

## Abszorpció

A **gáz abszorpció** vagy röviden csak abszorpció olyan művelet, amelyben egy gázkeverék (gázelegy) egy vagy több komponensét folyadékban (oldószerben, szolvensben) oldjuk (tehát kioldjuk, kimossuk) a gázfázisból, ezért a napi szóhasználatban gyakran a gázmosás elnevezést használják. Az eltávolítandó komponens lehet gáz vagy gőz halmazállapotú, tehát pl. kén-dioxid vagy nitrogén-oxid erőművek füstgázaiban, illékony szerves komponens (benzol, toluol stb., általában VOC) pl. festőkabinok légáramában, ammónia kocszoló kemencék gázáramában, kén-hidrogén földgázban (szénhidrogéngázokban), higanygőz klór-alkáli elektrolízisnél, melyeken kívül még számos más gáz vagy gőz fázisú komponens távolítható el abszorpcióval gázáramokból. A műveletet ipari termelési feladatokra használják, amikor pl. szalmiákszeszt, kénsavat, salétomsavat vagy sósavat gyártanak (rendre ammónia, kén-trioxid, nitrogén-oxidok vagy sósavgáz elnyelésével), s ekkor az abszorpció a gyártási vonal egyik (sokszor befejező) művelete, a fentebb megadott példákban viszont környezetvédelmi és/vagy visszanyerési feladatokat szolgál. Az abszorpció fordított (inverz) művelete a **deszorpció**, melyet akkor alkalmazunk, ha valamely komponens (komponenseket) folyadékelegyből kell eltávolítani. Itt alkalmazási példaként említhetjük a folyadékok gázmentesítését (pl. az oldott komponensek kihajtása az erőművek tápvizeiből), de több más példát is említhetnénk. A megadott példákban is látható, hogy igen sok különféle kémiai komponens távolítható el gázelegyből különféle folyadékokkal vagy folyadék eleggyel, melynek műveleti neve **abszorbens**. Az eltávolítandó komponens(ek) hordozó gáza természetesen nem csak levegő lehet, s hasonlóan a vízben kívül abszorbensként is igen sokféle szerves és szervetlen folyadék ill. folyadékelegy alkalmazható, a kimosandó komponens(ektől) vagy egyéb megfontolásoktól függően. A példákban látható, hogy a deszorpció nem csak akkor követheti az abszorpciót, ha az oldószer regeneráljuk az oldószer ismételt felhasználása céljából, hanem akkor is, amikor valamely értékes gőzt szeretnénk visszanyerni újabb felhasználás céljára, s ekkor a gázelegyet a visszanyerendő gőz számára megfelelő oldószerrel mossuk. Így tehát az abszorpciót elsősorban termelési feladatokra alkalmazták sok évtizeden keresztül (lényegében a 19. század elejétől) és alkalmazzák ma is, kifejezetten környezetvédelmi alkalmazása a 20. század hetvenes éveitől datálható. A művelet megvalósulása és a berendezések (melynek műveleti neve **abszorber**) kialakítása szempontjából lényegtelen az alkalmazási cél. A műveletben anyagátvitel valósul meg a két érintkező fázis között. Ez az abszorpciónál a gázáramból a folyadékáramba, deszorpciónál a folyadékáramból a gázáramba irányul. Az abszorpció és a deszorpció alapelvei azonosak.

Gyakorlati szempontból az abszorpció két válfaját különböztetjük meg: fizikai abszorpciót és kémiai abszorpciót. **Fizikai abszorpció** során nem megy végbe kémiai reakció az oldott komponens és az oldószer között, csak fizikai oldódás valósul meg (pl. szén-dioxid oldódása vízben). Ebben az esetben gyakorlatilag nem lehetséges a komponens teljes elnyelése, minthogy az abszorpció révén csökken a gázfázisban a komponens parciális nyomása és ezzel az anyagátvitel hajtóereje, s a művelet csak addig folytatódik, amíg a két fázis egymással egyensúlyba kerül. (Megjegyzés: ez is csak elvi lehetőség, végtelen nagyságú berendezésben). **Kémiai abszorpció** (kemoszorpció vagy kemisorpció) esetében az oldott komponens és a folyadékfázis (vagy annak egy komponense) között kémiai reakció valósul meg, tehát új vegyület keletkezik (mint pl. a szén-dioxid elnyelése nátrium-hidroxid vizes oldatában vagy a kén-dioxid elnyelése mésztejoldatban, amikor nátrium-karbonát, illetve gipsz keletkezik, s mindkét esetben víz szabadul fel a reakció révén). Ilyen esetekben a keletkezett vegyület gyakran eléggé állandó (nátrium-karbonát, illetve gipsz), s az elnyelt komponens parciális nyomása az oldat felett elhanyagolható értékre csökkenhet, ha az oldatban kellő mennyiségű reagens van jelen, melynek eredményeként csaknem teljes elnyelés érhető el. Kémiai abszorpció esetében tehát az elnyelés mértékét az oldatban jelen lévő reagens koncentrációja határozza meg (a példabeli esetekben addig valósul meg a szén-dioxid illetve a kén-dioxid elnyelése, amíg nátrium-hidroxid illetve kalcium-hidroxid van az oldatban, s kellő mennyiségű nátrium-hidroxid illetve kalcium-hidroxid jelenléte esetén akár a teljes elnyelés létrejöhet).

A leírtakból következik, hogy az abszorpció a vegyipar egyik leggyakrabban alkalmazott művelete gázkeverékek szétválasztására. Felhasználják gázelegyek elválasztására, tisztítására (pl. a szén száraz lepárlásával kapott világítógázból az ammónia kinyerése vizes mosással, illetve a szén-dioxid és a kén-hidrogén egy részének eltávolítása, továbbá a benzol kimosása olajjal), káros szennyezések eltávolítására értékes gázokból (pl. szén-dioxid vagy a szén-monoxid eltávolítása vízzel vagy ecetsavas réz-formiát oldattal az ammónia szintézisének a szintézisgázokból), értékes anyagoknak gázáramokból történő visszanyerésére (acetone, alkoholok stb. visszanyerése oldószergyártásnál). Igen fontos alkalmazás a levegő szárítása is, vagyis a levegő nedvességtartalmának eltávolítása (csökkentése) vízelvonó folyadékkal (pl. kénsavval). Ezek mellett az abszorpciót igen elterjedten alkalmazzák környezetvédelmi problémák megoldására is. Ebben az esetben az abszorbens leggyakrabban víz, és a szennyező komponenseket leginkább levegőből kell eltávolítani. Ennek alapja az a tény, mely szerint a levegő természetes komponensei (oxigén, nitrogén) nagyságrendekkel rosszabbul oldódnak a vízben, mint a szennyező komponensek, tehát kis koncentrációjuk ellenére is eltávolíthatók, akár még fizikai abszorpcióval is, de gyakran kémiai abszorpciót használunk ilyen feladatok megoldására. A gázok

eltérő oldékonyságára a **szelektivitás** kifejezést használjuk, mennyiségi jellemzésére pl. a **Henry törvény** ad lehetőséget.

### Abszorberek

Az abszorberben gáz- és folyadékfázist érintkeztetünk, melyet minél hatékonyabban kell megvalósítani. Az érintkezés a **fázishatárfelületen** valósul meg, így tehát a minél nagyobb fajlagos fázishatárfelület (tehát a berendezés egységnyi térfogatára vonatkoztatott érintkezési felület) elérése az elsődleges cél. Így tehát alapvető olyan berendezések, illetve érintkeztetési módok kialakítása, amikor a fajlagos érintkezési felület nagy, s ennek jelentős része aktívan részt vesz az anyagátadásban. Szükséges az érintkezési felület időszakonkénti megújítása is. A fázishatárfelület létrehozásának négy módszere szokásos az abszorberekben:

- folyadékfilmek létrehozása
- folyadéksugarak létrehozása,
- folyadékcseppek és
- buborékok létrehozása,

melynek megfelelnek a kialakított készülékek is. Ennek alapján beszélhetünk:

- film abszorberokról
- sugár abszorberokról
- permetező abszorberokról és
- buborékolató abszorberokról.

Megjegyzés: folyadékcseppek gyakorlatilag mindegyik abszorber típusban létrejöhetnek ill. gyakran létrejönnek, de nem a cseppképzés a meghatározó a fázishatárfelület képzésében, kivéve a permetező abszorbereket. Ugyanez némi árnyalattal elmondható a folyadékfilmről ill. a folyadéksugárról is, melyek a film abszorberben ill. a sugár abszorberben értelemszerűen meghatározóak.

Gyakorlati szempontból a berendezéseket két alapvető csoportba sorolhatjuk: toronyszerű (tornyos) és nem tornyos szerkezetek. A gyakorlatban főleg a tornyos szerkezeteket (tornyok, oszlopok, kolonnák) alkalmazzák. A tornyok függőleges hengeres készülékek, főleg tányéros és töltelékes oszlopok, melyekben a fázisok érintkezésének biztosítására folyadékcseppeket, folyadéksugarakat és buborékokat hoznak létre. A tányéros és a töltelékes oszlopok mellett még más szerkezetű oszlopokat is alkalmaznak abszorberként: ezek a nedvesített falú oszlop, a permetezett (permetező) oszlop, terelőlemezes oszlop és a fluidizációs oszlop. A **permetező tornyok** üres (tehát mindenféle töltelék nélküli) tornyok, melyekben általában ellenáramú gázáramba permetezik a folyadékot. Minthogy a két fázis érintkezési ideje viszonylag rövid, ezt az abszorbert elsősorban jól oldódó gázok abszorpciójára használhatjuk (pl. ammónia-víz). A legkedvezőbb cseppátmérő 2-3 mm, ezzel a folyadékkelragadás még nem túlzottan nagy, a fajlagos érintkezési felület viszont már megfelelően nagy, a porlasztás energiaigénye elfogadható. Előnyük a kicsi nyomásesés, hátrányuk a permetképzés energiaigénye és a folyadékkelragadás, tehát cseppfogó beépítése mindenképpen szükséges. Abszorberként való alkalmazásuk különösen akkor terjedt el, amikor az 1970-es években az energiaárak megugrottak, s számos porlasztószárító került leállításra és a felszabadult készüléktesteket felhasználták az akkor jelentkező környezetvédelmi feladatok megoldására (pl. kén-dioxid abszorpció).

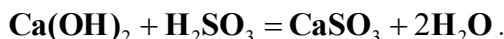
### Kén-dioxid (SO<sub>2</sub>) abszorpciója füstgázból

A kén-dioxid a füstgázok jelentős szennyező alkotója, különösen fosszilis tüzelőanyagokkal üzemeltett erőművek füstgázában, melyek térfogatárama néhány milliárd m<sup>3</sup>/h nagyságrendű. A 4. oldalon közölt ábra kén-dioxid mésztejes abszorpcióját mutatja füstgázból. A kazánból a kén-dioxid tartalmú füstgáz először porleválasztó berendezésbe lép (pl. elektrosztatikus porleválasztóba), majd pedig az abszorberbe vezetik (mely lehet kétfokozatú is). A füstgázból a kén-dioxid abszorbeálódik az abszorbensben, majd a folyadékfázisban jelenlévő mésztejjel kémiai reakcióval gipszet képez. A folyamat tehát a következő lépésekben megy végbe:

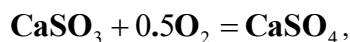
- a kén-dioxid abszorpciója a vízben, melynek révén kénessav keletkezik:



- és kémiai reakció a folyadékfázisban:



A képződött kalcium-szulfit vízben jól oldódik, ezért célszerű kalcium-szulfáttá való oxidálása a következő kémiai reakció szerint:



mely csak hevítéssel eltávolítható kristályvizet is tartalmaz. Az oxidáláshoz szükséges oxigén általában jelen van a füstgázban, minthogy mindig légszerűleg történik a tüzelés, de lehetséges pótlevegő vagy közvetlenül oxigén beadagolása az abszorber alsó részébe a fokozottabb oxidáció érdekében.

A füstgáz az abszorberben lehül, a harmatponti hőmérsékletéhez közeli értékre, de általában 50-80 °C-ra, a leadott hőmennyiség felmelegíti az abszorbenst és egy kisebb részét elpárologtatja, tehát abszorbens

vesztesség (vízvesztesség) lép fel. A tisztított gázáramot az abszorberből hőcserélőbe vezetik, melyben hőmérsékletét legalább 100-110 °C körüli értékre növelik, s ezt követően vezetik a kéménybe. A kéménybe való vezetés előtt a füstgáz melegítésének két oka is lehet. Egyrészt az abszorberből kilépő füstgáz a kéményben tovább hűl, így harmatponti hőmérsékletére hűlve (ha ez még nem következett be az abszorberben) nedvességkiválás lép fel, mely a kémény korrózióját okozza. Ugyanis a füstgázban óhatatlanul jelen van még kén-dioxid, hiszen teljes eltávolítása nem valósul meg az abszorberben, s ez a harmatban abszorbeálódva kénsavat (ill. kénsavat) képez. Másrészt szükséges a füstgáz hőmérsékletének növelése a kéményhuzat növelése céljából is. A visszamelegítésre több megoldás lehetséges, de legcélszerűbb a még kezeletlen füstgázzal történő visszamelegítés, főleg regeneratív rendszerű hőcserélőben (pl. Ljungström léghevítő). A visszamelegítés és az ehhez szükséges ventiláció energiaigénye az erőmű termelésének 5-10 %-a, mellyel értelemszerűen növekszik az erőmű önfogyasztása.

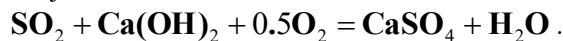
A feladat megvalósítására **permetező abszorbert** használnak, minthogy a képződő szilárd anyag a tányéros és a töltelkes oszlopokban eltömődést okozhat. A folyadék porlasztását 2-3 bar túlnyomással valósítják meg, a képzett cseppméret 2-3 mm. Ezzel még elegendően nagy a két fázis érintkezési felülete, nem túlzottan nagy a cseppelragadás és a cseppképzés energiaigénye is elfogadható mértékű. Az oszlopban 3.5-4.5 m/s gázsebességet alkalmaznak, a berendezések átmérője akár 10-15 m is lehet. Szerkezeti anyaguk főleg szénacél, valamilyen béleléssel (pl. gumi, PVC, PE, PP, plattírozott lemez), de alkalmazhatók nemesebb szerkezeti anyagok is (pl. Hastelloy ötvözetek, mely 40-60 % nikkelt, 16-20 % krómot és 2-4 % wolframot tartalmaz).

Az ábra mutatja az abszorbensként szolgáló mésztej előállítását is, mely az e célra szolgáló keverőedényben valósul meg, ahova kalcium-hidroxidot és vizet vezetnek, majd az előkészített abszorbenst a keverőedényből az abszorberbe vezetik (szokásos mésztej koncentráció 10 tömeg % körül van, ehhez a megkötő képességet növelő anyagokat is adagolhatnak, pl. hangyasav: H-COOH, adipinsav: HOOC-(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>-COOH).

Az abszorberből kilépő elegyből (zagyból) hidrociklonban vagy szűrőben választják ki a csapadékot képező szilárd anyagot, a gipszet, melyet a felhasználási céltól függően tovább kezelhetnek (pl. nedvességtartalmának további csökkentése prészűrővel, vákuumszűrővel, szárítással). A hidrociklonban, illetve a szűréssel kinyert vizet visszavezetik a rendszerbe (keverőedénybe).

Az ismertetett folyadékfázisú abszorpciós eljárás (vagy az ún. nedves eljárás) kén-dioxid eltávolítási határfoka meghaladja a 90 %-ot. Ismeretesek más eljárások is a füstgázok kén-dioxid tartalmának csökkentésére, de irodalmi források szerint az üzemelő berendezések legalább 80-90 %-ában a nedves eljárást alkalmazzák. Hazánkban a Mátrai Erőmű, az Oroszlányi Erőmű és a dorogi veszélyes hulladékégető mű füstgázának tisztítására alkalmazzák a nedves eljárást, de több kisebb berendezésben is alkalmazásra került.

Elemezzük a füstgáz kéntelenítés folyamatát anyagmérleg szempontjából is, melyhez összevontan is felírjuk a reakcióegyenletet mésztejre:

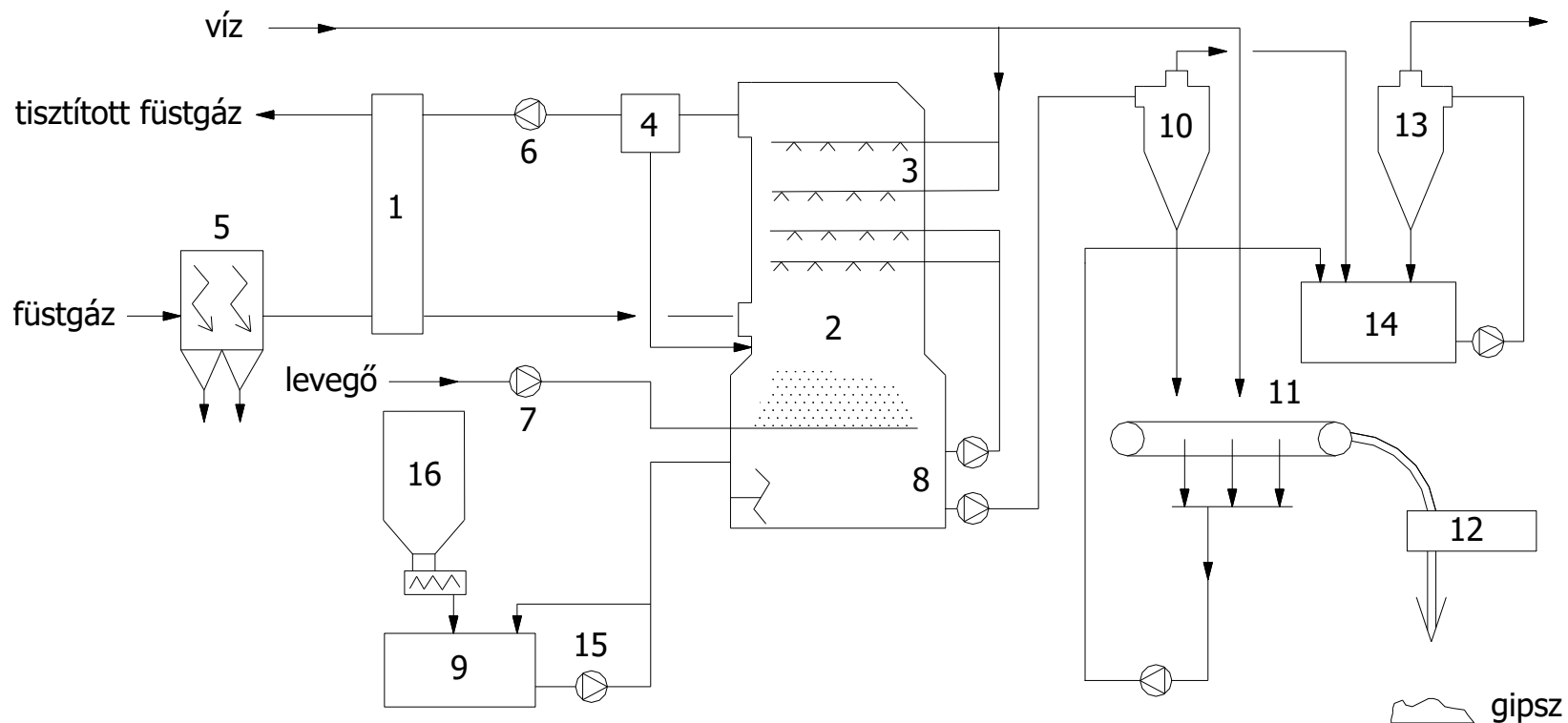


A mésztej előállításához kalcium-karbonát (mészkő) szükséges, erre is felírjuk az összevont reakcióegyenletet:



Ennek alapján írhatjuk: 64 kg kén-dioxid (32 kg kén) átalakításához 74 kg mésztej - és ehhez 100 kg mészkő - szükséges, melyből 136 kg gipsz keletkezik, s 44 kg szén-dioxid távozik a légkörbe. Tehát 1 kg kén-dioxid eltávolításával 2.125 kg gipszet kapunk, melyhez 1.156 kg mésztej, illetve 1.5625 kg (meddő anyagot nem tartalmazó) mészkő szükséges, 0.6875 kg szén-dioxid távozik a légkörbe. Tétélezzünk fel egy olyan erőművi blokkot, melyben óránként 1 millió m<sup>3</sup> füstgáz keletkezik, s benne a kén-dioxid koncentrációja 10000 mg/m<sup>3</sup>. Ennek alapján óránként 10000 kg kén-dioxid keletkezik, melynek (egyszerűség céljából) teljes eltávolításához 11526 kg mésztejre és 15625 kg mészkőre van szükség, s a kémiai reakció eredményeként 21250 kg gipsz keletkezik, 6875 kg szén-dioxid távozik a légkörbe. Évi 6000 üzemórát feltételezve tehát évente 69156 t mésztej, ehhez 93750 t mészkő szükséges, melyből 127500 t gipsz keletkezik, 41250 t szén-dioxid kerül a levegőbe. Ilyen mennyiségű füstgáz egy kb. 280 MW teljesítményű blokkban keletkezik (az energetikai határfokra 33 %-ot feltételezve), melyben 29 MJ/kg fűtőértékű szenet tüzelnek el. Hazai szeneink többségének fűtőértéke messze ez alatt van, s így átlagosan 10 MJ/kg értéket feltételezve a füstgáz mennyisége, s minden más anyag mennyisége az előbbiekben megadott értékeknek kb. háromszorosa (vagy változatlan füstgázárammal az erőmű teljesítménye kb. harmadára csökken, kb. 97 MW).

Megjegyzés: a Mátrai Erőműben 3 darab 200 MW teljesítményű blokkban lignitet tüzelnek el, melynek fűtőértéke 6400-7200 kJ/kg között van, kén tartalma 1-1.5 tömeg %, a képződött füstgáz térfogatárama 4·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/h, kén-dioxid tartalma 6400-7600 mg/Nm<sup>3</sup>. A feladat megoldására két darab abszorbert használaton kívüli Heller-féle száraz hűtőtornyokba építették be (eddig a világon egyedülálló módon), átmérőjük 16.7 m, magasságuk 41.6 m, gumival bélelték. Az abszorberekből kilépő füstgáz kén-dioxid tartalma 400 mg/Nm<sup>3</sup> alatt van (hatásfok 97 %). Az adatok szerint óránként 29 t mészkövet használnak és 52.5 t gipsz képződik. A próbaüzem 2000 októberében kezdődött és 2001. elejétől üzemel a berendezés. Az Oroszlányi Erőműben 2005 óta üzemel a füstgáz kénmentesítő üzem.



### Kén-dioxid mésztejes abszorpciós eltávolítása

- 1: visszamelegítő hőcserélő; 2: abszorber; 3: porlasztó elemek; 4: cseppleválasztó; 5: elektrosztatikus porleválasztó; 6: kidobó ventilátor; 7: oxidációs levegő ventilátor;  
8: szivattyú az abszorbens recirkuláltására; 9: mészhidrát tartály; 10: hidrociklon; 11: vákuumos szalagos szűrő; 12: gipsz szárító;  
13: vízkezelés; 14: recirkulációs tartály; 15: szivattyú; 16: mészkőtartály