gyulladási hőmérséklete leginkább 300–600 °C között van, csak néhány anyag pora gyullad 300 °C alatt. A nedvességtartalom növeli a gyulladáspontot (44. ábra).



44. ábra: A porrobbanás kialakulási feltételének „ötszöges” ábrázolása;

Forrás: <http://latex-enclosure.com/information/hazardous-area-info/> alapján saját készítésű; letöltés: 2014. március 1.

Másodlagos porrobbanás

A porrobbanás rendszerint két lépcsőben valósul meg. Az első porrobbanás a helyiség kis térfogatára korlátozódik, amely felkavarja az ott felgyülemlett (a felszínre rakódott) portömeget robbanóképes koncentrációjú keverékké (nagyobb térben összpontosul, mint az első robbanás). Az első robbanás lángja és egyéb égési maradványok a felkavart porfelhő gyújtóforrásai. Másodlagos porrobbanás keletkezik, amely általában sokkal pusztítóbb, mint az első. Az alsó robbanási határ koncentrációját elérő porfelhő nem átlátszó. Megközelítőleg egy 40 W-os izzólámpa fénye 1 m távolságból már nem látható.

Sújtólég- és szénporrobbanás a bányában

A szénbányák nagy részében a kitermeléssel párhuzamosan éghető gáz (főként metánt tartalmaz) és por (felkeveredett szénpor, a huzathatás tartja fluid állapotban) szabadul fel. A me-

tán és levegő robbanóképes elegye a sújtólég. Robbanási tartománya 5–15 térfogat-százalék (térfogat%). A legintenzívebb robbanásra a 9,5 térfogat%-os metántartalmú gázelegy képes.

A szénporfelhő konkrét feltételek között alakul robbanóképpé, amely fokozódik, ha kisebb a nedvességtartalma, több illékony komponenst tartalmaz, kevesebb a hamutartalma, és kicsi a szemcsemérete. Miután a bányában levő szénpor már leülepedett, általában a sújtólégrobbanás kavarja fel porfelhővé (állítja be a szénpor-levegő veszélyes keverékét). Ezért másodlagos porrobbanás következik be, amelynek gyújtóforrása a sújtólégrobbanás során keletkező lángok, szikrák, izzó szilárd részek lehetnek. A sújtólégrobbanás kisebb térrészre összpontosul, mivel a robbanási góctól távolodva ugrásszerűen csökken a bánya légterének metántartalma, vagyis a robbanás feltételei egy bizonyos távolság után már nem teljesülnek. Ezzel szemben a szénporrobbanás jóval kiterjedtebb területen fejti ki pusztító hatását, mert az előrehaladó nyomáshullám a leülepedett szénpor egy részét felkavarja (fluid állapotba kerül), amit a robbanás lángja képes meggyújtani.

Ködrobbanás

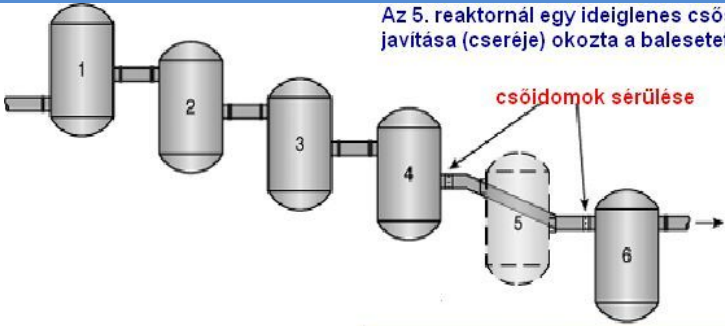
A köd gázban, gőzben, levegőben változó ideig lebegő folyadékcseppekből áll. A ködcsepp a folyadék felületi feszültségének hatására gömb (golyó) alakú. A cseppek egymással érintkezve nagyobb cseppekké állnak össze és kondenzálódhatnak. Eltérés, hogy nem képeznek réteget, mint a porok.

A köd kémiai tulajdonságai megegyeznek a ködöt alkotó folyadék tulajdonságaival, néhány fizikai tulajdonsága különböző. A nagy cseppek mennyiségét és méretét két összetevő szabja meg: nagyobb felületi feszültség esetén a csepp mérete is nagyobb, de a nagy csepp ülepedési sebessége is megnő.


Köd keletkezésére jó néhány lehetőség adódik, még üzemi berendezések folyamatos működése is eredményezheti. Ködöt hoz létre a mechanikai hatás, például forgó eszköz, propeller, nagy sebességű levegőporlasztás, üzemcsarnokban fellépő huzathatás egy nyitott reakcióedény (reaktor) mellett. További ködképző jelenség a kondenzáció: hőmérséklet csökkenésére a gőzfázisból a harmatponton a folyadék finom cseppekké kondenzálódva kiválik. A vegyiparban számtalan esemény előidézhetheti a ködképződést. Megemlítve egy kevésbé gyakori módot: megvalósulhat, hogy a fluid állapotba került porrészecskék lebegés közben megolvadnak és köddé válnak. Ez történhet akkor, amikor naftalinport (olvadáspont: 80,26 °C) adagolunk egy reaktor meleg légterébe.

Az előbbieknél ismertetteknek megfelelően tehát a köd keletkezése két lépésben megy végbe: a folyadék először elpárolog, majd kondenzálódik.


Az 5. reaktornál egy ideiglenes csőszakasz javítása (cseréje) okozta a balesetet



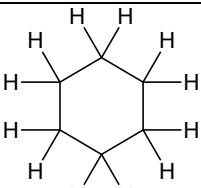
csőidomok sérülése




csőidom repedése
a gőz meggyulladása



kiszabaduló ciklohexán gőz



cyclohexane



Forráspont: 81°C
Olvadáspont: 7°C

ciklohexán
hexahidrobenzol
hexametilén
naftén
C₆H₁₂

45. ábra: A Nypro Factory (Flixborough, United Kingdom, 1974) bekövetkezett ipari baleset rövid ismertetése, és a ciklohexán fontosabb fizikai-kémiai tulajdonságai

Forrás: http://www.szogaku.com/fkd/en/mfen/MB1058048_02.jpg;

<http://www.szogaku.com/fkd/en/cfen/CB1058048.html>;

<http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1717264&seqNum=8>;

http://www.omfi.hu/icsc/PDF/PDF02/icsc0242_HUN.PDF;

Az 1974-ben bekövetkezett fliborough-i balesetnél a nagy átmérőjű, megsérült és elrepedt csővezeték-részből forró ciklohexán folyadék áramlott ki, amely túlnyomó részében (azonnal) gőzzé alakulva szabadult ki a nyomás alatt álló reaktorból. Majd a légtér kisebb hőmérsékleti részeinél kondenzálódott ciklohexáncseppek ciklohexángőz levegővel alkotott keveréke jött létre. Ez pedig szikra hatására begyulladt (45. ábra). A baleset paraméterei 155 °C és 8,6 bar. Megközelítőleg 50 tonna ciklohexán került a levegőbe, és 28 ember vesztette életét, 36 fő megsérült. Az anyagi kár jelentős, 1821 ház és 167 üzlethelyiség szenvedett kárt.

A rotterdami nyílt térrobbanáskor a sloptartályt (olyan tartály, amely maradék oldószerek, illetve egyéb folyadékok átmeneti összegyűjtésére szolgál a következő felhasználásig) fűtő nagy sebességű direkt gőz mechanikus porlasztást és elpárolgást is előidézett. A párából a kondenzáció folyamatában, a nyílt térben köd alakult ki.

A klasszikus értelemben vett köd csak szórványosan fordul elő. Az alacsony forráspontú folyadékból képződött ködben a cseppek között nemcsak levegő, hanem a folyadék gőze is jelen van. Ebben az esetben a köd úgy viselkedik, mint a folyadéknak a gőze, amelyből keletkezett. Meggyulladás, alsó és felső robbanási határa közel azonos a gőzével. Ugyanez mondható el, ha a köd igen finom cseppekből áll.

A köd gyulladási mechanizmusa összevethető egy porfelhő meggyulladásási folyamatával. A gyújtóforrás hője és a még égő, közeli részecskéktől sugárzó hőenergia elkezdi párologtatni a cseppeket. Majd a pára a ködfelhő levegőjével homogénné keveredik. Így aztán a ködrobbanás gőzrobbanássá válik, és úgy is fejeződik be. A nyomáshullám által okozott kár néhány jellemző értéknél a 13. táblázatban látható.

Túlnyomás [bar]	Kárhatás
0,007–0,05	Az alacsony gyártási minőségű ablakok betörnek
0,05–0,1	Minden ablak betörik
0,1–0,2	Az épületekben nagy kiterjedésű repedések alakulnak ki
0,2–0,3	A városi tégláépületekben nagy kiterjedésű, áthatoló szerkezeti repedések (károsodás) keletkeznek
0,3–0,6	A kő- és betonépítmények lerombolódnak
0,6–1,0	Az acélváz és vasbeton építmények nagyfokú sérülést szenvednek
1,0	Minden polgári célú épületszerkezet megsemmisül

13. táblázat: A nyomáshullám által okozott kár

Forrás: http://dragon.klte.hu/~benegleges_elmelet.pdf alapján saját szerkesztés;

letöltés: 2014. március 1.

6.6.2 A biztonságos munkakörülmények kialakítása

A vegyi anyagokkal kapcsolatos tevékenység veszélyes (bizonyos fokú kockázattal rendelkező) folyamatok összessége. Jelenlegi életszínvonalunk fenntartásához elengedhetetlenek a különböző üzemekben előállított termékek, amelyekhez jelentős mennyiségű vegyület előállítására, szállítására, átalakítására, raktározására van szükség. A sok évtizedes szakmai tapasztalat alapján kialakított, megtervezett gyártási utasítások és paraméterek (fizikai-kémia, kémia) pontos betartása a kockázatot minimális értékre csökkenti.

Az alábbiakban a biztonságos munkakörülményekhez szükséges néhány fontos alapszabály összefoglalása található veszélyes üzemek esetében:

1. Az üzemcsarnokban nem alakulhat ki gyúlékony légtér:

- az üzemcsarnok levegőjében előforduló anyag koncentrációját a minimálisra, az alsó határérték alá kell csökkenteni,
- lehetőség szerint zárt technológiát kell üzemeltetni, folyamatos gyártási móddal,
- meg kell akadályozni a finom eloszlású, gyúlékony anyagok veszélyes felhalmozódását (mind a levegőben, mind a szerkezeti elemeken),
- a gépek, berendezések, szerszámok anyagát helyesen kell megválasztani (például vanádium ötvözetek a szikrautasítás elkerülése érdekében).

2. Megakadályozni a gyúlékony légtér meggyulladását:

Magyarán a gyújtóforrásokat megfelelő távolságra kell tartani a gyúlékony anyagoktól. Néhány gyakoribb gyújtóforrás a nyílt láng, a forró (izzó) felület, a forró gáz és gőz, a szikrautasítás, a statikus feltöltődés, az elektromágneses hullámok, az erős fényhatás, a hőtermelő vegyi folyamatok.

A légtér veszélyesség szerint három zónára osztható (46. ábra):

- a 0. zónában semminemű gyújtóforrás nem lehet jelen (a robbanásveszély előfordulása a légtérben több, mint 1000 óra/év),
- az 1. zónában ritkán előfordulhat gyújtóforrás, de a gyújtást megfelelő üzemi utasításokkal meg kell akadályozni (a robbanásveszély előfordulása a légtérben 10 és 1000 óra/év közötti érték),
- a 2. zónában gyújtóforrás rendszeres vagy gyakori kialakulása nem engedhető meg (a robbanásveszély előfordulása a légtérben kevesebb, mint 10 óra/év).

3. Csökkenteni a tűz-, illetve robbanás esetleges hatásait:

- a nyomást csökkentése (lefúvató szelep, hasadótárcsa),
- a berendezés (reaktor) alakjának a tervezésekor figyelembe kell venni az optimális nyomásellenállást,
- robbanás energiáját elnyelő (szétoszlató) segédberendezések alkalmazása.



46. ábra: A veszélyességi zónák szemléltetése egy tartály közelében

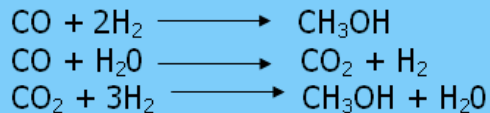
Forrás: <http://atex-enclosure.com/information/hazardous-area-info/> alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

7. ALKALMAZOTT KÉMIA

7.1 Metanol előállítása [15]

A metanol előállítása nagynyomású szintézisgázból (CO/H₂) történik többlépcsős folyamatban, amelyek a reakció paramétereiben és az alkalmazott katalizátorokban térnek el egymástól (47. ábra).

Napjainkban metánból kiindulva állítják elő a szintézisgázt, amelyben a CO és H₂ gáz aránya nem alkalmas a reakcióhoz, így legfontosabb, hogy beállítsák a megfelelő sztöchiometrikus (1:2) arányt. A nagynyomású, BASF-eljárás paraméterei: 350 °C és 340 bar, a katalizátor pedig ZnO–Cr₂O₃. A mellékreakciók lejátsszódása ellen rövid (1-2 sec) tartózkodási időt állítanak be, a konverzió egyszerű átfutásban alacsony, mintegy 12–15%.



47. ábra: A metanol előállításánál lejátszódó folyamatok reakcióegyenletei

Forrás: <http://www.ttmethanol.com/web/methprocess.html#>; letöltés: 2014. március 1.

Metanol ipari felhasználása

A metanol leggyakrabban motorbenzin segédanyagaként (adalék) és oldószerként kerül felhasználásra. További felhasználása:

- formaldehid (speciális műanyagok és gyanták előállításához)
- metil-tercier-butil-éter (üzemanyagok adaléka)
- ecetsav
- dimetil-tereftalát (poliésterből ruházat és szőnyegek készítéséhez)
- metil-metakrilát (akril műanyagok különböző jelzések és lámpatestek anyaga)
- metilamin (pesticidgyártás és oldószer a textiliparban)
- üzemanyag (autómotorokhoz az M 85 adaléka)
- fagyállók kiegészítő anyagaként

7.2 Növényvédőszer [15]

Azokat a vegyületeket nevezzük növényvédőszereknek (peszticideknek/agrokemikáliáknak), amelyek a mezőgazdaságban termesztett növények, valamint termények kártevők elleni védelmét segítik. Megalapozottan állítható, hogy a növényvédőszer alkalmazása nélkül a termés 30-40%-a használhatatlanná válhat. A növényvédelemben az elmúlt évtizedekben jelentős számú anyag került felhasználásra, egy részüket ma már nem alkalmazzák. A növényvédőszer főbb (célterület szerinti) csoportjai: rovarölőszer (inszekticidek), gyomirtók (herbicidek), valamint gombaölők (fungicidek).

A növényvédőszer hatása alapján kontakt vagy szisztematikus lehet. Kontakt, amikor a növényvel érintkezik; szisztematikus pedig abban az esetben, amikor a növény vízháztartásán keresztül (a növény körül) mindenhol védelemet biztosít. Fontos megjegyezni, hogy a növényi terményeket (például gabonát, burgonyát, cukorrépát) is védeni kell.


A peszticidek alkalmazása előtt, a hatóanyag előállítás után közvetlenül követi a formálás (formulázás), vagyis a megfelelő formátum kialakítása és hígító-, hordozóanyagok, valamint (a hatékonyságot növelő anyagok) adalékanyagok (például diszpergáló- és emulgeálószer, antioxidáns) hozzáadása. Az így előállított készítményt nevezzük növényvédőszernek, ami oldat, szuszpenzió vagy emulzió is lehet.

Rovarölőszer (inszekticidek)

A valóban káros rovarok száma csak töredéke az összes rovarok számának. A biológiai érés rovaroknál a pete, lárva (hernyó), báb, kifejlesztett rovar állapotokon át bármelyik szakaszban alkalmazható az inszekticid. Általában idegmérgeket alkalmaznak.

Gombaölőszer (fungicidek)

Néhány jellegzetes gombabetegség, mint például a gabonaüszög, a peronoszpóra, a lisztharman, a szürkerothadás, a teljes védekezés sokszor hosszadalmas munkát követel. Alkalmazási felosztása alapján létezik megelőző és gyógyító fungicid-komponens is. Régebben gyakran alkalmaztak fém sókat, például a rézgalic (CuSO_4) és az elemi kén gombaölő hatását is alkalmazták (48. ábra).

réz-szulfát pentahidrát réz-vitriol, rézgalic, réz(II)-szulfát-pentahidrát $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	
	Vízbe jutva veszélyes. Halakra és a vízi növényekre mérgező. Hal toxicitás: LC_{50} : 235 mg/l Vízi növények: LC_{50} 25 mg/l

48. ábra: Réz-szulfát (5 mol kristályvízzel) különböző elnevezései és fő veszélyei; Forrás: www.omfi.hu alapján saját készítésű ábra; letöltés: 2014. március 1.

Gyomirtószer (herbicid)

Használatuk alapján nem szelektív és szelektív mód lehetséges. A szelektív szereket a kultúrnövény kikelése előtt szokás felhasználni, például ha egyszikű kultúrnövény közelében kétszikű a gyomnövény.

7.3 Műtrágyák [16]**7.3.1 Ammóniumvegyületek****Ammónium-nitrát AN, ammonsalétrom (NH₄NO₃) 34 ± 0,3% N**

Az ammónia és salétromsav egyesítésével ammónium-nitrát képződik:



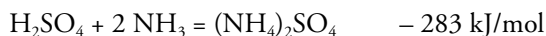
A reakció végén a 94-96%-os oldatot bepárolják, majd lehűtik, ezáltal szemcsékké dermedtik. Az ammónium-nitrát erősen higroszkópos és robbanásveszélyes, tárolásánál ezt figyelembe kell venni. A vízfelvétel következtében a szemcsék összetapadnak, ezért a granulátum szemcséit védőréteggel vonják be. Fontos, hogy az ammónium-nitrátot műanyag zsákokban forgalmazzák, maximum 6 réteget szabad egymásra helyezni.

Mészammonsalétrom MAS, pétisó (NH₄NO₃ + CaCO₃) 25-28% N

Magyarországon a mézszammonsalétrom pétisó néven kerül forgalomba; az ammónium-nitrát és kalcium-karbonát (mészkeőpor vagy dolomitpor) 75:25 (esetenként 80:20) arányú keverékéből áll. A 94-95%-os tisztaságú ammónium-nitrátot összeolvasztják finomra őrtölt mészkeő- vagy dolomitporral (CaCO₃, MgCO₃), ezután a keveréket speciális berendezésben lehűtik és formázzák. A felhasználás szempontjából jó irányú változás történik fizikai tulajdonságokban; nevezetesen a tapadása és a higroszkóposága lényegesen kisebb lesz, ezért alkalmasabb a felhasználás és tárolás tekintetében. Így robbanásveszély már nem áll fenn. A dolomitporral kevert műtrágya megközelítőleg 2-4% MgO-t tartalmaz, így alkalmas a Mg (növények igényének) pótlására is. Az ammónium-nitrát vegyület savasan hidrolizál, így fiziológiailag a talajban savanyú kémhatású, ezzel szemben a mézszammonsalétrom közömbös pH-értékű. Ez annak köszönhető, hogy a mész, illetve a dolomit megközelítőleg közömbösíti az ammónium-nitrát fiziológiai savanyúságát.

Ammónium-szulfát AS, kénsavas ammónia (NH₄)₂SO₄ 20-21% N + 24% S

Az ammónium-szulfát gyártása a kénsav és ammóniagáz reakcióján alapul:



Az így kapott telített oldatból az $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ csapadékot centrifugálják, majd megszáritják. Az ammónium-szulfát jól oldódik vízben. Fiziológiai kémhatása savanyú, ezért savanyú jellemű talajoknál nem ajánlott felhasználni. Raktározáshoz közel ideális tulajdonságokkal rendelkezik, a nedvesség hatására csak kis mértékben tapad; mezőgazdasági eszközökkel jól teríthető. Számottevő szulfáttartalma miatt a kén pótlására is kiváló, így kénigényes kultúráknál kedvezően alkalmazható.

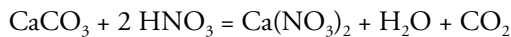
7.3.2 Nitrátvegyületek

Kálium-nitrát KN (KNO_3) 13% N + 38% K

A kálium-nitrát vízben nagyon jól oldódó vegyület. Az 1 : 3 = N : K arány viszont előnytelen, ezért N kiegészítést igényel. Hátránya, hogy a kálium-nitrát előállításának költségei magasak, ez alkalmazását behatárolja.

Kalcium-nitrát CaN, mészsáletrom $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 12-15% N + 28% CaO

Előállítása a salétromsav és mészkőpor reakciójával történik:



A kalcium-nitrát az első szintetikus nitrogénműtrágyaként vonult be a történelembe. Jelentősebb, ipari méretekben történő gyártását 1905-ben kezdték meg Norvégiában. Hátránya, hogy nagyon higroszkópos vegyület, és ez jelentősen tapadóssá teszi. E tulajdonság mérséklésére a raktározás és a szállítás előtt mészkőporral (paraffinos olajos réteggel) vonják be a műtrágya szemcséit. Lúgos kémhatású műtrágya, ez okból savanyú talajokon előnyös alkalmazni. Emellett alkalmazása a szikesedésre hajlamos talajokon Ca-tartalma miatt előnyös a Na-ionok lecserélésére.

7.3.3 Amid-nitrogént tartalmazó vegyületek (karbamid és származékai)

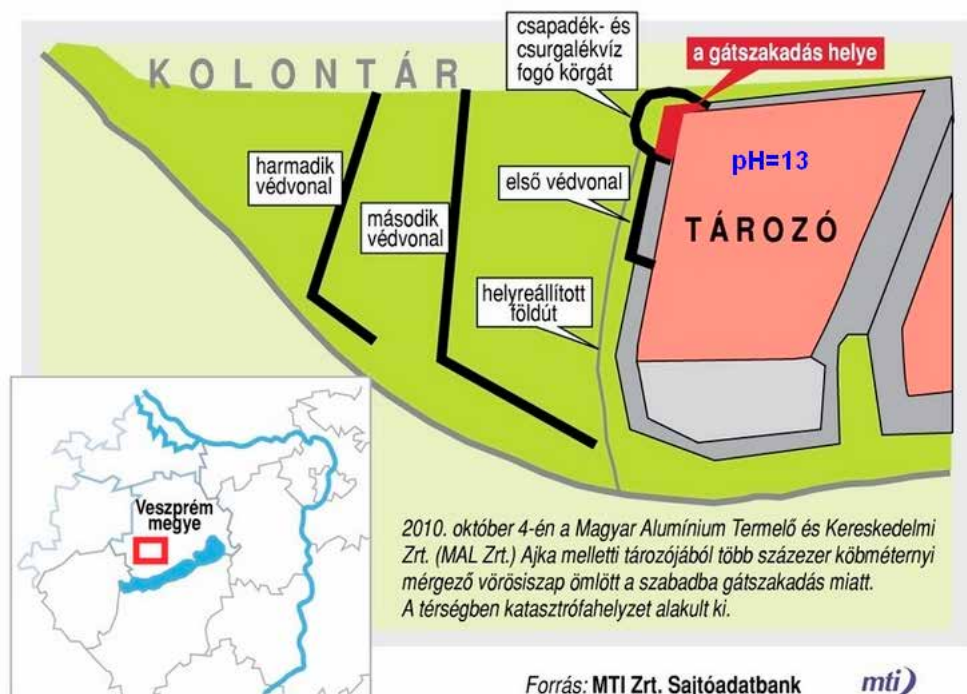
Karbamid U $\text{CO}(\text{NH}_4)_2$ 46,6% NA karbamid előállítása szén-dioxid gáz és ammónia reakciójával valósul meg nagy nyomáson és magas hőmérsékleten. Régebben használatos eredeti neve, az urea arra utal, hogy az emberi vizeletből mutatták ki (Rouelle, 1773). 1828-ban Wöhler német vegyész szintetikus úton is előállította. A szintetikus módon gyártott karbamid a legkoncentráltabb szilárd nitrogénműtrágya. Fehér színű, szemcsés, vízben jól oldódik (körülbelül 1:1 arányban), mérsékelt higroszkópos. Fontos megjegyezni, hogy a karbamid szerves vegyület, és vízben nem ionosan, hanem molekulárisan oldódik, ennek következtében a levélen keresztül is kedvezően alkalmazható, mivel nincs elektrolit-hatás a folyamat során.

Legtöbbször műtrágyaként alkalmazzák, de a kérődző állatok takarmányozásánál nitrogén pótlására, kiegészítésére is sokszor felhasználják. Nagy koncentrációnál a karbamid mérgező

lehet az élővilágra. A mérgező tulajdonságot a két molekula összekapcsolódásával keletkező biuret vegyület idézi elő (3,0% feletti koncentrációnál jelentkezik).

7.4 Timföldgyártás és hulladéka, a vörösiszap [17–20]

2010. október 4-én 12 óra után a Kolontár és Ajka között alapított, a Magyar Alumínium Termelő és Kereskedelmi Zrt. tulajdonában lévő Ajkai Timföldgyár 300 m × 500 m-es vörösiszap-tárolójának gátja átszakadt. A kiömlő iszap elöntötte Kolontár, Devecser és Somlóvásárhely települések mélyebben elterülő részeit (49. ábra).




49. ábra: Vázlat a sérült tározó körüli kolontári védőgátrendszerrel

Forrás: http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=lakossag_kolontar_dam; letöltés: 2014. március 1.

A közel 13-as pH-jú, nagyon lúgos, maró hatású ipari mellékterméket (nátrium-hidroxid tartalma jelentős, 50. ábra) tartalmazó hulladék nagy területet beszennyezett, ezáltal mérhe-

tetlen gazdasági és ökológiai károkat okozott az Ajkai kistérségben. A „vörösizsap” kifejezés örökre bevészte magát az emberek gondolatvilágába. Magyarország elmúlt évtizedeinek egyik legnagyobb ipari balesete 10 emberéletet követelt.

<p>NaOH nátrium-hidroxid nátronlúg marónátron</p> <p>Forráspont: 1388 °C Olvadáspont: 318 °C Oldékonyság vízben, g/100 ml 20 °C-on: 109 nagyon jó</p>	 <p>GHS alapján Veszély Lenyelve ártalmas Súlyos égési sérülést és szemkárosodást okozLégúti irritációt okozhat</p>	<p>Jellemző tulajdonságai:</p> <ul style="list-style-type: none"> • maró hatású anyaghelyileg irritáló anyagok • az anyag veszélyes lehet a környezetre; különös figyelmet kell fordítani a vízi élőlényekre
---	--	--

50. ábra: A nátrium-hidroxid elnevezései és jellemző tulajdonságainak rövid összefoglalása

Forrás: http://www.omfi.hu/licsc/PDF/PDF03/licsc0360_HUN.PDF alapján saját készítésű ábra; letöltés: 2014. március 1.

A vörösizsap a timföldgyártás mellékterméke, hulladéka, amely országunkban jelentős mennyiségben képződik. A hazánkban használt ipari termelési módszerek alkalmazásával a keletkező izsap kivételes kezelést igényel. Megjegyzendő, hogy a világ vezető timföld-, illetve alumíniumgyártó országai sem tudták megnyugtató módon kezelni a kérdéskört.

Magyarországon, jó néhány országhoz hasonlóan, zagyterekben helyezik el a vörösizsapot. Általánosságban kijelenthető, hogy meghatározó a szállítás költsége, ezért Magyarországon a tározók mindenhol a timföldgyárak szomszédságában kerülnek kialakításra. Néhány példa zagytározó létesítésére: Ajka, Almásfüzitő és Mosonmagyaróvár.

Timföldgyártás

A timföldgyártás a bauxitra épült hazánkban. Az előfordulási hely klíma- és földtani viszonyai alapján két főtípust különböztetünk meg:

- Karsztbauxit, amelynek jellemzője, hogy az erősen karsztosodott karbonát-térszín, a dolomit, illetve a mészkő mélyedéseiben található, általában vastag takaróréteg fedi és földünk mediterrán övezetében található. Kora általában 40-90 millió év.
- Lateritbauxit, amelynek jellemzője, hogy szilikátos (kvarchomokkő), üledékes kőzet-térszínre épült rá, többnyire vékony, 1-2 m vastag takaróréteg fedi, és a föld trópusi övezetében fordul elő. Kora a legújabb kutatások szerint kevesebb, mint 1 millió év.

Összetétel	Karszt bauxit	Laterit bauxit
	% vízmentes alapon	
Al ₂ O ₃	48 - 60	54 - 61
SiO ₂	3 - 7	1 - 6
Fe ₂ O ₃	15 - 23	2 - 10
TiO ₂	2 - 3	2 - 4
CaO	1 - 3	0 - 4
H ₂ O	10 - 14	20 - 28
Zn, V, C szerves	nyomelemként	-

14. táblázat: A karszt- és a lateritbauxit tömegszázalékos összetételének összehasonlítása
 Forrás: http://www.chem.elte.hu/system/files/ELTE_vorosiszap_lexikonja.pdf alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

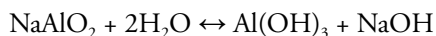
A Magyarországon fellelhető karsztbauxit 2–7-szer több Fe₂O₃-ot tartalmaz. A tömegszázalékos összetételüket a 14. táblázat mutatja be.

Az alumíniumipar alapvető alapanyaga a timföld, amelyet a timföldgyárakban rendszerint Bayer-eljárással készítenek. Ezzel az eljárással termelik a világ timföldjének 90%-át. Kevésbé gazdaságos esetekben alkalmaznak másfajta eljárást (létezik még 30-40 különféle módszer).

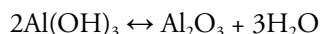
Bayer-eljárás folyamata

A kitermelt bauxitot aprítást követően tömény lúggal keverik, őrlik, ezzel megkezdődik a feltárás. A zárt, duplafalú reaktoredényben 100–250 °C-on az alumínium-oxihidrát-tartalom feloldódik a nátrium-aluminát oldatban. Az egyéb részeket a szilícium-oxid kivételével lúg nem oldja fel. A nemkívánatos mellékreakciók miatt a szilícium-oxidból nátrium-alumínium-szilikát képződik, ami számottevő alumínium- és nátrium-veszteséget eredményez. Tulajdonképpen a vörösiszap a bauxitból egyéb, fel nem oldható alkotórészek, és a nátriumalumínium-szilikát összessége (emellett jelentős mennyiségű alkáli-hidroxidot is tartalmaz).

A következő lépésben az iszaptól elkülönítik az oldatot, és lehűtik, alumínium-hidroxidot adnak hozzá, majd folyamatos kevertetés mellett az alumíniumtartalom legalább 40-50%-át kiválasztják. Ez nevezzük a kikeverés műveletének.



A kicsapódott alumínium-hidroxidot elválasztják, és timfölddé kalcinálják.





51. ábra: Az alumínium-gyártás főbb lépéseinek összefoglalása

Forrás: http://www.chem.elte.hu/system/files/ELTE_vorosiszap_lexikonja.pdf; letöltés: 2014. március 1.

A Bayer-eljárásnak két különböző megoldása fejlődött ki a gyakorlatban, méghozzá az európai és az amerikai változat. A két különböző eljárás a folyamat több részén is másféle paraméterekkel dolgozik, és az egyes részfolyamatoknál előállított termékek fizikai adottságai is eltérnek egymástól. A különbözőségekre magyarázat, hogy a felhasznált lúg koncentrációja, a berendezések, illetőleg a résztechnológiai megoldások differenciái eredményezik az előállított timföld minőségének különbségét. A két, különböző összetételű bauxit miatt volt szükség a különböző technológiai megoldások bevezetésére (51. ábra).

A vörösiszap elválasztása az alumínátlúgtól

Ez három lépésben valósul meg:

- a vörösiszap elválasztása az alumínátlúgtól, az alumínátlúg zavaró (lebegő) szennyeződésektől történő megtisztítása
- vörösiszap kimosása (veszélyesség csökkentés, segédanyag visszanyerés), és a hulladéklerakóba történő elszállítása
- alumínátlúg előkezelése (lehűtése) az alumínium-hidroxid kiválasztása érdekében

A vörösiszap az alumínátlúggal zagyot alkot. A szétválasztásra általában ülepetést használnak, amelynek technológiai alapja a nehézségi erő hatására történő elkülönülés.

Az irodalmi adatok jól alátámasztják, hogy a különböző típusú bauxitból keletkező vörösiszap eltérő sebességgel ülepedik. Az ülepedést befolyásoló feltételek a következők:

- a bauxitban és az abból keletkező vörösiszapban előforduló vasvegyületek ásványos összetétele
- az ülepedés alkalmával a timföldhidrát kiválásának a mértéke
- a bauxit kovasavtartalma
- iszap szemcsemérete, szemcseeloszlása és hidratáltsági foka

Ülepítésre rendszerint egykamrás Dorr-ülepítőt alkalmaznak. Átmérője 32–35 méter, magassága megközelíti a 8 métert. Maga az ülepítő alja lapos kialakítású, az iszapot oldalsó elvezetéssel távolítják el. A keverést kerületi meghajtással bonyolítják.

A vörösiszap kezelés fő szempontjai

A szempontrendszer vezérelvei a környezetvédelem, a biztonság, a gazdaságosság.

A gazdaságossági tényezőket befolyásolja:

- a lerakott hulladék kitermelésének költségei,
- a szállítás költségei,
- az esetlegesen alkalmazható hasznosításhoz a segédanyag-felhasználás költségei.

A vörösiszap feldolgozása, komplikált, soktényezős megoldásokat igényel. Néhány meghatározóbb akadály felsorolása következik.

A vörösiszap kezelési és hasznosítási lehetőségei

A The Aluminium Association Washington DC által kiadott Technology Roadmap for Bauxite Residue Treatment and Utilization ajánlásban a szakemberek összefoglalták a lehetséges javaslatokat. A fő tervek a következők voltak:

- hulladékkezelés és -lerakás
- lerakás előtti hasznosítás
- a technológia változtatása
- az értékeesebb fémalkotók kinyerése a vörösiszaptól
- bauxit hasznosítása
- kén-dioxid és szén-dioxid tartalmú gázok tisztítása
- felhasználás további különféle gyártási célokra

A timföldgyártás során az előzőekben bemutatott Bayer-eljárást alkalmazva különböző összetételű és mennyiségű melléktermék is keletkezik. A legnagyobb mennyiségben a vörösiszap jön létre. Mennyisége és összetétele elsősorban a feldolgozott bauxit összetételétől függ, amely számos értékes alkotórészt is tartalmaz (15. táblázat), de gazdaságos feldolgozása még nem megoldott. A hasznos alkotórészek közé Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O komplexvegyületei, valamint számos, kis mennyiségben megtalálható fém sorolható.

Hazánkban és szerte a világon nagy területeket elfoglaló és igen költséges kialakítású, illetve fenntartású iszaptavakat használnak a vörösiszap elhelyezésére, amelyek mindenekeztül a szállítási költségek minimalizálása céljából a timföldgyár közelében kerülnek kialakításra.

A vörösiszap kémiai összetétele	
komponensek	tömegszázalék
Fe ₂ O ₃	33-40%
Al ₂ O ₃	15-19%
SiO ₂	10-15%
Na ₂ O	7-11%
TiO ₂	4-6%
CaO	3-9%
V ₂ O ₅	0,2-0,4%
P ₂ O ₅	0,5-1,0%
CO ₂	2-3%
SO ₃	0,8-1,5%
MgO	0,3-1,0%
F	0,1-0,15%
C	0,15-0,20%

15. táblázat: A vörösiszap fizikai jellemzői és kémiai összetétele

Forrás: http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=lakossag_kolontar_vorosizsap_batasai alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

A vörösiszap lerakása

A tárolási módszereket sok tényező befolyásolja, többek között a térség természetvédelmi, környezetvédelmi sajátosságai és a helyi szabályozás. Ezek figyelembevételével lehetséges meghatározni a tározók elképzelhető helyét és a megvalósítás módjait.

Az elmúlt évtizedek tapasztalatainak megfelelően két különböző típusú lerakás alkalmaznak. Magyarországon a nedves lerakás, külföldön pedig a száraz vagy félszáraz lerakás kerül kivitelezésre.

Nedves lerakás

A timföldgyárból az iszapot víztelenítés nélkül helyezik el a zagyártározóban. A lerakó megépítésekor elengedhetetlen kritérium a talajba való elszivárgás teljes megakadályozása, továbbá a fal stabilitásának tartóssága.

Hazánkban megtervezett lerakó rendszerint védőgáttal (vagy rendszerrel) körbeépített, medence formájú depóniát jelent, ezt a típus használják más, folyékony vagy iszapszerű ipari hulladékok tárolására is. Ez elterjedt tárolási mód még a bányászatban és a kohászatban is.

Száraz lerakás

Ehhez az eljáráshoz a vörösiszap nedvességtartalmát szükséges lecsökkenteni. Az optimális szárazanyag-tartalom megvalósításához vákuumszűrést, esetenként nagynyomású technikákat alkalmaznak a víz- és lúgmentesítéshez. Több különböző megvalósítása van e lerakási módnak, a legelterjedtebb, hogy a lecsökkentett nedvességtartalmú zagyból vékony réteget terítenek szét nagy felületen, majd megszáradása után további réteget borítanak rá.

Félszáraz lerakás

Ebben az esetben a száraz és a nedves eljárás közötti megoldásra kerül sor. Az iszap nedvességtartalma számottevően alacsonyabb, mint a nedves lerakás esetében. Előny a száraz lerakással szemben, hogy a zagy szállítása a gyárból közvetlenül egy csővezetéken keresztül valósul meg, ez költségkímélőbb, mint teherautókkal vagy vasúton történő szállítás.

A fejlett országokban szívesebben alkalmazzák a száraz eljárást. Ennek előnyeit és hátrányait a nedves eljárással szemben az alábbiakban foglaljuk össze.

Fontosabb előnyök:

- A lerakók számottevően kisebb helyet foglalnak el (a kisebb nedvességtartalom miatt),
- a talajvizet károsan befolyásoló (az ivóvízbázisok esetleges elszennyezésének esélye miatt) nátriumtartalom a nedvességtartalom csökkentésével alacsonyabb értékű, mivel az iszap nátriumtartalmának jelentős része oldott fázisban található,
- környezetpolitikai és gazdaságossági előnyökkel jellemezhető ez a tárolási mód.

Hátránya:

- A nedvességtartalom jelentős lecsökkentése és a nedves technológiai megvalósítások száraz lerakássá változtatása számottevő többletköltséget jelent.

Az ajkai timföldgyárban keletkezett vörösiszap esetében a nedves lerakást alkalmazzák, viszont a 2010-es katasztrófa felhívta a figyelmet az eljárás átgondolására.

Külföldön történt iszapkatasztrófa

A tengerparti országok az 1970-es évekig azt a módszert alkalmazták, hogy az iszapot a tengerek mélyebb részeire vezették csővezeték-hálózaton át. Ennek a környezetvédelmi szempontból rendkívüli módon helyteleníthető eljárásnak a Korzikán bekövetkezett vörösiszap-katasztrófa vetett véget. 1972-ben egy olasz vegyipari vállalat titán- és vanádiumszármazékokkal folytatott tevékenységet. Az ipari termelés során termelődő nagyon veszélyes hulladékot (mellékterméket) a gyár a Földközi-tengerbe engedte. A króm-, titán-, arzén-, ólom- és kadmiumtartalmú, erősen maró hatású, lúgos pH-értékű iszap a tengerbe jutott, és felbecsülhetetlen ökológiai következményeket idézett elő, több négyzetkilométeres körzetben megsemmisítette a tengeri élővilágot. A társadalmi tiltakozások ellenére sem állították le a műveleteket, a vállalat csak 1976-ban hagyta abba a veszedelmes tevékenységét. Néhány év alatt 2000–3000 tonna iszapot juttattak a Földközi-tengerbe.

7.5 Kénsavgyártás [19, 21]

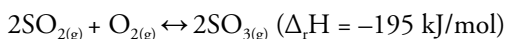
A kénsav a vegyipar legfontosabb alapanyagai közé tartozik, ezért igen nagy mennyiségben állítják elő a világ legtöbb országában. A kénsavgyártás egyszerűsített lépései (52. ábra):

1. A kén-dioxid előállítás kénből a levegő oxigénjével (exoterm reakció):



A legegyszerűbb módszer, ha cseppfolyós elemi kén kerül elégetésre.

2. A SO_2 további oxidációja kén-trioxiddá:



A felvázolt oxidációs folyamat egyensúlyra vezető, exoterm reakció, ennek következtében a kén-trioxid keletkezésének az alacsony hőmérséklet kedvez. Túlságosan alacsony hőmérsékleten azonban a reakció túl időigényessé válik, ez pedig nem költséghatékony. A folyamatot 400-500°C közötti hőmérsékleten, vanádium-pentaoxid (V_2O_5) katalizátor jelenlétében hajtják végre.

A folyamat megfordítható és nem játszódik le teljesen a reaktorban, az át nem alakult kiindulási anyagokat visszavezetik a reakció teljessé tétele érdekében.

3. A kén-trioxid elnyeletése

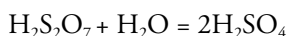
A kén-trioxid vízzel kénsavvá alakul (eközben jelentős mennyiségű hő termelődik):

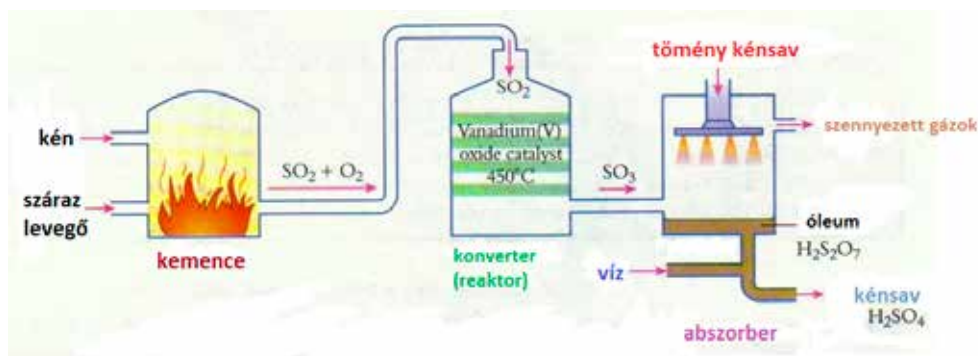


A kén-trioxid nagyon vehemensen köti meg a vizet, a levegő páratartalmával is elreagál, úgynevezett kolloid kénsavköd keletkezik a folyadékfázis fölött, ez pedig nagyon nehezen oldódik. Ezért – a gyakorlati tapasztalat alapján – nem vízben nyeletik el a kén-trioxidot, hanem kénsavban:



A képződött dikénsav (pirokénsav, vitriol, óleum) vízzel történő hígításával bármilyen töménységű kénsav előállítható:





52. ábra: A kénsav gyártásának egyszerűsített vázlatja

Forrás: http://igcsetuition.blogspot.hu/2012/12/sulfur_9.html alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

A kénsav főbb tulajdonságai az 53. ábrán kerültek összefoglalásra.

H_2SO_4 kénsav vitriololaj		Jellemző tulajdonságai:
Forráspont (elbomlik): 340°C Olvadáspont: 10°C Relatív sűrűség (víz = 1): 1.8 Oldékonyság vízben: elegyedik		

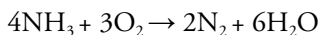
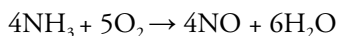
53. ábra: A kénsav elnevezései, jellemző tulajdonságainak rövid összefoglalása

Forrás: http://www.omfi.hu/icsc/PDF/PDF03/icsc0362_HUN.PDF alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

7.6 A salétromsav gyártása [19, 22]

A salétromsav fontos ipari alapanyag (54. ábra). Hasonlóan nagy mennyiséget használnak fel belőle, mint a kénsavból. Manapság az ammónia katalitikus oxidációjával állítják elő (55. ábra).

A eljárás első lépése az ammónia oxidációja. A tartályban nyomás alatt tárolt ammóniát elpárologtatják, majd kompresszorral keresztül egy gázkeverőbe kerül. Itt megsűrít és 300 °C-ra előmelegített levegővel összekeveredik, majd a reaktorban található sűrű szövetű platínahálón megközelítőleg 700 °C-on játszódik le az oxidáció.

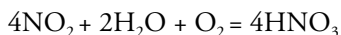


A fentiekben vázolt reakciók hőfejlődés közben játszódnak le, ezt követően pedig a felszabaduló reakcióhő elegendő a folyamat fenntartására.

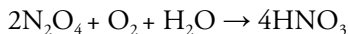
A második lépésben a keletkezett NO-tartalmú gázkeveréket kell oxidálni. A levegőben található oxigén elegendő, amellyel a nitrogén-monoxid azon nyomban nitrogén-dioxidá alakul.




Harmadik lépésként az előző lépésben keletkezett nitrogén-dioxidot, levegő jelenlétében vízben elnyeletik, így keletkezik a salétromsav.



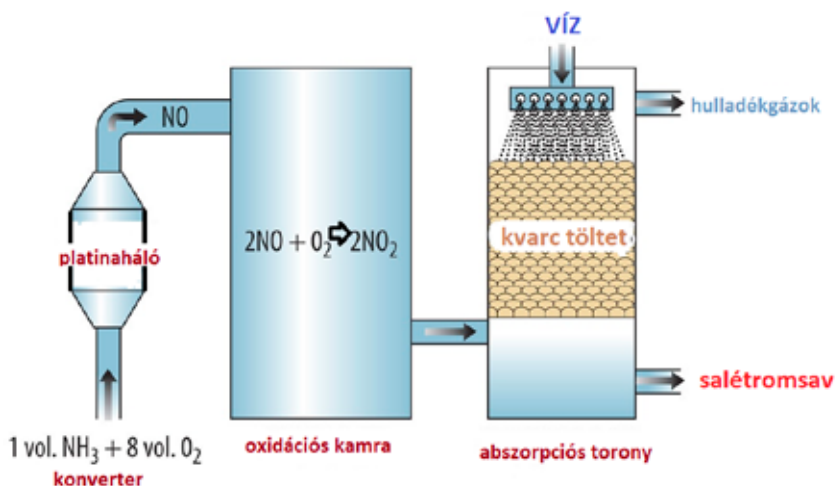
Desztillációval megközelítőleg 60 tömeg%-os töménységű salétromsav állítható elő. Egészen koncentrált, közel 100 tömeg%-os töménységű salétromsav is előállítható. A gyakorlatban dinitrogén-tetraoxid (N_2O_4) nyomás alatti oxidációját alkalmazzák víz jelenlétében:



<p>HNO_3 salétromsav</p> <p>Forráspont: 121 °C Olvadáspont: -41,6 °C Relatív sűrűség (víz = 1): 1.4 Oldékonyság vízben: elegyedik</p>	 <p>GHS alapján Súlyos bőregéseket és szemkárosodást okoz Tartós vagy ismételt expozíciója károsítja a légzőrendszert és a fogakat Belélegezve károsítja a légzőrendszert Lenyelve károsítja az emésztőrendszert</p>	<p>Jellemző tulajdonságai:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Az anyag bomlik melegítésre, nitrogén-oxidokat fejlesztve. • Az anyag erős oxidálószer és heves reakcióba lép éghető és redukáló anyagokkal, például, terpentin, faszén, alkohol. • Az anyag erős sav, hevesen reagál bázisokkal és korrozív hatású.
---	--	---

54. ábra: A salétromsav elnevezései, jellemző tulajdonságainak rövid összefoglalása

Forrás: http://www.omfi.hu/licsc/PDF/PDF01/licsc0183_HUN.PDF alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

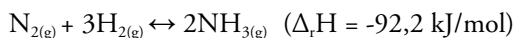


55. ábra: A salétromsav gyártásának egyszerűsített vázlatja

Forrás: http://need-media.smugmug.com/Graphics/Graphics/17024036_Bdmf8C/1423277370_4P6MDjr#!i=1423277305&k=vSkg5kS&l=1&s=XL alapján saját szerkesztés;
letöltés: 2014. március 1.

7.7 Ammóniagyártás [19, 23]


A nagynyomású ammóniaszintézis, amikor az ammónia (55. ábra) előállítására az elemekből valóssul meg, szintézis útján:



4 mol gázból \leftrightarrow 2 mol gáz keletkezik

A folyamat reverzibilis, exoterm, ezért az előállításnál a reakciót az ammónia keletkezésének az irányába kényszerítik. Exoterm, vagyis az egyensúly miatt a hőmérséklet csökkentése a kedvező, de mivel alacsony hőmérsékleten kicsi a reakciósebesség, a gyakorlatban vaskatalizátor alkalmazásával körülbelül 400-500 °C-on végzik a szintézist. A molekulaszám csökkenéssel, tehát térfogatcsökkenéssel végbemenő gázfázisban lejátszódó reakció, ennek következtében a nyomás növelése is kedvező hat a céltermékre, ezért a szintézist igen nagy nyomáson (körülbelül 30 MPa; figyelem a légköri nyomás 0,1 MPa) végzik.

A paraméterek jelentős megváltoztatásával is maximum 15%-os az átalakulás mértéke, így az át nem alakult gázelegyet vissza kell vezetni a reaktorba. A folyamatban előállított ammóniagázt hűteni szükséges és cseppfolyósítva acélpalackokban töltik, tárolják, és így kerül a kereskedelembé. Az ammónia főbb tulajdonságai az 56. ábrán láthatóak.

<p>NH₃ ammónia</p> <p>Forráspont: -33 °C Olvadáspont: -78 °C Relatív sűrűség (víz = 1): 0,7 Oldékonyság vízben: 54 g/100 ml (20 °C)</p>	 <p>GHS alapján Tűzveszélyes gáz Nyomás alatt levő gázt tartalmaz, hő hatására robbanhat Belélegezve halálos Súlyos bőregést és szemkárosodást okoz Nagyon mérgező a vízi élővilágra</p>	<p>Jellemző tulajdonságai:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Az anyag erős bázis. • Vízben oldódik. • Az anyag a legtöbb szerves és szervetlen anyaggal reakcióba lép, tűz- és robbanásveszélyt okozva.
--	---	---

56. ábra: Az ammónia elnevezései, jellemző tulajdonságainak rövid összefoglalása

Forrás: http://www.omfi.hu/licsc/PDF/PDF04/licsc0414_HUN.PDF alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

Az ammóniagyártás nagyobb részfolyamatai három csoportba oszthatók:

1.	<p>A szintézisgáz előállítása</p> <p>A nitrogént a levegő cseppfolyósításával és annak frakcionált desztillációval állítják elő. A hidrogén előállítása a gyakorlatban szén, kőolaj és földgáz alapon történik.</p>
2.	<p>A szintézisgáz tisztítása</p> <p>A szennyezőanyagok (és a szintézis folyamatára károsan ható) hatékony eltávolítása, többek között a szén-dioxid, szén-monoxid kiszűrése, és a kéntelenítés a legfontosabb cél.</p>
3.	<p>Szintézis</p> <p>Először a gázelegy optimális összetételének beállítása a feladat, majd több száz bar nyomás. A nagynyomású gázelegy a reaktorban 400-500 °C-on, a katalizátorral rövid ideig érintkezve átalakul. A reaktorból kilépő gázelegy ammóniatartalma csak 20 térfogatszázalék. Az ammóniát cseppfolyósítással távolítják el. Az el nem reagált elegyet friss gázzal keverve visszavezetik (recirkuláltatják) a folyamat elejére.</p>

7.8 A kőolaj feldolgozása az iparban [24, 25, 26, 27]

A kőolaj nagyszámú komponenseinek elválasztására a laboratóriumi szakaszos lepárlás nem alkalmazható ipari léptékekben, mivel így nem valósítható meg a folyamatos termelés. Az iparban egy összetett, módosított eljárást alkalmaznak, így a termelés folyamatossá tehető.

A kőolaj feldolgozásakor a tisztított nyersolajat először atmoszferikus desztillációval frakciókra szedik, majd a fenékterméket (pakurát) alacsony nyomáson vákuum desztillációval finomítják tovább.

Az atmoszferikus desztilláció végrehajtásakor a nyersolajat csökemencében körülbelül 350 °C-on előmelegítik, és a desztillálótorony alsó harmadába vezetik be. A betápláláskor egyidejűleg különböző fázisok vannak jelen, továbbá az előmelegített anyag bevezetésekor a nyomáscsökkenés eredményeképpen párolgás is végbemegy. A gőzök a desztilláló toronyban felfelé haladnak és fokozatosan lehűlnek. A gőzök elegyének azon alkotórészei, amelyek hőmérséklete a forráspontjuk alá kerül, a torony meghatározott helyén cseppfolyósodnak és összegyűlnek. A gőzök egyéb részei tovább haladnak felfelé. A torony egyre kisebb hőmérsékletű részein újabb és újabb részek (frakciók) kerülnek folyékony halmazállapotba. A folyamat során a desztillálótorony legfelső részére azok az anyagok jutnak el, amelyek forráspontja a legalacsonyabb. A torony meghatározott részeiről, gyakorlatilag egy azon időben különböző frakciók vezethetők el. Az atmoszferikus desztilláció fejterméke az 50–100 °C-on a könnyűbenzin. További rész a 100–180 °C forráspontú nehézbenzin, a petróleum (180–250 °C) és a gázolaj (250–350 °C) termelhető ki.

7.9 A vegyiparban alkalmazott hulladékcsökkentési stratégiák [20, 28, 29, 30]

Még nem sikerült olyan technológiát megalkotni, amellyel hulladékmentesen lennének képesek termékeket előállítani. Bizonyos, hogy a vegyipari folyamatokat tartalmazó technológiai lépésekben kiküszöbölhetetlen a hulladékok képződése.

Az 1970-es és 80-as évek vegyipari tevékenységeiről elmondható, hogy a hulladék ártalmatlanítása (feldolgozása, lerakása, szennyvizek kezelése) és az akkoriban minimálisan alkalmazott újrahasznosítása teljesen független volt attól a technológiai folyamatától, ahol keletkezett.

Ma már a környezetvédelem és a vegyipari technológiák komplex rendszert alkotnak; a vegyiparban alkalmazott környezetvédelem célja:

- a potenciális szennyezőanyagok mennyiségét már a kibocsátás közelében szükséges csökkenteni,
- a nyersanyagok és az energia felhasználását optimalizálni kell,
- a termeléskor keletkező hulladékok, azon kívül az elhasznált termékek újrahasznosítása nélkülözhetetlen.

A felsorolt célokhoz a vegyipari technológiák jellegét a hulladékcsökkentés irányába kell terelni. Ebben értelemben a vegyipar környezetvédelmi szempontú fejlesztése két csoportba sorolható:

- a már működő üzemek korszerűsítése, illetve
- a környezetvédelmet a technológiákba beillesztő új üzemek vagy üzemrészek tervezése, építése.

Az esetek nagy részében egyszerűbb, könnyebb, olcsóbb az új környezetbarát üzem építése, mint a már üzemelő gyáregységek technológiáinak korszerűsítése.

Fontos megjegyezni, ahol egy vegyi gyár több üzemegységből épül fel, akkor ott nem kizárólag az üzemek szintjén kezelendő a hulladék-kibocsátás csökkentése, mivel így csak kismértékű, lokális eredmények alakulnak, ami nem eredményez jelentős fejlődést a környezetvédelemben. Az adott üzemek innovációit mindig egy magasabb egység részeként kell értelmezni, ellenőrizni, és a fejlesztésekbe az összes üzemet be kell vonni.

7.9.1 Hulladékcsökkentés meglévő vegyipari üzemek, gyárak esetében

A környezetvédelemmel kapcsolatos törvények szigorodása előtt egy vegyipari üzemben a hulladékcsökkentés a technológiai folyamatok üzemszerű követéseként (üzemi eljárások pontos lekövetése) valósult meg. Különbség csak abban az esetben lehetett, ha az jelentősen nem csökkentette a termelési hozamot. Ez azt jelentette, hogy az egy bizonyos technológiai sornál a hulladék mennyiségi és minőségi jellemzői állandóak voltak.

Már üzemelő vegyipari üzemekben hathatós eredmény abban az esetben tapasztalható, ha környezettudatos lépéseket alkalmazunk minden egyes részegységben. A hulladékcsökkentés esélyeit elemezni szükséges minden már működő üzemnél, és új üzem tervezésekor szintén környezettudatosan kell eljárni. Tény, hogy a már működő üzemek környezetvédelmi korszerűsítésénél nagyon behatárolta a tervezők, a mérnökök szabadsága, mivel az üzem berendezései már meghatározottak, és jelentős mértékben nem módosíthatók. Néha van lehetőség új berendezések üzemi telepítésére, beállítására, de lényegbevágó, a környezetvédelem szempontjából jelentős változtatásokra nincs lehetőség.

7.9.2 Zöld vegyipar és a fenntartható fejlődés

A vegyipar társadalmi megítélése romló tendenciát mutat. Fél évszázaddal ezelőtt a társadalom a kémiát mindent megváltoztatónak gondolta, olyan tudománynak, amely a társadalom növekvő és bonyolódó igényeit folyamatosan kielégíti.

Az elmúlt 100 év alatt a vegyipar ugrásszerű fejlődést tudhat maga mögött, ezzel párhuzamosan nagyon sok baleset is megtörtént. A DDT peszticid ügy, a Thalidomide nevű gyógyszer, a hűtőszekrényekben használt freon hűtőközeg mind a kémia rossz oldalaként vult be a történelembe. Seveso, Bhopal, Texas mind olyan városok, ahol rendkívüli károkkal végződő ipari balesetek történtek. Magyarországot sem kímélte a kémia környezetkárosító hatása, 2000-ben a Tiszát érintette, 2010-ben Ajka–Kolontár térségét sújtotta komolyabb ipari katasztrófa.

A fentiekkel ellentétben nagyon fontos megjegyezni, hogy a jelenlegi életszínvonalunk fenntartásához rendkívüli mennyiségű vegyi anyag nap mint nap történő, folyamatos előállítására, felhasználására, átalakítására és szállítására van szükségünk. Ha a Kedves Olvasó belegondol abba, hogy 24 óra leforgása alatt milyen anyagokkal kerül kapcsolatban, akkor a KÉMIA fontossága egyértelműen kihangsúlyozható. Néhány példa a víz, az élelmiszerek, a

fűtés, az elektronikus eszközeink (és a hozzá tartozó akkumulátorok), az utazáshoz szükséges üzemanyag, a festékek, a gyógyszerek, a takarítószer, a tartós élelmiszerek, de a klíma- és a hűtőberendezés, a mosó- vagy a mosogatógép csak néhány olyan tárgy és anyag, amellyel az ember a naponta kapcsolatba kerül, és amelynek a kémia az alapja.

Abban az esetben, ha a vegyipari technológiáknál lecsökkentjük a felhasznált veszélyes anyagok mennyiségét, akkor az esély is minimalizálódik arra nézve, hogy bekövetkezik egy baleset.

A zöld vegyipar a környezetterhelés csökkentéséből és a veszélyes anyagok kiváltásából, illetve az ehhez kapcsolódó technológiák szakszerű megtervezéséből épül fel. Megjegyzendő, hogy a zöld vegyipar, a technológiák környezettudatos alkalmazása kizárólag hosszú távon térül meg.

A zöld vegyipar fő irányvonalai:

- A hulladékkal kapcsolatos új szemléletmód. A keletkezés lecsökkentése vagy megszüntetése. A termelő fizet a hulladék elszállításáért, tárolásáért.
- Az energiahulladékok csökkentése. Általános szabály, hogy minél kevesebb az energia-felhasználás, annál versenyképesebb, mivel a termék árára befolyással van.
- Megújuló nyersanyagok alkalmazásának beépítése a technológiai folyamatokba (mint vegyipari alapanyag). Példaként megemlíthető a növényi eredetű anyagok.
- A termékek ne jussanak ki a környezetbe, ha mégis kikerülnek, akkor beláthatóan rövid időn belül a környezetre ártalmatlan komponensekre essenek szét.

8. MÉRGEZŐ ANYAGOK

[31, 32, 33, 34, 35, 36]

Ebben a fejezetben néhány gyakrabban előforduló veszélyes anyag, kémiai jellemzései és a környezetre gyakorolt hatásai kerülnek rövid, gyakorlati bemutatásra.

8.1 A leggyakoribb mérgező anyagok és jellemzésük

Fluor

Az elemi fluor sárgászöld, szúrós szagú, a levegőnél sűrűbb gáz. A legreakcióképesebb elem. Hidrogénnel erősen egyesül, a vizet is bontja. A hidrogén-fluorid szobahőmérsékleten forr. A H_4F_4 (több HF molekula összekapcsolódásával) molekulák a hőmérséklet emelkedésével fokozatosan H_2F_2 , majd HF-molekulákra disszociálnak. Vízzel minden arányban elegyedik. Az üveget oldja. A fluor és a hidrogén-fluorid az élő szervezetre igen veszélyes, nagyon agresszív mérge, a fogakat roncsolja. A légkörbe az alumíniumkohászatban használatos folyópát bomlása révén (az elektrolízisnél) keletkezhet.

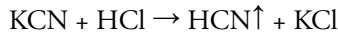
Cianid

A jelentős szennyező források: galvánüzemek, fémkezelők, vegyi üzemek, szénalapú gázgyárak, bőrgyárak, ércdúsítók, gyógyszergyárak, műtrágyák, növényvédő szerek, szerves kemikáliák, fotócikkek is gyakran tartalmazzák.

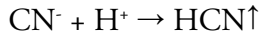
A halakra veszélyes értékek függenek a cianid komplex-vegyületekben levő fémtől (és oxidációs állapotától).

A cianidion könnyen kötődik az állati szervezetekben, mérgezőképessége magas, pillanatok alatt kifejti hatását. A mérgezés mechanizmusa, hogy gátolja a citokróm rendszert és az oxidációs folyamatokat, ekképpen meggátolja a szövetek anyagcseréjét. Csekély koncentrációban nem veszélyes, mert a szervezet a benne állandóan működő méregtelenítő folyamatok segítségével tiocianáttá (a tiocianát anion SCN^-) alakítja, amely kevésbé toxikus. A cianid ion (CN^-) megjelenése az élővízben antropogén eredetű szennyeződés jelzője (0,1 mg/l-nél magasabb érték). Magyarországon 0,05 CN^- mg/l a megengedett felső érték, fontos megjegyezni, hogy külföldön magasabb határérték a megengedett, továbbá a WHO-ajánlás 0,1 mg/l. Jelenléte a szennyvíztisztítást károsan érinti, pontosabban a biológiai tisztítást a 0,2 mg CN^- /l feletti mennyiség megakadályozza.

A cianid-tartalmú szennyvizek megtisztítását direkt módon, azonnal a keletkezése pontján meg kell oldani. Vegyi anyagokkal kapcsolatos tevékenységet végző gyárak még a belső csatornahálózatukba sem eresztetik a cianidiont tartalmazó tisztítatlan szennyvizet, mert savas kémhatású anyag jelenléte hidrogén-cianidot (HCN) szabadít fel. A lejátszódó folyamat reakcióegyenlete:



Ionegyenlettel:



A hidrogén-cianid gáz halmazállapotú, rendkívül mérgező anyag, visszafordíthatatlan elváltozást idéz elő a szervezetben.

Nitrát (NO₃⁻) és nitrit (NO₂⁻)

A nitrát mérgezőképessége abból adódik, hogy megfelelő paraméterek esetén nitríté változik. Előfordulhat a közvetlen környezetben, az élelmiszerekben (például nitritet tartalmazó zöldség vagy tartósított hús) és az emberi szervezetben is megvalósulhat.

A szervezetbe jutott nitrát- és nitrition egy része rövid idő alatt bekerül a véráramba és az anyagcsere során a vizelettel változatlan állapotban ürül. A vérbe került nitrit kapcsolatba lép a vér hemoglobinjával, és methemoglobinémiát eredményez. A keletkező methemoglobin (MtHb) nem alkalmas az oxigén szállítására, a koncentráció emelkedésének következménye pedig nehézlégzés, majd fulladás (megközelítőleg 10% MtHb már jelentősen lerontja a szervezet működését, 50% pedig halálos). A felnőtt ember szervezete tartalmaz MtHb-reduktáz enzimet, amely csökkenti a mérgező hatást. A csecsemők nem rendelkeznek ezzel az enzimmal, ezért veszélyeztetettebbek. A nitrit képes átáramolni a placentán, így az anya megmérgeződésekor a magzat MtHb szintje is megemelkedik. Megjegyzendő, hogy a nitrit/nitrát az állatkísérletek alapján mutagén. Emberi szervezetet tekintve rákkeltő hatása jelenleg feltételezett, de nem igazolt.

Néhány fontos határérték, a megengedhető napi bevitel (Acceptable Daily Intake ADI) a nitrátion esetében 0–3,70 mg/ttkg/nap, és nitritionra 0–0,07 mg/ttkg/nap (JECFA 2003, EFSA 2008). Emellett a 6 hónapnál fiatalabb csecsemőkre nem adható meg a veszélytelen határérték, ebben az esetben az ADI zéró értéke a szigorú határ!

A nitrit a nitrozaminok úgynevezett elővegyülete (prekurzor), a nitrozamin rákkeltő mérgező anyag. Friss zöldségek, gyümölcsök nitrition tartalma 1 mg/kg alatt kell legyen. Előfordulhat, hogy a nitrátion-tartalom bizonyos esetekben, a zöldségekben akár több g/kg értéket is elérhet. Néhány nitrozo-vegyület (nitrozaminok):

- dimetil-nitrozoamin, N-nitrozodimetilamin (NMDA),
- N-nitrozo-nornikotin (NNN),
- 4-(n-nitrozometilamino)-1-(3-piridil)-1-butanone (NNK),
- 1-(2-klóretil)-3-(4-metilciklohexil)-1-nitrozourea (metil-CCNU),

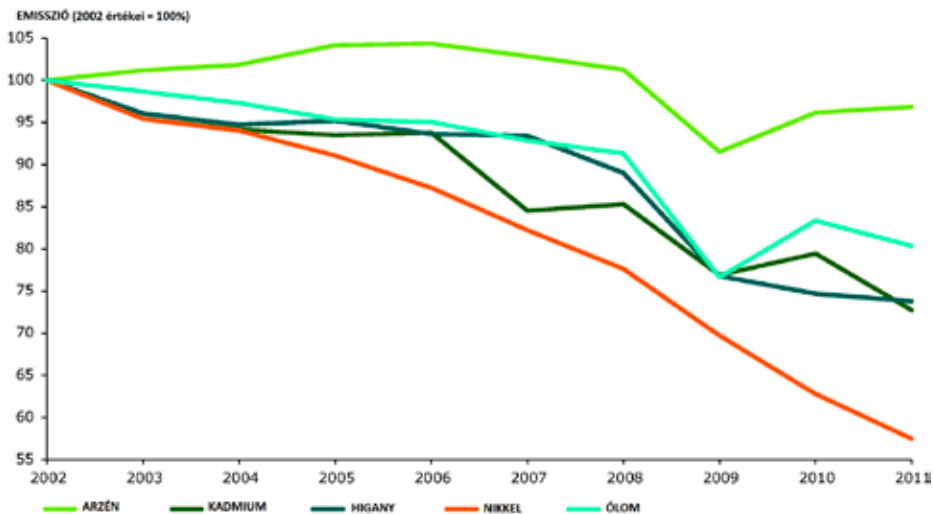
A vízminőségi határérték hal, kagyló és vízfogyasztás esetén: 0,0008 µg/l, csak hal és kagyló esetén: 1,24 µg/l (EPA szerint).

Ólom és vegyületei

Természetes körülmények, mint a földrengés és a vulkáni folyamatok, felelősök lehetnek az ólom légköri jelenlétéért. Az antropogén eredet, vagyis a mindennapos emberi ténykedések miatt is jelen van, például: ércbányászat, fémkohászat, acélgártás, erőművi emisszió, kőszén és olaj elégetése, hulladékgazdálkodás, és nem elhanyagolható a közlekedés.

Az ólom és vegyületei mind a három expozíciós útvonalon keresztül bejuthatnak az emberi szervezetbe, a légzés miatt, a bőrön keresztül és orálisan naponta kerülnek az élő szervezetekbe.

A szigorú szabályozások és a gyárak, üzemek elhatárolása következtében az egészségügyi és környezetvédelmi helyzetek javítása miatt az elmúlt évtizedekben csökkent vagy biztonságosabbá vált az ólom (és más nehézfémek) felhasználása, ennek köszönhetően az emisszió értékek számottevően javultak (57. ábra).



57. ábra: Európára vonatkozó arzén-, kadmium-, higany-, nikkel- és ólom-emisszió a 2002 évi adatok a 100% (2002 és 2011 között)

Forrás: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/leu-emissions-of-as-cd-1>; letöltés: 2014. március 1.

Néhány terület, ahol lehetőség volt az ólom felhasználásnak mérsékelésére:

- az üzemanyagokban,
- az ivóvízvezetékben,
- a nyomdaiparban,
- a műanyagokban és
- a festékekben.

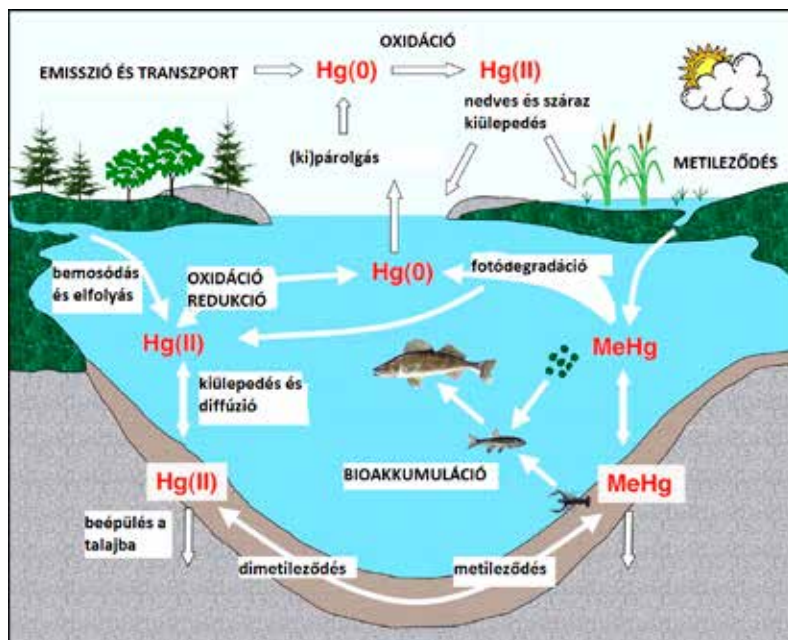
Napjainkban az élelmiszerekben megtalálható ólom kizárólag környezeti eredetű (régőbbi kibocsátások következménye). Mindenesetre a táplálékon keresztül bejutott ólom kis része (felnőtteknél 10%, gyerekeknél 40–50%) kerül be a szövetekbe, a véráramba. Az anyai szervezetben jelenlevő ólom átjut a placentán, és bekerül a magzat szervezetébe. A szervezetből legfőképpen a vizelettel és a széklettel ürül, viszont kimutatható a hajból, a bőrből is.

Higany és vegyületei

Emberi tevékenységek, mint például bányászat, kohászat, tüzelőanyagok használata, szeméttégetés felelős a környezet higanyterheléséért.

A higany ugyanúgy körforgásban vesz részt a természetben, mint minden más elem. (elemi higanygőz ↔ szerves higanyvegyületek ↔ szerves higanyvegyületek) A különböző formákba való átalakulás minden pillanatban megtörténik. A légtérben higanygőz és a porrészecskékhez kapcsolódott szerves higanyvegyületek vannak jelen. A meteorológia paramétereivel állandóan és jelentős mértékben befolyásolja a higany és higanyvegyületeinek létezési formáit. Az élővízi körforgásban szerves formában akkumulálódik, a víz → planktonok → algák → kishalak → ragadozók irányban növekszik. A talajból a növényekbe és a szárazföldi állatok szervezetébe vándorolt higanyvegyület rendszerint szerves (58. ábra).

Az emberi szervezetbe történő bejutására élelmiszerek, víz, levegő, gyógyszerek fogyasztása, kozmetikai készítmények, fogászatnál használt amalgámtömések, hőmérők, termosztátok használatakor van lehetőség. Az expozíció történhet: belélegzéssel, szájon át vagy bőrön keresztül. A vérbe kerülő higany a vörösvértestekhez kötődik (a vér higany szintje 5–50 µg/l), így pedig rövid időn belül szétterül az egész szervezetben. Az emberben a több millió éves evolúció során kiépült védőmechanizmusok sem tudják meggátolni, hogy az idegrendszerbe jusson (a placentán és a vér/agy védőgáton a központi idegrendszerbe bekerül), akkumulálódhat a májban, vesében, izomban és a hajban. A biológiai felezési ideje, viszonylag magas érték (40–100 nap). Szervezetünkben a metil-higany szerves higanyvegyületté alakul.



58. ábra: A higany átalakulásai egy élő rendszerben

Forrás: <http://www.pnas.org/content/104/42/16394/F1.expansion.html> alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

A metil-higany veszélyeinek rövid ismertetése:

- Metil-higany okozta a Minamata-kórt Japánban az 1950-es években. Egy tengerparti üzemből higany jutott a tengeröbölbe. Ezután az üledékben élő mikroorganizmusok által elvégzett metilálás (vagy metileződés) után a planktonokba, halakba, végül pedig az emberekbe került.
- A metil-higany lipofil vegyület, felszívódása a tápcsatornából nagymértékű. Fő útja az epével való kiválasztódás, azonban nagy része a bélrendszerből visszaszívódik.
- A metilhigany-mérgezés a halló- és látókéregben okoz károsodást.

A szervezetbe jutott higany megkötésére kelátképző vegyületek alkalmaznak, illetve hemodialízis.

Fenolok

A fenol aromás szénhidrogének hidroxilszármazékai, nagyszámú vegyület gyűjtőneve. Egy minta aktuális fenoltartalmát analitikai szempontból szükséges definiálni, a 4-aminoantipirinnel reagáló vegyületeket nevezzük „fenoloknak”.

A fenol sok esetben az ipari szennyvizek jelzővegyülete.

Vegyiparban gyakori a használata, néhány folyamatban a fenol kiindulási anyag lehet, például gyógyszervegyületek, növényvédő szerek, műanyagok gyártásakor és szerves szintézisek folyamatainál.

Az alábbi emberi tevékenységeknél fordulhat elő: petrolkémia üzemekben, szén-, fa- és kőolaj lepárlóüzemekben, a gyógyszergyártás szennyvizeiben, a papírgyártáskor.

Magasabb koncentrációnál (mg/l) a fenol a legtöbb szervezetre toxikus hatással van. Értékének fontos szerepe van a szennyvíztisztítás során, azt hátrányosan befolyásolja, mivel a baktériumokra is mérgező, következésképpen a biológiai szennyvíztisztítás sérül. A biológiai lebontást lecsökkentő hatás a fenoltartalom 10 mg/l értéke felett jelentkezik. Alacsony koncentrációban a fenolok biológiailag bonthatók, ilyenkor a folyóvizekben természetes lebomlásuk zajlik.

A víz fertőtlenítésekor, klórozást alkalmazva különböző klórfenol vegyületek keletkezhetnek (rendkívüli szennyezéskor).

Poliklórozott vegyületek (PCB)

Veszélyes tulajdonságokkal rendelkező vegyületek csoportja (59. ábra), rendkívül stabilak (perzisztens vegyületek), zsírban jól oldódnak (a bonyolult szerves molekulák apoláris részei miatt), feldúsulnak a táplálékláncban, a zsírszövetben képesek raktározódni, átjutnak a placéntán, a szervezetből nagyon lassan ürülnek (például a tejjel).

Szervezetünkbe főként élelmiszerekkel tud bekerülni. Tulajdonképpen a felhasználásuk szerint három csoportra oszthatóak:

1. növényvédőszer (DDT, HCH, HCB, PCB),
2. ipari anyagok (PCB-k) és
3. vegyi folyamatok melléktermékeként keletkező anyagok csoportja (poliklórozott dibenzo-p-dioxinok, PCDD és poliklórozott dibenzofuránok, PCDF).

Az emberi tevékenységnek köszönhetően gyakorlatilag minden környezeti elem (levegő, víz, talaj) megtalálhatóak.

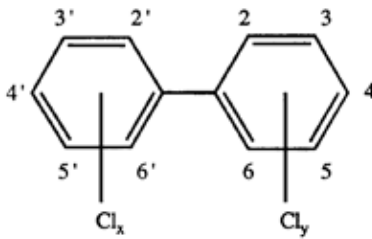
A szénhidrogének klórozott vegyületei széles hatásspektrumú, általánosan használt rovarölőszerként kerültek felhasználásra, stabil, gyűrűs szerkezettel rendelkező vegyületek. Az élőlényekre gyakorolt káros hatásuk és bioakkumulációra való hajlamuk miatt már évtizedekkel ezelőtt betiltották a felhasználásukat (Európa szerte). Meglepő módon manapság is kimutathatóak ezek a vegyületek vagy egyes úgynevezett metabolitjaik (bomlásaikból keletkezett egyéb átalakult molekulák).

A poliklórozott-bifenilek (PCB) iparilag előállított anyagok úgynevezett **xenobiotikumok**, vagyis környezetidegen anyagok. A környezetben zajló, felbecsülhetetlen számú vegyi és biokémiai (az élő szervezetekben és egyéb területeken a természetben végbemenő) folyamatokban PCB vegyületek nem keletkeznek, így zavart okoznak a biológiai rendszerekben.

A PCB vegyületeket ipari és hőátadó folyadékként kondenzátorokban, transzformátorokban, emelőszervezetekben, továbbá festékek lágyszerként, kenőolajként és kenőzsírként alkalmazták évtizedeken keresztül.

Negyven évvel ezelőtt korlátozták, harminc éve felhasználásukat is betiltották. Azonban ma is számottevő mennyiségeket lehet kimutatni a környezeti mintákból.

A központi idegrendszer fejlődésére és az immunrendszerre kifejtett veszélyes hatással rendelkezik.



$$X = 1-5$$

$$Y = 1-5$$

$$X + Y > 1$$

59. ábra: A PCB molekulák szerkezetének magyarázata, és a klóratomok kapcsolódására vonatkozó szabályok; Forrás: saját készítésű ábra

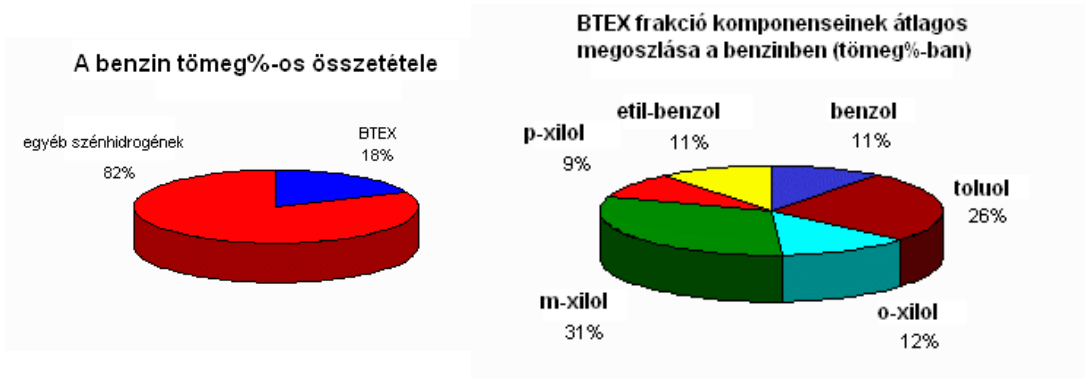
8.2 Alifás és monoaromás szénhidrogének és halogénezett származékaik

Ide sorolhatóak a kőolaj-feldolgozás során kapott termékek. Felhasználási területük igen kiterjedt, üzemanyagként és vegyipari alapanyagként használatosak.

Emberi figyelmetlenség következtében kerülhet a környezeti elemekbe (talaj, víz, levegő). A felszíni vizekbe kijutó anyagok a közelben található ivóvízbázist veszélyeztethetik. Jelentős talajszennyezésre Magyarországon is volt precedens. Komoly veszélyt hordoznak magukban a tankhajó-balesetek; nagyobb mennyiségű szénhidrogén-kibocsátásnál (tengerek, óceánok felszínén) régiót érintő ökológiai katasztrófákat idézhet elő. A talajszennyezések viszonylag gyorsan és hatékonyan kezelhetők, ellenben a vízszennyezésekkel, ahol nagyobb mennyiségű szénhidrogén környezetbe jutásakor a víznek hatalmas felülete szennyeződik el, úgynevezett filmrétegben borítja be a szennyeződés az élővilágot, ezáltal az oxigén felvételét lecsökkenti vagy teljesen megakadályozza. Kis mennyiségű szénhidrogén jelentős térfogatú vizet szennyez el, ez az arány 1:1000 vagy 1:10 000-hez (ezt sok paraméter befolyásolja, a hőmérséklet, az élővíz összetétele, a helyi meteorológiai viszonyok stb.). A továbbiakban néhány gyakori vegyületcsalád áttekintése következik.

8.2.1 Illékony monoaromás szénhidrogének (BTEX)

A megnevezés a benzol, a toluol, az etil-benzol és a xilolok nevének kezdőbetűiből tevődik össze. Az üzemanyag-szennyezés okozhatja az expozíciójukat. A 60. ábra a BTEX komponensek benzinben való előfordulását ábrázolja, a 16. táblázat pedig a jellemzőit.



60. ábra: A benzin összetétele, és a BTEX összetétele a benzinben

Forrás: <http://www.webapps.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/btex/btex.html> alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

	benzol	toluol	meta-xilol	orto-xilol	para-xilol	etil-benzol
szerkezeti képlet						
összegképlet	C_6H_6	C_7H_8	C_8H_{10}	C_8H_{10}	C_8H_{10}	C_8H_{10}
molekulatömeg [g/mol]	78	92	106	106	106	106
maximális megengedett mennyisége ivóvízben [ppb]	5	1000	összesen a három xilol izomer: 10.000			700

16. táblázat: A BTEX komponenseinek rövid ismertetése; Forrás: saját készítésű táblázat

8.2.2 Poliaromás szénhidrogének (PAH)

A PAH vegyületek gyakran, de nagyon kis mennyiségekben előforduló anyagok a környezetünkben. Az élővilágban keletkezhet a biomassza, a szerves anyagok (tökéletlen) égésekor (például bozót- vagy erdőtüzek).

A PAH vegyületek emberi tevékenységek során is keletkeznek. Toxikus, rákkeltő vegyületek gyűjtőneve. A levegőben előforduló, igen kis szemcseméretű (μm), szilárd részecskék, tökéletlen égésekor keletkező korom felületére vagy aeroszolhoz adszorbeálódnak a PAH vegyületek, és transzmisszióval vándorolnak, kiülepednek, esetleg átalakulhatnak.

A vizsgálatok során a karcinogén tulajdonság mellett a mutagén effektust is tapasztalták a kutatók. Pár éve az úgynevezett nitro-PAH vegyületek kerültek a vizsgálódás előterébe, ugyanis könnyen képződnek a levegőben, ha van jelen nitrogén-dioxid (NO_2). A nitro-PAH vegyületek mutagén hatása többszöröse, mint a kiindulási PAH molekuláé.

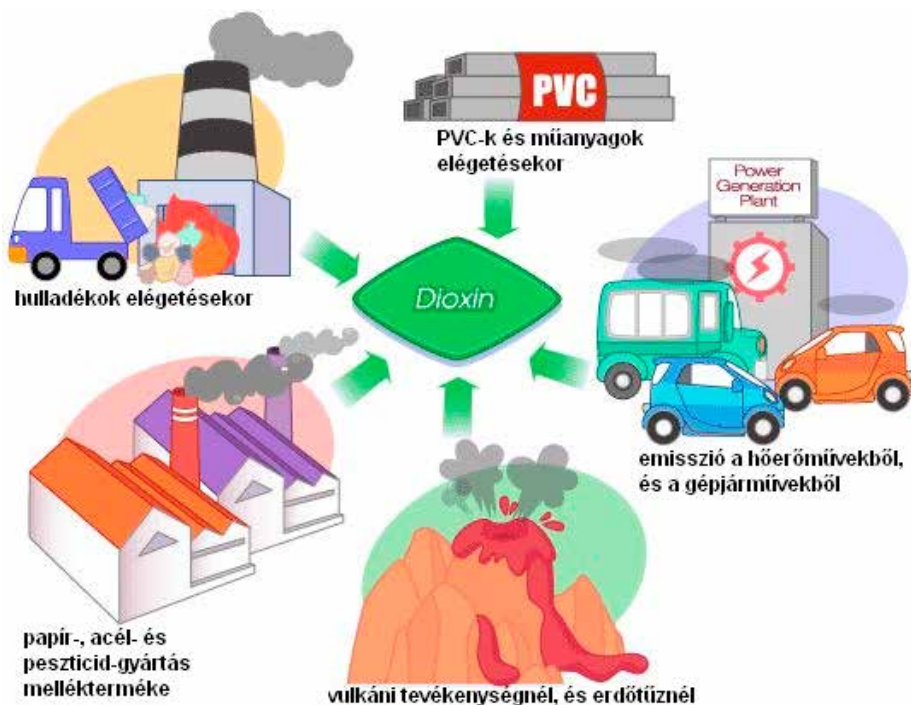
Két vagy több kondenzált aromás gyűrűs vegyületek, szén- és hidrogénatomok építik fel. Olvadás- és forráspontjuk magas, tenziójuk kis érték, nagyon lipofil tulajdonságúak, kémiai-lag inertek (perzisztensek). A PAH szó gyűjtőnév, megközelítőleg 200 vegyület tartozik ebbe a csoportba. Markervegyülete (indikátorvegyület, amelyet analitikai vizsgálatoknál a mérési, kimutatási célvegyületnek jelölnek ki) a benzo-a-pirén (rövidítve BaP). Fontos tudni, hogy természetes jelenléte is ismert, leginkább a fosszilis energiahordozókban (tőzeg, lignit, szén, kőolaj) fordul elő. Direkt előállításuk kis mennyiségben, de ritkán előfordul lágyító adalékanyagként és átmeneti terméként (intermedier).

A PAH vegyületek további lehetséges forrásai: petrolkémiai technológiai tevékenységeknél, erőművek üzemelésekor (fosszilis), hulladékok elégetésekor, közlekedésben, dohányzás-kor, tarlóégetésnél.

8.2.3 Dioxinok

A dioxin elnevezés alatt hasonló kémiai szerkezetű és tulajdonságú, többszörösen klórozott vegyületek egy csoportját értjük, amely 75 poliklórozott dibenzo-p-dioxin (PCDD) és 135 féle poliklórozott-dibenzofuránt (PCDF) tartalmaz. Más néven a poliklórozott dibenzo-dioxinok (PCDD), és a poliklórozott dibenzo-furánok (PCDF). Keletkezhetnek (61. ábra) nem kívánt mellékreakcióban a következő helyzetekben: halogénatomot tartalmazó növényvédőszeres és PCB-k gyártásának melléktermékei, favédőszerrel kezelt anyagok égetésekor, továbbá halogénatomokat tartalmazó hulladékok szabálytalan égetésénél (a füstgáz nem került kezelésre $1200\text{ }^\circ\text{C}$ alatti hőmérsékleten, e feletti tartományban az égés tökéletesedik).

Ennél a vegyületcsaládnál is elmondható, hogy az aeroszolokban adszorbeálódva jutnak ki a természetbe. Hasonlóan lipofilek, mint a PCB-k, így lehetőség van bioakkumulációra, vagyis feldúsulhatnak, és a tápláléklánc végén az ember is káros kölcsönhatásba kerülhet e vegyülettel. Mérgező hatása felette áll a PCB-re jellemző értéknek. A természetben több különböző vegyület is képviseli a csoportot (62. ábra).

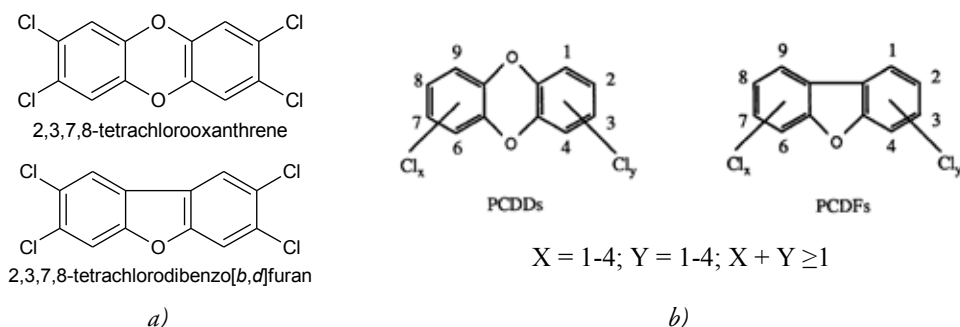


61. ábra: A dioxin keletkezésének rövid összefoglalása

Forrás: <http://tunza.eco-generation.org/resourcesView.jsp?boardID=air&viewID=22> alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

Legnagyobb toxicitással az **62. a) ábrán** látható úgynevezett tetraklór származékok rendelkeznek. A halogénezett dibenzo-dioxinok és dibenzo-furánok rendkívül perzisztensek, ellenállnak a környezetben előforduló lebontó-mechanizmusoknak (mikroorganizmusok hatásának).

Az egészségügyi szempontból veszélyes tíz 2, 3, 7, 8-szubsztituált PCDD, hét PCDF és tizenkét dioxinszerű PCB-kongéner (kongéner: azonos szerkezetű, csak a klóratomok számában különböző vegyület). Az összes toxicitás meghatározására bevezették a toxikus egyenértékűségi tényezőket (toxic equivalency factors, TEF) alkalmazását, a kockázatbecslés és a szabályozás érvényesítése érdekében.



62. ábra: A két legismertebb dioxin szerkezeti képlete (a), a dioxin molekulának felépülésére vonatkozó törvényyszerűsége (b); Forrás: saját készítésű ábra

8.2.4 Peszticidek

Teljes mértékben a mezőgazdaságban alkalmazott vegyületek csoportja. Alapvetően nagyon sok csoportba oszthatók az alapján megnevezve, hogy mely kártevőt támadja. Most röviden a három legismertebb csoportja kerül felsorolásra:

1. rovarirtók (inszekticidek),
2. gombaölőszerek (fungicidek),
3. gyomirtók (herbicidek).

A peszticidek iparszerű alkalmazása már több, mint félévszázadra vezethető vissza, ezeknek a vegyületeknek köszönhető a terméshozamok növekedése. Sajnálatos módon a peszticid családjának rengeteg vegyületéről bebizonyosodott, hogy használata veszélyes, környezeti kockázatot hordoz magában, szennyezi a környezeti elemeket (így az élelmiszereken keresztül eljuthat az emberekhez is). További nehézség, hogy a peszticidek perzisztensek, és metabolizmusuk során ugyancsak mérgező vegyületek képződhetnek.

8.3 Levegő-szennyezési alapfogalmak

A levegőszennyezés problémaköre végigkíséri az embert (az emberiséget) minden tevékenységével együtt.

A levegőszennyezettség kritériumának két fő megvalósulása:

1. egy adott terület felett elhelyezkedő légtérben a természetesen jelenlevő alkotórészeketől eltérő egyéb vegyületek, szennyezőanyagok vannak jelen;
2. a légtérben az eredetileg a levegőt felépítő komponensek vannak, de a megszokottól különböző az arányuk.

A kémiailag tiszta levegő egy állandó összetétellel jellemezhető gázelegy. Nem tartalmaz vírusokat, baktériumokat, por- és füstszecskéket és egyéb gázkomponenst. A Föld millió évek alatt kialakult légkörének összetétele egy nagyon összetett és érzékeny folyamat eredménye, amelyben a föld élővilágának (növények, állatok), továbbá az óceánoknak és a tengereknek komoly szerepe volt és van.

A légköri levegő fő összetevőinek aránya a 63. ábrán látható. A nitrogén 78%, az oxigén 21%, az egyéb gázok és szennyezőanyagok pedig 1%. A szén-dioxid (CO_2) mindösszesen 380 ppm koncentrációban van jelen a légkörben.



63. ábra: A földi légkör fő összetevői; Forrás: saját készítésű ábra

A légszennyező anyagok környezetbe juttatásáért az úgynevezett **források** (kibocsátó források) a felelősek. E kifejezés nagyon széles spektrumú, szennyező forrásnak tekinthetjük az alábbiakat: égő cigaretta, a gépjármű működése alatt a kipufogó (tehát a fosszilis anyagokat felhasználó közlekedési eszközök), egy baleset következtében kialakuló tűz az üzem területén, normál üzemben történő kibocsátás a kéményen keresztül, vulkáni tevékenységek (ez természetes forrásnak számít), hőerőművek, tüzeléstechnikai berendezések (szezonális források és lakossági) stb. (64. ábra).

A különféle paraméterek viszonylatában (a forrás közelében levő lokális meteorológiai viszonyok, földrajzi jellemzők az adott területre) a források közelében a levegőben megjelennek a szennyezőanyagok, és koncentrációjuk (különböző rétegzódéseken keresztül) számottevővé válhat.

A szennyezőanyagok komponenseinek a forrásokból történő kilépése az **emisszió**.

Minden egyes emissziót (amely térben és időben különbözik egymástól) eltérő emissziós paraméterek jellemeznek. Néhány fontosabb mutatószám: a kibocsátott szennyezőanyag mennyisége, mennyisége, a kibocsátás milyen magasságban történik, meteorológiai viszonyok, a levegőre a kibocsátáskor jellemző fizikai és kémiai tulajdonságok. Összefoglalva az emisszió

az adott idő alatt kibocsátott légszennyező anyag mennyiségével mérhető (néhány alkalmazott mértékegység: g/m^3 , $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Az emisszió különféle forrásokból valósulhat meg.

A legáltalánosabb, és a leggyakoribb emisszió megvalósulás, amikor a kibocsátás egy pontból zajlik, ez a **pontforrás**. Példa: üzemi kibocsátás kéményen keresztül, cigarettázó ember, álló helyzetben lévő gépjármű. Ebben az esetben az emisszió függvényekkel viszonylag könnyen megadható.

Létezik **mozgó (mobil) forrás**, ez akkor jön létre, ha a pontforrás objektuma mozog. Példaképpen megemlíthető a mozgásban levő, szénhidrogénnel üzemelő közúti és infrastrukturális (tömegközlekedési eszköz (földön, vízben, levegőben)).

Vonalforrás, amikor egy adott, behatárolt útvonalon közlekedő járművet (szénhidrogénnel üzemelő) tekintünk. Ebben az esetben a jellemző paraméterrendszerhez további tényezőt kell figyelembe venni, méghozzá a közlekedési eszközre vonatkozó adatokat (az eszköz életkora, állapota, típusa).

Végül **felületi (vagy területi) forrásról** akkor beszélünk, amikor a kibocsátás és a terjedés mértéke (aránya) megközelítőleg egyező intervallumba sorolható. Példaként ide sorolható: a tarlóégetés (mezőgazdasági tevékenységként), átmeneti (még folyamatban levő) hulladéklerakáskor a távozó, nemkívánatos komponensek.

Az emisszió folyamatában, a kibocsátásban kikerült szennyezőanyag komponenseinek a levegőben való továbbterjedését jelenti a **transzmisszió**. A kockázatelemzés tárgykörébe tartozó, speciális terület a veszélyanalízis, amelynek feladata a transzmisszió precíz modellezése.

A transzmisszió mint komplex folyamat, legalább öt különböző részre osztható fel:

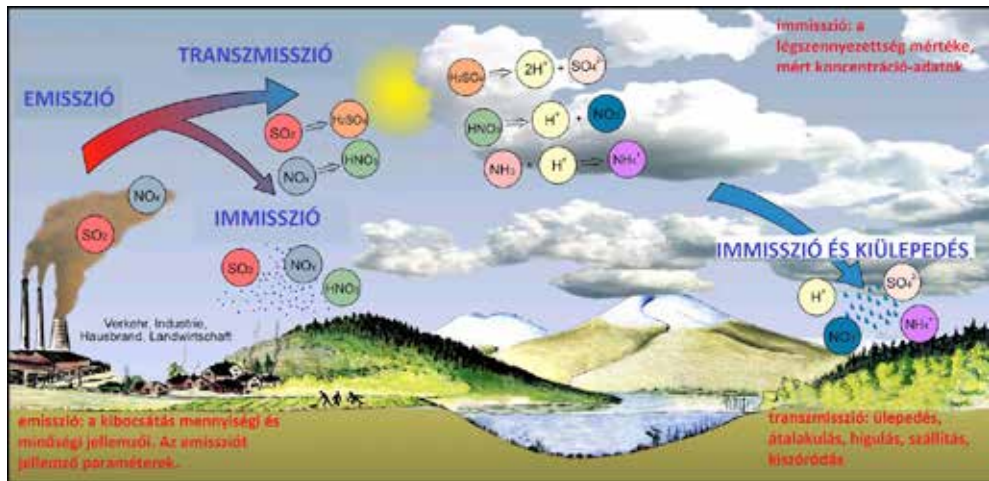
1. keveredés (vagy hígulás)
2. elszállítódás
3. szóródás
4. ülepedés
5. kémiai átalakulás.

Természetesen az öt részfolyamatra meghatározó feltétel a meteorológiai és a földrajzi paramétersor.

A földrajzi kritériumok alatt ebben az esetben a felszín borítottságát (domborzati viszonyok), természeti vagy mesterséges tárgyak elhelyezkedését, sűrűségét kell érteni. Abban az esetben, ha egy várost érint a transzmissziós tartomány, akkor nagyon komoly tényező, hogy a város milyen beépítettségű.

A meteorológiai tényezők röviden felsorolva: a légkör stabilitási viszonyai (függőleges hőmérsékleti gradiens), a felszínnel szomszédos keveredési réteg vastagsága, a szél sebessége és iránya.

A fejezetben körvonalazódott légszennyezettség mértéke, ami tulajdonképpen a levegő minőségét jelenti: az immisszió. Más szavakkal az immisszió egy adott időben, egy adott anyagnak (szennyező komponensnek) a koncentrációja. Ezt az adatot az ember életterében szokás meghatározni, ahol a mindennapokban tartózkodik. Ilyen mérési adatok kerülnek nyilvánosságra, például Bp. forgalmasabb területein kijelzők közvetítik a mért eredményeket. Összefoglalva: az immisszió egy bizonyos időtartamra és területre jellemző.



64. ábra: A levegőszennyezés folyamata és befolyásoló tényezői

Forrás: <http://www.ubz-stmk.at/luft1/kapitel3.htm> alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

8.3.1 Gyakori légszennyező anyagok

Kén-dioxid (SO_2)

Szintelen, szúrós szagú, köhögésre ingerlő gáz. A levegőnél nagyobb sűrűségű, nehezebb. Oxigénnel csak katalizátorok jelenlétében (vagy erélyes körülmények között) lép reakcióba. Vízben jól oldódik, kénessavat (H_2SO_3) alkot, amely gyenge sav. Amennyiben a kén-dioxid kén-trioxiddá oxidálódik, vízzel kénsavat ad, amely erős sav.

Erős redukálószer. Erősen mérgező tulajdonságú. Nagyon koncentrációban a szervezetbe jutva fulladásos halált okozhat (a vörösvérsejteket elroncsolja). A növényzet nagyon érzékeny a kén-dioxid expozícióra (főleg a tűlevelű fák).

MAK-érték (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration, Legnagyobb Megengedett Munkahelyi Koncentráció) fogalma, egy vegyület koncentrációja a munkahely környezetében (környezeti levegőben), amely nem káros a dolgozók egészségére, nem káros hosszabb kitétség esetén, alapul véve egy átlagos munkahetet (40 óra). A MAK-érték többszöröse legalább 5–10-szeres értéke folyamatosan, hosszú időn át károsíthatja a szervezetet.

Kén-dioxid esetében 0,5 ppm a MAK-érték. Ugyanakkor az élelmiszeriparban felhasználják fertőtlenítésre, mivel a mikroorganizmusokat elpusztítja. A borászattal foglalkozó szakemberek a fahordókat úgy fertőtlenítik, hogy kénszalagot gyűjtenek meg a hordókban (régies nevén kénezés), és a keletkező kén-dioxid elpusztítja a baktériumokat. A papír- és a textiliparban fehérítőszerként használják.

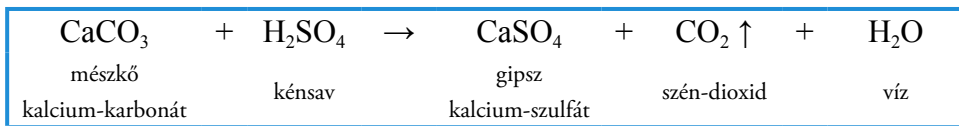
A mesterséges kén-dioxidforrások a következők:

- szén égetése (nagyobb kéntartalom esetén),
- kőolajipari technológiák,
- olajtüzelésű berendezések,
- Diesel-motor kipufogógázai,
- kénsavgyártás,
- acélgártás
- műtrágyagyártás,
- alumíniumipar,
- papíripar.

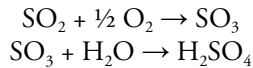
A mérgezés mechanizmusa: a nedves nyálkahártyán adszorbeálódik, savas kémhatást alakít ki, ekkor már irritálja a környezetét. A vérbe kerülve megakadályozza az oxigén felvételét. 10 ppm (1 ppm = 1 cm³/m³ vagy 1 mg/kg) koncentrációnál erőteljesen kikezdi a tüdőt és a nyálkahártyát, 20 ppm-nél a szemet is, 10.000 ppm felett erőteljesen reagál a verejtékkel és helyi sérüléseket eredményez. Krónikus (hosszú ideig tartó, folyamatos) expozíciónál hörgőhurutot idézhet elő.

A kén-dioxid a környezetbe jutva, az esővel reagálva teremti meg az alapját a savas eső létének, amely nemcsak a természetes (erdők, főként tűlevelű erdők kipusztítása), hanem a technikai környezetünkben is igen jelentős károkat eredményezhet.

A mészkőből készített emlékművek, szobrok, parkok és egyéb építmények komoly veszélynek vannak kitéve, amelyet az alábbi egyenlet mutat be:



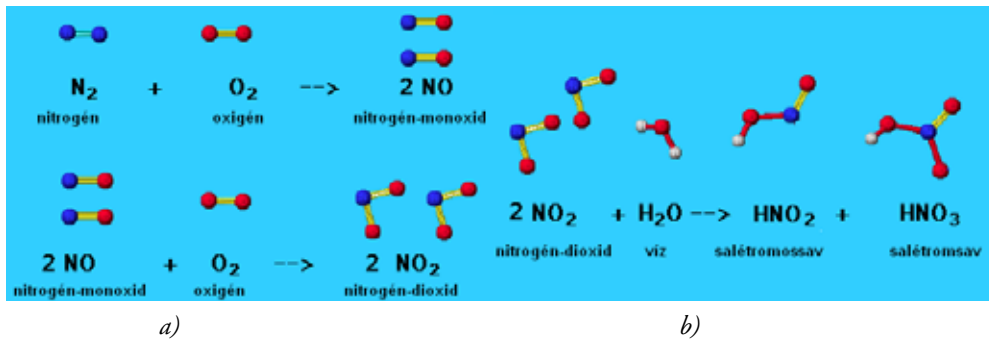
A kénsav keletkezése: a kén-dioxid a légkörben oxidálódik kén-trioxiddá, és elreagál vízzel kénsavvá:



Nitrogén-oxidok (NO_x)

A nitrogén-oxidok közé soroljuk a nitrogén-monoxidot (NO) és a nitrogén-dioxidot (NO₂), de tágabb értelemben az összes nitrogén-oxid ide tartozik (dinitrogén-oxid, dinitrogén-trioxid, dinitrogén-pentoxid). A nitrogén-monoxid színtelen, a nitrogén-dioxid vörösesbarna színű és szúrós szagú gáz. A légköri nitrogén-monoxid könnyen oxidálódik nitrogén-dioxiddá. Erőteljes reagálóképességű vegyületek, légkörben való tartózkodásuk rövid (pár napos, ez többek között reakcióképességüknek is tulajdonítható).

A NO vízben rosszul, ezzel szemben az NO₂ nagyon jól oldódik, a keletkező anyagok: salétromossav (HNO₂) és salétromsav (HNO₃). A környezetszennyezéseknél előforduló savas eső kialakulásáért felelős másik fő komponenscsoport (a kén oxidjai után) a nitrogén-oxidok (65. ábra).



65. ábra: A nitrogén oxidok (a) és savas eső keletkezésének (b) magyarázata reakcióegyenletekkel

Forrás: http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Acids_and_Bases/Case_Studies/Acid_Rain/Sources_of_Nitrogen_Oxides alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

Nem emberi beavatkozás, vagyis a természet által keletkezhet működő vulkáni folyamatoknál vagy a nitrogén természetes körforgása során.

Az emberi beavatkozások közül a nem megújuló energiakészlet tüzelésekor, járművek üzeménél (tömegközlekedés), salétromsav gyártásánál, petrokémiai folyamatoknál, gázfűtés (szezoniális szennyezés) stb. keletkezhet.

Az élő szervezetre gyakorolt káros folyamat röviden a következő: az esemény sor eleje megegyezik a kén-dioxidnál ismertekkel, miszerint a légút nyálkahártyájának nedves felszínére kötődik adszorpcióval, majd átalakul salétromossavvá és salétromsavvá, e vegyületek pedig a szövetek lokális károsodását idézik elő. További káros biokémiai hatása, hogy a vérben nélkülözhetetlen szerepet játszó hemoglobinnak oxidálja, ezért az funkcióját nem tudja teljesíteni. Megközelítőleg $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nitrogén-dioxid koncentráció közelében jelentkezik a károsító hatása, a tüdőfunkció gyengül, így a szervezet teljesítőképessége romlik, a vérképi paraméterek rosszabbodnak.

A nitrogén-dioxid a növényvilágra is mérgező hatással bír, $100 \text{ mg}/\text{m}^3$ koncentráció felett már viszonylag rövid idő alatt is lerontja túlélési esélyüket.

A nitrogén-dioxid a savas pH kémhatás okozása következtében a technikai környezetre káros kihatással van. A nitrogén-dioxid, hasonlóan mint a kén-dioxid, rongálja a mészkőből alkotott épületeket és művészeti tárgyakat.

A nitrogén-dioxid kisebb hőmérsékleten nitrogén-tetraoxidá alakul.

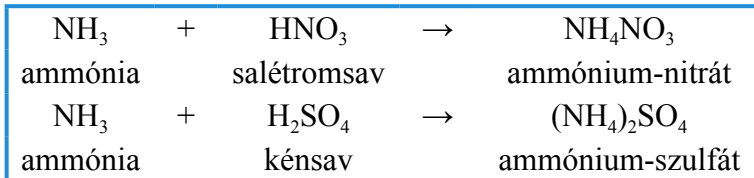
Ammónia (NH_3)

Színtelen, szúrós szagú, mérgező, robbanásveszélyes és maró hatású gáz. A szabályos GHS-CLP címkézés szerint az 56. ábrán látható piktogramokkal kell ellátni szállítás, tárolás alkalmával. A veszélyei ellenére felbecsülhetetlen mennyiségű ammóniát használnak föl a világban évente a szerves vegyiparban, a hűtéstechikában és egyéb vegyipari technológiáknál (például salétromsav gyártásánál). Az ammónia jelenleg semmilyen más anyaggal nem vált-

ható ki, a vele való munkákat óvatos körültekintéssel kell végezni, betartva minden biztonsági rendszabályt.

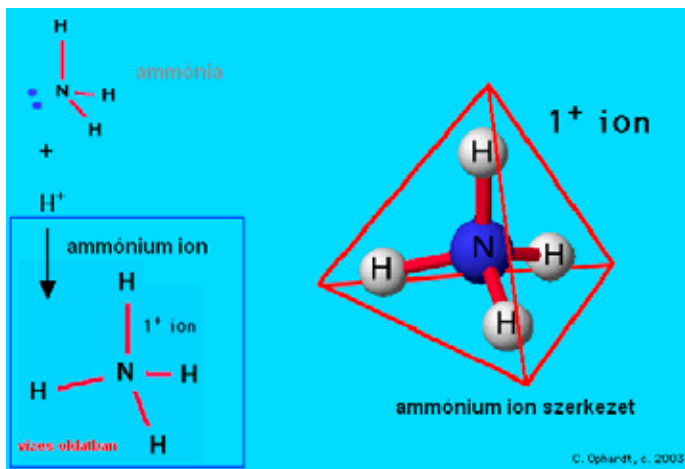
Vízben viszonylag gyorsan és jól oldódik, ezért a víztartalmú légréteg jelenléte előidézi kiülepedését és a szilárd környezeti elembe jutását.

Az ammónia salétromsavval és kénsavval is reagál az alábbi reakcióegyenletek szerint:



Ezek a folyamatok, több különböző szennyező komponens egy időben, a légtérből történő távozását eredményezik, csökkentik a levegő szennyezettségét.

Miután az ammóniamolekula reakcióképessége magas, így csak 1-2 napig tartózkodik a légkörben. Az ammóniamolekula és az ammóniumion szerkezete a 66. ábrán látható.



66. ábra: Az ammónia és az ammóniumion

Forrás: <http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/182bases.html> alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

Természetes eredete a nitrogén körforgásából adódik. Emberi tevékenységből történő expozíció leginkább a mezőgazdasági munkálatokhoz köthető. Több statisztikai adat is alátámasztja azt, hogy Európában az ammónia teljes kibocsátásának több, mint 90%-a mezőgazdasági (műtrágya felhasználása, állattenyésztés) eredetű.

Az ammónia mind a növények, mind pedig az állatok számára tápanyagforrás. Felhalmozódása az élő vízben az eutrofizáció (a növények túlszaporodása, amely végső soron az adott élővíz állapotának, minőségének leromlását indítja el).

Szén-monoxid (CO)

A szén-monoxid színtelen, szagtalan, redukáló tulajdonságú, vízben rosszul oldódó gáz. Szobahőmérsékleten nehezen oxidálódik. A széntartalmú anyagok tökéletlen égéséből származik. Természetes okok megjelenésére a vulkáni folyamatok, az erdő- és bozóttüzek. Antropogén expozíció okai a fosszilis energiahordozók felhasználása, a kohászat, a vegyipar, a közlekedés. A dohányfüst és a gáztűzhely is CO-forrás lehet.

A szén-monoxid erőteljesen mérgező gáz. A vér hemoglobinjéhez irreverzibilisen (viszszafordíthatatlanul) kapcsolódik, úgynevezett szén-monoxid-hemoglobint alkot. A vér oxigénszállító-képessége lecsökken, a szervezetben oxigénhiány alakul ki. A heveny (hirtelen kialakult) mérgezés jelei: fejfájás, szédülés, hányinger, hallásképesség romlása, szív működési problémák. Napjainkban sok lakóépületben alkalmazzák a CO-érzékelőket, a rosszul kiépített, otthoni tüzeléstechnikai berendezés vagy nagyon speciális, átmeneti széljárás (visszaáramló égéstermékek) miatt összegyűlő CO kimutatására.

Szilárd halmazállapotú szennyeződések (por, részecskék)

A légkör szilárd szennyeződéseinak durva frakciója az ülepedő por. Számottevő ideig a levegőben lebegő kisebb részecskék neve szálló por a levegőtisztaság-védelemben. A légzőszervi bekerülés mélységét a porrészecske átmérője határozza meg.

PM (az angol particulate matter rövidítése) a levegőben jelenlévő, lebegő állapotú szilárd és/vagy folyékony halmazállapotú részecskék gyűjtőneve. A PM_{10} a 10 mikrométernél kisebb átmérőjű részecskék neve. Ez a mérethatár azért fontos, mert a nagyobb átmérőjű szemcsék egészségrontó hatása sokkal kisebb mértékű, az ember légző rendszerének védelmi mechanizmusa (szűrő) nem engedi a tüdő mélyebb részeibe jutni. Természetesen attól függően, hogy a részecske milyen folyamatban keletkezett, függ az összetétele is. Összetétele rendkívül szerteágazó lehet, előfordulhatnak a következő alkotórészek: szilícium, szén, BTEX, aromás és alifás szerves vegyület, halogéntartalmú szerves vegyület, nehézfém, nitrát, szulfát és akár élő részecske is, mint a spóra, pollen. A fentiekből könnyedén értelmezhető, hogy az összetételétől függ a közvetítésével okozott egészségi sérülés mértéke.

Antropogén forrásai a fosszilis energiahordozók és a hulladék égetése, a közlekedés, jó néhány nehézipari eljárás (bányászat, kohászat). A legkárosabb hétköznapi porrészecskeforrás az aktív és a passzív dohányzás.

A PM_{10} légköri koncentrációját az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) adatain keresztül van lehetőségünk megismerni. Az OLM automata mérőállomásainak üzemeltetése a Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségek felelőssége. Az Országos Meteorológiai Szolgálat Levegőtisztaság-védelmi Referenciaközpontja működteti az OLM adatközpontját, végzi a mérések pontosságához szükséges feladatokat. A PM_{10} elfogadott mértékegysége $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Illékony szerves szénhidrogének (VOC)

A WHO meghatározása alapján az illékony szerves vegyületek olyan szerves anyagok, amelyek forráspontja 50–100 °C és 240–260 °C között van, s így telítési gőznyomásuk 25 °C hőmérsékleten legalább 1020 hPa érték. Ilyesféle vegyület többek között a benzol (C_6H_6), a xilol (C_8H_{10}) stb.

A VOC-k antropogén emissziója: közlekedés, ipari folyamatok (például a kőolaj-finomítás, festékgyártás, építőipar). A legfőbb forrás a fosszilis tüzelőanyagok és a biomassza égetése, a fosszilis energiahordozók kitermelése, eljuttatása a célhoz.

A gyógyszergyártás, a festék- és vegyipar sok esetben használ szerves oldószereket, többek között toluolt (C_7H_8), etil-benzolt (C_8H_{10}), diklór-etánt ($C_2H_4Cl_2$). A VOC csoportjába jó néhány szerves vegyület tartozik. A VOC vegyületek nagy része elősegíti a felszín közeli ózon képződését (szmog).

8.4 Szennyezők terjedése (összefoglalás)

A 8.3 fejezetben bevezetésre és definiálásra kerültek a használatos levegőtisztaság-védelemmel kapcsolatos fogalmak, ebben a fejezetben gyakorlati szempontból történik összefoglalásuk.

Szennyezők emissziója (glóra, t/év) A folyamatos emberi tevékenységekből eredő, egy bizonyos szennyező forrást tekintve meghatározott idő alatt bekövetkező szilárd, folyékony, gáz halmazállapotú szennyezőanyag-kibocsátás az emisszió. Gyakran olyan szén elégetése, amely 1-2 százalék nitrogéntartalommal jellemezhető. Ekkor nitrogén-dioxid jut a környezetbe, ez az elsődleges szennyező komponens.

Amikor az előbbieken ismertetettek szerint képződött vegyületből alakul egy másik komponens, akkor azt **másodlagos** szennyezőanyagnak hívjuk. Amikor a keletkezett nitrogén-dioxid átalakul salétromossavvá és salétromsavvá.

További fontos gyakorlati besorolás alapján, az emisszió eredete szerint lehet:

- Természetes: emberi befolyásolás nélküli, átmenetiek, lokálisak (erdőtűz, amely nem emberi eredetű, villámlás és száraz erdő).
- Humán (antropogén): emberi tevékenységből közvetlenül vagy közvetett módon származik, a természetes körfolyamatokon felüli anyagmennyiségek expozíciója.

Az emisszió forrása:

- Pontszerű: egy adott helyen (egy jól körülhatárolható koordinátán vagy közvetlen közelében) kerül a szennyezőanyag a környezetbe (gyárkémény, tisztítatlan szennyvíz az élővízi elnyelőbe).
- Nem pontszerű (kiterjedt, illetve diffúz): a szennyezőanyag nagyobb térbeli kiterjedésben jut a környezeti elembe (tömegközlekedés, áruszállítás).

A szennyezés helyi viszonylata alapján:

- Fix vagy helyhez kötött (üzem kéménye, gyár szennyvízkibocsátása a folyó adott pontjába)
- Mozgó (légi, földi, vízi megvalósulásban például járművek által kibocsátott gáz)

Időbeli eloszlás szerint:

- Állandó (folyamatos)
- Időszakos (átmeneti)

Szennyezők transzmissziója

A szennyezés komponenseinek a különböző környezeti elemekben (léggör, víz, talaj) fennálló és folyamatos terjedése, keveredése, amely a levegő áramlása (szél) által fenntartott folyamattal, a diffúzióval valósul meg. A folyamat eredményeként a veszélyes komponensek koncentrációja csökken (hígulás), és az emisszióban a forrástól, a paraméterektől függő távolságokba jutnak. A folyamat menete alatt a vegyületek fizikai és kémiai reakciókban vesznek részt. A léggör tisztulása és a másodlagos komponensek kialakulása folyamatosan és párhuzamosan is zajlik.

Immisszió

Röviden megfogalmazva egy adott térség, terület, térrész szennyezettségi állapotát jelzi. Az előtte levő folyamatok függvénye, vagyis az emisszió és a transzmisszió befolyásolja. Egy meghatározott komponensnek a leginkább mg/m^3 vagy $\mu\text{g}/\text{m}^3$ koncentráció-egységben megadott értéke 1,5 m magasságban meghatározva.

Szennyezés kiterjedése (térbeli terjedése):

- Lokális (10–100 m)
- Regionális (100 km)
- Fluvialis (az élő vízre vonatkozik, folyó, tó, csatorna)
- Kontinentális (országos)

A környezeti elemek sajátossága a fizikai, kémia és biológiai folyamatoknak köszönhetően, hogy az idő előrehaladtával a környezetidegen anyagok kikerülnek az adott környezeti mátrixból, ez az öntisztulás folyamata. Minden vegyületre más és más úgynevezett **tartózkodási idő** a jellemző, ami szintén csak egy elméleti érték, mert néhány paraméter növelheti vagy csökkentheti ezt az értéket. E jelenséget esetenként még a szennyvíztisztításnál is kihasználják, így a környezetre nem veszélyes szerves vagy szervesetlen anyagok bejuthatnak az élővízi befogadóba, ha az élőlények a körforgásnak megfelelően fel tudják használni életfolyamataikhoz (így elfogyasztják, beépítik a testükbe).

Levegő öntisztulási lépései:

1. Hígulás: szél, turbulencia, diffúzió
2. Átalakulás: szennyező anyagból a környezet számára hasznos vagy közömbös vegyület képződik
3. Az eltávozás jelensége:
 - abszorpció: elnyelődés (folyadékban a gáz).
 - adszorpció: megkötődés (folyékony vagy gáz halmazállapotú szilárd rész felületéhez kötődik másodrendű kötések segítségével)
 - precipitáció: kicsapódás, a hőmérséklet- vagy töltéskülönbség következtében
 - szedimentáció: ülepedés (a talajba kerül és beépül a környezetbe)
 - kiszóródás (gravitáció miatt a légtérből a talajba vagy a vízbe kerül a vegyület)
 - kimosódás: az eső vagy a hó kitisztítja a léggör a szennyező komponensektől (például radioaktív izotópok)
 - inpakció-recipitáció (elektromos energia vagy hő segítségével)

A víz öntisztulásának menete:

1. Hígulás: a vízmennyiség teljes térfogatában vándorol a szennyezőanyag.
2. Biológiai degradáció: a szerves anyagok mikroorganizmusok hatására aerob/anaerob paraméterek mellett lebomlanak. Az energianyereség a lebontó szervezetet támogatja.
3. Magnifikáció: az élő szervezet fejlettségétől függően történik a felhalmozódás a szervezetben, a táplálékláncban felhalmozódik a vegyület, akár milliószoros is lehet (biomagnifikáció).
4. Ülepedés: a vízben vándorló és lebegő anyagok leülepednek a víz sebességének változásával, így kikerülnek a fenékiszap felületére, később a belsejébe.

8.5 Környezeti elemek szennyezésével kapcsolatos kémiai alapismeretek

A természetben és közvetlen közelünkben a környezetben állandóan zajló események a transzport és a transzformációs folyamatok.

A környezeti elemekben, vagyis a talajban, a vízben és a légkörben történő anyagáramlás, ebben az esetben a szennyezőanyagok vándorlása. Két meghatározó módja:

- az *advekción* (a folyadékra jellemző mozgással összefüggésbe hozható szállítódás) és – a *diffúzió* (a folyadékokban, annak belsejében folyamatosan történő, kiszámíthatatlan mozgás eredményeként megvalósuló transzport).

A *transzformáció*, ami annak a metamorfózisnak feleltethető meg, amely a kérdéses veszélyes komponens átalakulását eredményezi. A transzformáció fő lehetőségei:

- *fizikai* (a természettudományokra jellemző fizikai változások);
- *kémiai* (a természettudományokra jellemző kémiai átalakulások).

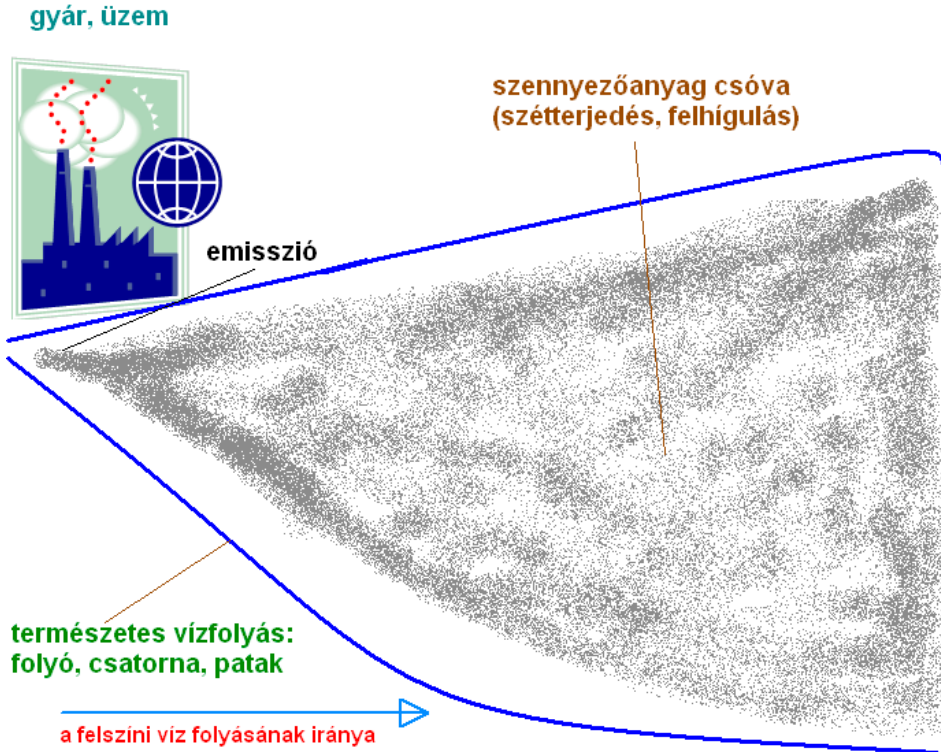
Globális klímaváltozás

Valamennyi vegyületnél elmondható, hogy hatást gyakorolnak a globális klimatikus folyamatokra. A leggyakrabban emlegetett anyag a szén-dioxid, amely az üvegház hatásának kimutatására képes. Egy további elég gyakran emlegetett anyagcsoport a CFC (halogénezett szénhidrogének), amely az ózonrétegre gyakorol káros hatást.

Szennyeződés elkeveredése egy folyóban

A folyók, csatornák az emberiség hosszú történetében teljesítenek szerepet a keletkezett szennyeződések elszállításában és felhígításában. Nagyon sok esetben települt gyár egy-egy folyó mellé az előbb felvázolt céllal.

Tehát a folyóvizek kényelmesen, könnyen elérhetőek, és a vegyületek jó hatásfokú szállítását valósítják meg a távolabbi térségek felé. A 67. ábrán egy folyóba pontforrással bejutó szennyeződés változása került ábrázolásra a vízfolyás irányában, két dimenzióban.



67. ábra: Egy folyóba bejutó ipari kibocsátó pontszerű szennyezésének alakulása

Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Kornyezeti_transzportfolyamatok/adatok.html alapján saját készítésű ábra; letöltés: 2014. március 1.

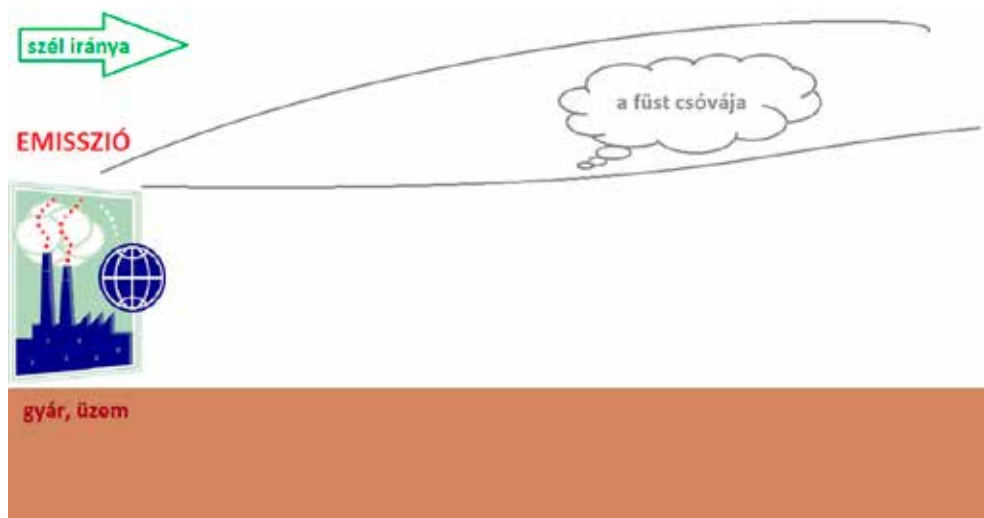
Az élővízbe juttatott, megtisztított szennyvíz tartalmaz lebontandó tápanyagokat az apró vízi szervezetek számára. Ez nemcsak ipari termelésből, hanem települési szennyvíztisztításból is eredhet. Az algák, a baktériumok felveszik, átalakítják, feldolgozzák a szennyvízzel bekerült tápanyagokat, ezáltal tömegük a folyás irányában növekedni fog. Ez a tény további paramétereket változtathat meg, ebben az esetben a vízminőséget módosítja. Például a vízben oldott oxigén változása az eutrofizáció jelenségét idézheti elő.

Fontos megjegyezni, hogy a vízügyi szakemberek állásfoglalása szerint a pontszerű kibocsátások viszonylag könnyedén ellenőrizhetőek és tarthatók felügyelet alatt (Európai Unió Víz Keretirányelv).

Légköri elkeveredés egy kémény környezetében

A környezetvédelem mint interdiszciplináris tudományterület sokszor hozza példaként az elmúlt évtizedekben azt, amikor egy gyár a kéményen keresztül bocsát ki szennyező anyagokat a környezetbe. Az előzőekben körvonalazódott tipikus példáról a 68. ábrán látható.

A kibocsátott szennyezőanyagok, a legtöbb esetben néhány komponens van jelen a kémény füstjében, és a füst tömegében lezajló kondenzációs folyamatok miatt jól látható a szennyezési folyamat, a füstfelhő és csóvája.



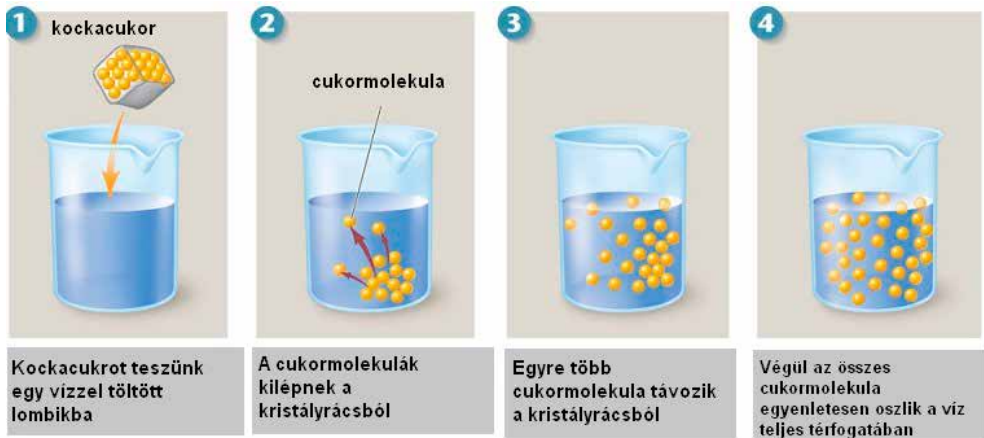
68a. ábra: - Egy gyár vagy egy hőerőmű kéményén keresztül történő füstkibocsátás

Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Kornyezeti_transzportfolyamatok/adatok.html alapján saját készítésű ábra; letöltés: 2014. március 1.

A szennyezőanyagok kibocsátása folyamatos, gyakorlatilag évszázadok óta az emberi tevékenységek elválaszthatatlan kísérője. Ezt pedig a transzportfolyamatokra alapozott kémiai koncentráció-kiegyenlítődések, a természettudomány törvényeinek az állandó törekvése az egyensúlyi állapot kialakítására. Az ember környezetében kialakuló koncentrációviszonyok, és a körülötte kialakuló áramlások leírására a transzportfolyamat alkalmas. A szellőzőrendszerek tervezéséhez és a mérgező koncentrációk kialakulásának matematikai ábrázolásához használatos a mindennapokban.

A diffúzió

A környezetben történő áramlások legfontosabb lépése a diffúzió. A transzportfolyamat fő folyamata a koncentráció kiegyenlítődéseire való állandó törekvés. Ez természeti törvény. Szilárd anyag folyékony halmazállapotú közegben történő teljes elkeveredésének példája látható a 69. ábrán.



69. ábra: A diffúzió egyszerűsített szemléltetése a kockacukor-víz esetében

Forrás: <http://www.yellowtang.org/cells.php> alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

A diffúzió két fő jellegzetessége, hogy:

1. véletlenszerű a természete,
2. az anyagáramlás a magasabb koncentrációjú helyről az alacsonyabb koncentrációjú hely irányába az egyensúlyi állapotnak megfelelő töménység kialakulásáig zajlik.

9. A GARÉI HULLADÉKLERAKÓ KÖRÜLI PROBLÉMÁK RÖVID ISMERTETÉSE [20]

A környezetvédelmi oktatások során az elmúlt évtizedekben nagyon gyakran került megtárgyalásra a garéi hulladéklerakó története és a körülötte kialakult problémák.

Garé, Bosta és Szalánta települések által alkotott háromszögben több mint hatvan ezer hordó mérgező vegyszer került lerakásra a hetvenes évek közepén, ez az eset híresült el a garéi hulladéklerakó címszó alatt.

Garé Baranya megyében, a dél-dunántúli régióban, Pécestől délre, légvonalban körülbelül 17 km-re található (70. ábra).



70a. ábra: A hulladéklerakó közvetlen környezete. Forrás: <https://www.google.hu/maps/place/Gar%C3%A9/@47.033312,19.6737884,7z/data=!4m2!3m1!1s0x475d4becbbe5646b:0x400c4290c1eb670> alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

A garéi hulladéklerakó körüli bonyodalom 1977-ig vezethető vissza, ekkor történt, hogy egy arra alkalmas területet jelöltek ki, amely átmeneti jelleggel fogadta a hulladékokat a bőr- és a húsfeldolgozó üzemektől. A lerakó telephelyét a Pécsi Bőrgyár és a Möbiusz Húsfeldolgozó Vállalat üzemeltette.

A terület kijelölése a hetvenes években hatályos szabályozásoknak megfelelően valósult meg, figyelembe véve a veszélyes hulladékok lerakására, elhelyezésére irányadó földtani szakvéleményeket és állásfoglalásokat.

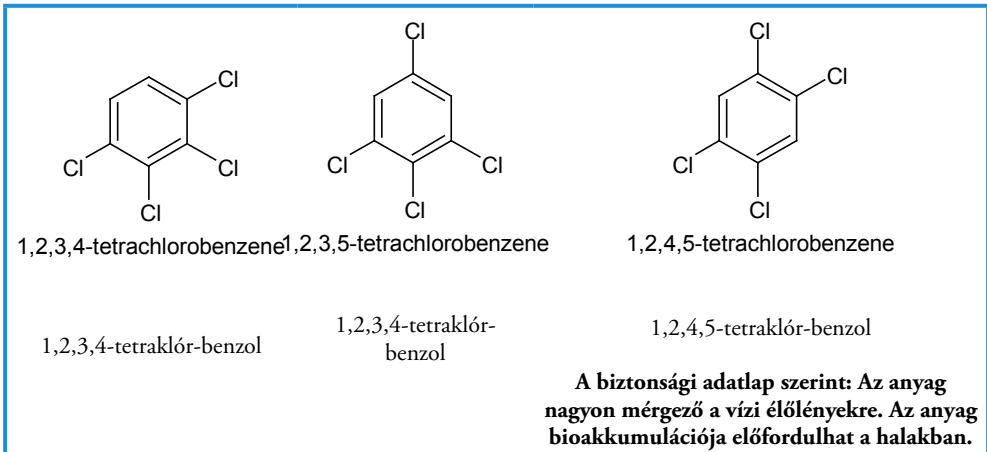
A három település által határolt területet a Magyar Állami Földtani Intézet Dél-dunántúli Területi Szolgálatja javasolta a hulladéklerakásra. A hulladéklerakókra a terület-felhasználá-

gyár a Hidason (Garé közelében) elterülő lerakóba szállította a veszélyes anyagot, de a talaj- és a talajvíz-szennyezés miatt a lakosság tiltakozására ezt beszüntették.

Tulajdonképpen ekkor kezdődött meg a garéi telephely használata, elindult a hulladékok területre szállítása.

A vizsgálatok megállapították, hogy a BVM 1987-ig mintegy 16 000 tonna veszélyes vegyipari maradványt helyezett el a területen raktározás céljából. Túlnyomórészt klórozott benzolszármazék és xilol volt a hulladék hatóanyaga, és megközelítőleg 62 300 db 200 literes fémhordóban helyezték el Garé telepén.

A garéi hulladék jelentős része mintegy 50–60%-a tetraklór-benzol, amelynek 3 izomerje fordul elő az 1,2,3,4-tetraklór-benzol, az 1,2,3,5-tetraklór-benzol, valamint az 1,2,4,5-tetraklór-benzol. Ez a három szerves vegyület nagyon mérgező, rákkeltő, magzatkárosító és genetikai elváltozásokat is okozhat (72. ábra).



72. ábra: A tetraklór-benzol 3 izomerjének szerkezeti képletei; Forrás: saját készítésű ábra

A további vizsgálatok megállapították, hogy a garéi telephelyen elhelyezett hordók nem voltak biztonságosan elszigetelve a környezetüktől, a meteorológiai viszonyoktól sem védte semmi a tárolt hordókat. A környezetszennyezés már az 1980-as évek végére kiteljesedett, és toxikus állapotba került a lerakó és környezete. A fémhordók nagymértékben korródáltak, ennek következtében a veszélyes anyagok párologtak és szivárogtak, így kijutottak a veszélyes anyagok a lerakóból.

A vizsgálatok feltárták, hogy minimum 1000 tonna mérgező hulladék jutott ki a talajba, ezért a határértéket (0,1 mg/kg) jelentősen túllépő koncentrációadatokat kerültek meghatározásra. A lerakó területén mintavételt követő analitikai minőségi és mennyiség elemzés feltárta, hogy 10–1000 mg/kg intervallum közötti tetraklór-benzol volt jelen a lerakó talajában.

A további vizsgálatok megállapításai szerint a lerakó alatti talajréteg 50 hektáron akár 30 méter mélységig tetraklór-benzollal, a talajvíz 8 hektáron dioxinnal, 15 hektáron pedig klór-benzollal volt elszennyezve. A szennyező anyagok kimutathatók voltak a közeli figyelő kutakban, a talajvízben, a növényzetben és a levegőben, távolabbi területen is. A veszélyeshulladék-tárolótól közvetlenül délre fekvő erdő is szennyeződött. További káros hatás bizonyosodott be, amikor a nagyjából 1 km-re lévő Bostán egy mezőgazdasági telepen, állatok hullottak el 1989 nyarán. Megállapították, hogy az állatok szervezete tetraklór-benzolt tartalmazott.

Kármentesítés

1988-ban hatósági intézkedés történt, kötelezték a BVM-t a további környezetszennyezés megakadályozására, a vegyipari hulladékok biztonságosabb tárolásának kidolgozására és a hulladék megsemmisítésére. Ennek hatására a BVM a megsérült hordók megközelítőleg 30%-át újracsomagolta, és a többi hordót befedte. A teljes megoldást 1997 év végéig kellett volna megtenni. A nagyszabású elhárításban még egy veszélyes hulladékégető építése és üzembe helyezése is szerepelt, de ezt az anyagi forrás hiánya megghiúsította. Felvetődött, hogy a hulladékot (magas halogéntartalmú) a dorogi égetőben ártalmatlanítják majd, de ez a helyi lakosság tiltakozása következményeként nem jött létre.

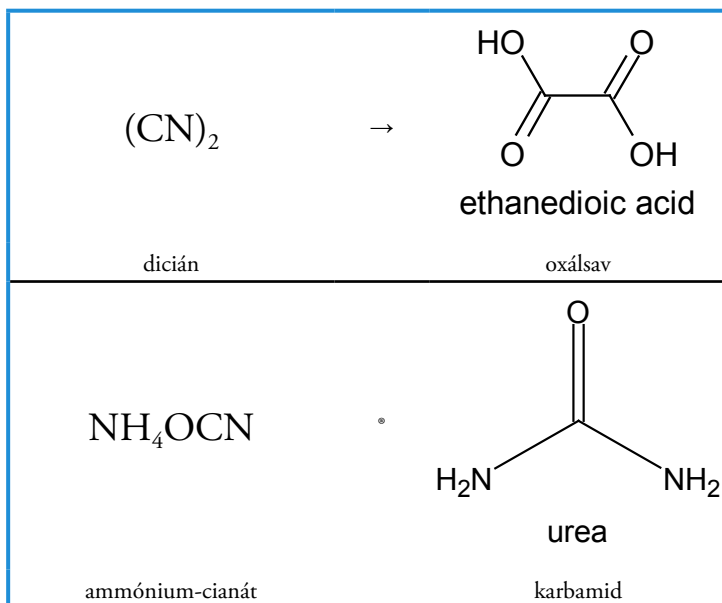
Az összetett, lassan felszámolódnó káresemény újabb fordulataként takarófoliákkal borították be a hulladék felületét, ezzel jelentősen lecsökkentve a párolgási sebességet. A BVM 11 pontos figyelőkút-hálózatot épített ki, így állandóan észlelték a talajvíz szennyezettségének mértékét, a kiemelt szennyezett vizet a BVM hidasi telephelyén speciális szennyvíztisztítással ártalmatlanították.

2001-ben befejezték a hordók kiemelését, majd ezt követően a feldarabolt vashordókat és folyékony hulladéktartalmukat a telephelyen erős falú, műanyag hordókba helyezték át, és folyamatosan elszállították németországi, ausztriai és magyarországi égetőművekbe, megsemmisítésre.

10. BEVEZETÉS A SZERVES KÉMIÁBA [37]

Szerves kémia a szénvegyületek kémiája. A kémia tudománya a megnövekedett mennyiségű tudásanyag és a különböző gyakorlati alkalmazások miatt a 18. század végére két fő ágra vált: a szerves és a szervetlen kémiára. A szerves kémia elnevezés bevezetése Berzeliusnak (1806) tulajdonítható. A régies álláspont alapján azokat a vegyületeket tulajdonították szervesnek, amelyek előállításuk kizárólag az élő (vagyis állati, növényi) szervezetekből lehetséges, ez az úgynevezett életerő elmélet (*vis vitalis*).

Wöhler német tudós ezt sikerült megcáfolnia, egy híres kísérletben 1824-ben, amikor dicianból oxálsavat állított elő. Az oxálsav szerves, növényi eredetű molekula. Az *vis vitalis* doktrína végleg megdőlt, amikor 1828-ban az ásványi eredetű ammónium-cianátból egyszerűen hő hatására az emberi vizeletben is előforduló (szerves) karbamidot (urea) állított elő (73. ábra).



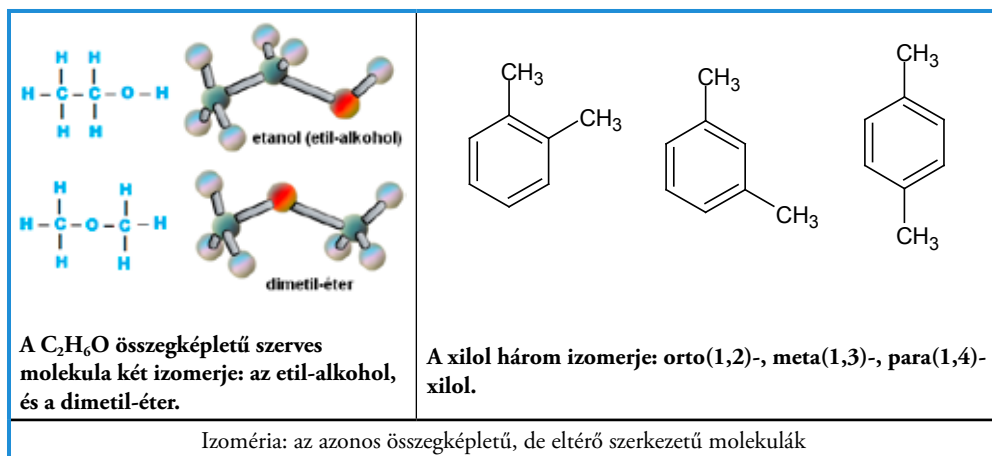
73. ábra: Wöhler kísérlete; Forrás: saját készítésű ábra

A szénvegyületeket tárgyalásuk, előállításuk, törvényszerűségeiknek magyarázatai elkülöníti a kémia többi részterületétől. Ez az alábbi okoknak tulajdonítható:

- A szénvegyületek rendkívül nagy száma: napjainkban a szakirodalomban előforduló szénvegyületek számadata több, mint 20 millió körüli (megjegyzés: a szervetlen és fémorganikus vegyületek száma körülbelül 1,5 millióra tehető). További fontos kijelentés, hogy a szerves vegyületekben a szénatomon kívül aránylag kevés egyéb

atom szerepel (főként hidrogén, oxigén, nitrogén, de halogének, kén és foszfor is előfordulhat).

- A szénvegyületek fő jellemzője az izoméria (74. ábra). Az izomériának tulajdonítható a szerves vegyületek nagy száma. Az izoméria folytán az összegképlet minimális információval jellemzi a szerves molekulát. Messzemenő következtetések a szerkezeti képletekből vezethetők le, ahol az atomok kapcsolódási sorrendje egyértelmű, s így következtethetünk egy-egy reakcióban történő viselkedésére. (Tehát a CaCl_2 összegképlet kizárólag egyetlen szervetlen molekulát jelent, de a $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ összegképlet két, egymástól teljesen eltérő tulajdonságú vegyületet mutat be: az etil-alkoholt és a dimetil-étert.) További különlegessége az izoméria jelenségének, hogy a molekulát felépítő atomok számának emelkedésével ugrásszerűen növekszik az izomerek száma (17. táblázat).



74. ábra: Az izoméria magyarázata

Forrás: <http://chemistry.tutorvista.com/inorganic-chemistry/isomerism.html> alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

A molekulát felépítő szénatomok száma	Az izomerek száma
4	
2	
6	5
8	18
10	75
20	366 319

17. táblázat: Az izomerek számának változása a szénatomszámmal

Forrás: <http://www.adichemistry.com/organic/basics/isomerism/structural/structural-isomerism.html> alapján saját készítésű táblázat; letöltés: 2014. március 1.

A vegyérték az a szám, amely megmutatja, hogy egy elem mennyi hidrogénatommal vagy a hidrogénatommal egyenértékű más atommal képes kötést létrehozni. A vegyérték mindig egész szám, értéke 1 és 8 között lehet. Egy kicsit modernebb megfogalmazásban: a vegyérték az a szám, amely megadja, hogy az atom mennyi elektronnal vett részt az elsőrendű kötésben.

A klasszikus szerkezetelmélet alapját az alábbi kijelentéseket alkották meg (ezek tulajdonképpen a szénkémia vagyis a szerves kémia alapjai):

- a szénatom vegyületeiben minden esetben négy vegyértékű;
- a négy vegyérték egymással azonos értékű;
- a szénatom négy vegyértéke a telített vegyületekben tetraéderez szerkezetet alkot;
- a szénatomok egymással is kapcsolódhatnak, lánc vagy gyűrűs szerkezetű molekulaváz kialakulását eredményezve.

Néhány fontosabb, telített szénhidrogéncsoport az iparban gyakran használt jelölésével együtt került összefoglalásra a 18. táblázatban.

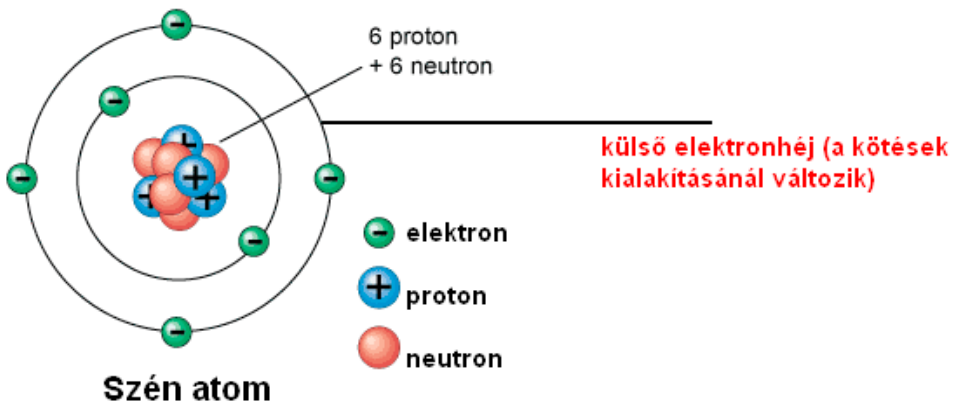
A csoport elnevezése és jelölése	Szerkezet
metil Me	CH ₃ -
metilén	-CH ₂ -
etil Et	CH ₃ CH ₂ -
etilén	-CH ₂ CH ₂ -
etilidén	CH ₃ CH ₂ <
propil Pr	CH ₃ CH ₂ CH ₂ -
izopropil iPr, Pr ⁱ	(CH ₃) ₂ CH-
butil Bu	CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₂ -
izobutil iBu, Bu ⁱ	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ -

18. táblázat: A fontosabb telített szénhidrogéncsoportok áttekintése

Forrás: <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/szerves-kemia-szerves/adatok.html> alapján saját készítésű táblázat; letöltés: 2014. március 1.

10.1 A szénatom periódusos rendszerben elfoglalt különleges helyzete

A C^+ ion képződése lehetetlen. A szénatom csak úgy képes a nemesgáz-konfiguráció kialakítására a molekulaképzésnél, ha homopoláros (kovalens) kötésekkel létesíti. A szénatom négy vegyértékűsége a vegyértékhéjában (külső elektronhéj) található elektronok számától függ (75. ábra). A kovalens kötések kialakítására való hajlam pedig a periódusos rendszerbeli közbelső helyzetéből (vagyis az elektroneutralitásából) származik. Ez a magyarázat a szén-szén kötések rendkívül változatos kialakítására (tehát a láncc- vagy gyűrűképzésre).



75. ábra: A szén atom szerkezete

Forrás: <http://naomisbell.files.wordpress.com/2012/09/atom1.gif> alapján saját szerkesztés; letöltés: 2014. március 1.

A szénatom helye különleges a periódusos rendszerben. A helynek a specifikusságát mutatja az is, hogy a szilícium a szénatom mellett található, és analógiát mutat a szénnel.

A szén kötőelektronjainak és koordinációs számának megegyezése az alapja annak, hogy a szerves vegyületek többsége nem ionos és kevéssé poláros molekula. A szerves molekulák néhány jellegzetes fizikai-kémiai tulajdonsága:

- a szerves vegyületek túlnyomó többsége nem atom- vagy ionrácsban, hanem molekularácsban kristályosodik, a rácsenergia relatívan alacsony, ennek következtében az olvadáspont is aránylag alacsony ($< 300\text{ °C}$);
- a szerves vegyületek többsége jól oldódik különböző szerves (apoláris) oldószerekben;
- a szerves vegyületek zöme illékony és bomlás nélkül desztillálható;
- a szerves vegyületek általában nem vagy rosszul vezetnek az elektromos áramot.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SZABADVÁRI Ferenc: *A magyar kémia művelődéstörténete*. Mundus Magyar Egyetemi Kiadó, Bp., 1998. <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/magyar-kemia/index.html>
- [2] Dr. BARKÁCS Katalin – Dr. BARTHOLY Judit – Dr. KISS KEVE Tihamér – Dr. NAGY Mária – Dr. PONGRÁCZ Rita – Dr. SALMA Ímre – Dr. SOHÁR Pálné – Dr. TÓTH Bence: *Környezetkémia*. Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar – Typotex Kiadó Kft., Bp., 2012.
http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0047_Salma_Kornyezetkemia/adatok.html
http://etananyag.ttk.elte.hu/FiLeS/downloads/EJ-Salma_Kornyezetkemia-04_24.pdf
- [3] Dr. HORVÁTH Viola: *KÉMIA I*. BME Általános és Analitikai Kémiai Tanszék, (műszaki menedzser hallgatók részére), 1997.
http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/anal/Muszaki-Menedzser-Kemia/K%e9miai_I_jegyzet/
- [4] Dr. HORVÁTH Viola: *KÉMIA I*. BME Általános és Analitikai Kémiai Tanszék, (műszaki menedzser hallgatók részére), 2011.
<http://web.inc.bme.hu/csonka/csg/oktat/mmkem/kemia-1.pdf>
- [5] BENKŐ Zoltán – KÖMÍVESNÉ TAMÁS Ibolya – STANKOVICS Éva: *Kémiai alapok*. Typotex Kiadó Kft. – BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Bp., 2011.
http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0028_BenkoZ_Kemiai-alapok/kemalap-1_8_8.html
- [6] PATKÓS András: *Kémiai kislexikon*, Typotex Kiadó Kft., Bp., 2007.
<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/oxford-typotex-kemiai/adatok.html>
- [7] Prof. Dr. BÁRÁNY Sándor – Dr. BAUMLI Péter – Dr. EMMER János – HUTKAINÉ GÖNDÖR Zsuzsanna – NÉMETHNÉ Dr. SÓVÁGÓ Judit – Dr. BÁDER Attila: *Fizikai kémia műszakiaknak*. Miskolci Egyetem (TAMOP 4.2.5 Pályázat könyvei)
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0001_1A_A3_02_ebook_fizikai_kemia_muszakiaknak/adatok.html
- [8] Égéselmélet. Debreceni Egyetem
http://dragon.klte.hu/~beneg/eges_elmelet.pdf
- [9] Dr. SIMON Ákos – TÖRÖK László Ervin: *Alkalmazott kémia*. (ZMNE és BMF biztonságtechnikai mérnök MSc hallgatók részére) egyetemi (főiskolai) jegyzet, Bp., 2007.
- [10] Dr. HODÚR Cecília – Dr. SÁROSI Herbert: *Hőtani műveletek*. (levelező hallgatók számára), Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Szeged, 2007.
<http://csuka.mk.u-szeged.hu/~temut/letoltes/hotanlev.pdf>
- [11] http://www.mozaweb.hu/Lecke-Kemia-Kemia_10-Az_alkinek_Aceten_szenhidrogenek-100234
- [12] <http://hirmagazin.sulinet.hu/hu/tudomany/fenyhordozo>
- [13] <http://kemiaeszt.uw.hu/anyagok/anyagok/p.htm>

- [14] Prof. Dr. LUKÁCS László: *Bombafényegetés – A robbanóanyagok története*http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012_cikkek/32_Lukacs_Laszlo_Roag_totenete.pdf
- [15] BAKÓ Péter – FOGARASSY Elemér – KEGLEVICS György: *Szerves vegyipari technológiák*. Egyetemi tananyag, BME, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar Szerves Kémia és Technológia Tanszék, Typotex Kiadó Kft., Bp., 2011.http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0028_KeglevichGy_Szerves-vegyipari-technologiai/adatok.html
- [16] Dr. habil. SÁRDI Katalin: *Agrokémia. A növénytáplálás alapjai*. Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaság-tudományi Kar, Talajtan és Agrokémia Tanszék, Keszthely, 2003. kari jegyzet
- [17] *Az ELTE vörösiszap lexikonja*
http://www.chem.elte.hu/system/files/ELTE_vorosiszap_lexikonja.pdf
- [18] *A timföldgyártás folyamata*
<http://www.sulinet.hu/tlabor/kemia/szoveg/k62.htm>
- [19] PÁTZAY György – TUNGLER Antal, MIKA László Tamás: *Kémiai technológia*. Typotex Kiadó – BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, 2011. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0028_PatzayGy_Kemiai-technologia/adatok.html
- [20] Dr. KURDI Róbert: *Vegyipari folyékony hulladékok*. 2011. (TÁMOP 4.2.5)
http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0021_Vegyipari_hulladekok/adatok.html
- [21] *Kénsavgyártás*
<http://www.sulinet.hu/tlabor/kemia/szoveg/k18.htm>
- [22] *A salétromsav gyártása*
<http://www.sulinet.hu/tlabor/kemia/szoveg/k19.htm>
- [23] *Ammóniagyártás*
<http://www.sulinet.hu/tlabor/kemia/szoveg/k20.htm>
- [24] *A kőolaj szétválasztása összetevőire laboratóriumi körülmények között*
<http://www.sulinet.hu/tlabor/kemia/szoveg/k35.htm>
- [25] *A kőolaj feldolgozása az iparban*
<http://www.sulinet.hu/tlabor/kemia/szoveg/k36.htm>
- [26] NÉMETHNÉ Dr. SÓVÁGÓ Judit – Dr. ÁBRAHÁM József – Dr. GÁL Tivadar: *Vegyipari és Petrolkémiai Technológiák*. Miskolci Egyetem (TÁMOP 4.2.5 Pályázat könyvei)
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0001_1A_A3_03_ebook_vegyipari_es_petrolkemiai_techonologiai/adatok.html
- [27] Dr. ÁBRAHÁM József, NÉMETHNÉ Dr. SÓVÁGÓ Judit, Dr. GÁL Tivadar: *Vegyipari és Petrolkémiai Technológiák Biztonsági Adatlapok Adatbázisa*. Miskolci Egyetem (TÁMOP 4.2.5 Pályázat könyvei)
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0001_1A_A3_AB_ebook_vegyipari_es_petrolkemiai_techonologiai_biztonsagi_adatlapok_adatbazisa/adatok.html
- [28] Dr. GRIBOVSZKI Zoltán: *Környezeti transzportfolyamatok*. 2011.
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Kornyezetei_transzportfolyamatok/adatok.html

- [29] BARÓTFI István: *Környezettechnika*. Mezőgazda Kiadó, Bp., 2000.
<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/adatok.html>
- [30] SÁRVÁRY Attila: *Környezetegészségtan*. Debreceni Egyetem, 2011. (TAMOP 4.2.5 Pályázat könyvei)
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0019_1A_Kornyezetegeszsegtan/adatok.html
- [31] Dr. ANDA Angéla: *Levegőtisztaság védelme*. Kempelen Farkas Hallgatói Információs Központ, 2011. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_Levegotisztasagvedelem/adatok.html
- [32] BARKÁCS Katalin – KISS Ádám – MÁDLNÉ SZŐNYI Judit – MÉSZÁROS Róbert – PAPP Sándor – PONGRÁCZ Rita – SZABÓ Mária – TASNÁDI Péter – TORKOS Kornél – TÓTH Erzsébet – WEISZBURG Tamás – ZSEMLE Ferenc: *A környezettan alapjai*. Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar – Typotex Kiadó Kft., Bp., 2012. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0047_Kiss_A_kornyezettan_alapjai/Kiss_A_kornyezettan_alapjai_1_1.html
- [33] ANGYAL Zsuzsanna – BALLABÁS Gábor – CSÜLLÖG Gábor – KARDOS Levente – MUNKÁCSY Béla – PONGRÁCZ Rita – SZABÓ Mária: *A környezetvédelem alapjai*. Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar – Typotex Kiadó Kft., Bp., 2012. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0047_Angyal-Szabo_Kornyezetvedelem/A_kornyezetvedelem_alapjai_OK_1_1.html
- [34] „A”Tételű modul – Környezetvédelem. Szaktudás Kiadó Ház Zrt., 2008.
(E-learning tananyag a Környezetgazdálkodási és Természetvédelmi mérnöki MSc szakos hallgatók számára, a TAMOP 4.1.2 pályázat keretein belül)
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_kornyezetvedelem/adatok.html
- [35] Dr. FEKETE Jenő György: *Környezetstratégia*. 2011.
(TAMOP 4.2.5)
http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0021_Kornyezetstrategia/index.html
- [36] MARKÓ László: *SZERVES KÉMIA I*. Educatio Társadalmi Szolgáltató Nonprofit Kft., 2005.
<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/szerves-kemia-szerves/adatok.html>

További áttanulmányozott és felhasznált irodalom

- [37] LÁSZLÓ Krisztina: *Felületek fizikai kémiája*. Egyetemi tananyag, BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék – Typotex Kiadó Kft., 2011. (Készült a TAMOP-4.1.2-08/2/A/KMR-2009-0028 számú, „Multidiszciplináris, modulrendszerű, digitális tananyagfejlesztés a vegyészmérnöki, biomérnöki és vegyész alapképzésben” című projekt keretében.) <http://www.interkonyv.hu/konyvek/?isbn=978-963-2794-71-6>

- [38] LÁSZLÓ Krisztina – GROFCSIK András – KÁLLAY Mihály – KUBINYI Miklós: *Fizikai Kémia I. Kémiai termodinamika*. Typotex Kiadó Kft. – BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, 2011.
(TAMOP 4.2.5 Pályázat könyvei)
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0028_LaszloK_Fizikai-kemia1/adatok.html
- [39] BARÓCSI Attila: *A biofizika alapjai*. Typotex Kiadó Kft., Bp., 2011.
(Készült a TÁMOP-4.1.2-08/2/A/KMR-2009-0028 számú, a „Természettudományos (matematika és fizika) képzés a műszaki és informatikai felsőoktatásban” című projekt keretében.)http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_2A_Barocsi_Atila_A_biofizika_alapjai/Barocsi_Biofizika_6_6.html
- [40] CSÉFALVAY Edit – DEÁK András – FARKAS Tivadar – HANÁK László – MIKA László Tamás – MIZSEY Péter – SAWINSKY János – SIMÁNDI Béla – SZÁNYA Tibor – SZÉKELY Edit – VÁGÓ Emese: *Vegyipari műveletek II. Anyagátadó műveletek és kémiai reaktorok*. Typotex Kiadó Kft. – BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Bp., 2011.
(TAMOP 4.2.5 Pályázat könyvei)http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0028_Simandi_Vegyipari-muveletek-II/adatok.html
- [41] *Széncsere a légkör és a földi készletek között*
<http://www.sulinet.hu/tlabor/kemia/szoveg/k38.htm>
- [42] *Változó légkör, a kibocsátott gázok sorsa*
<http://www.sulinet.hu/tlabor/kemia/szoveg/k39.htm>
International Programme on Chemical Safety: Safety and Health in the Use of Chemicals at Work, A training manual, Abu Bakar Che Man and David Gold
<http://actrav.itcilo.org/actrav-english/telearn/osh/kemi/scan/sandhm.htm>
<http://www.americanelements.com/>
http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012_cikkek/06_Nagy_Robert.pdf
http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/anal/Anyagvizsgalati_modszerek_a_bunuldozesben/5-Robbanoanyagok-es-tuzkelto-anyagok-kriminalisztikai-vizsgalata.pdf
http://members.iif.hu/visonay/ponticulus/rovatok/hidverok/kemia_irod.html
<http://www.mikeblaber.org/oldwine/chm1045/notes/Struct/ManyE/Struct07.htm>
http://www.kvvm.hu/cimg/documents/Egeszseg_fugg2_OETI.pdf
http://www.thermopedia.com/content/552/#AIR_POLLUTION_FIG2
<http://www.omfi.hu/>

A borítóhoz és képletekhez felhasznált számítógépes program: ACD/ChemSketch (Freeware Version), ACD/Labs Release: 12.00, Product Version: 12.01 (Build 38526, 26 Feb 2010)



A projekt az Európai Unió támogatásával,
az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.