

# ANYAGÁTADÁSI TULAJDONSÁGOK VIZSGÁLATA KÉN-DIOXID LEVÁLASZTÁSÁNÁL

## MASS TRANSFER PROPERTIES AT SULFUR DIOXIDE CONTROL

Bothné dr. Fehér Kinga\*, Dr. Örvös Mária\*\*

### ABSTRACT:

*In numerous industrial cases absorption process is applied for reducing sulfur-dioxide emission. For calculation the height of the absorber, gas- and liquid side mass transfer coefficients are required, that can be determined by measurements for different packing shape. These mass transfer properties for fluid-spherical-shape packing were compared with dates found in literature.*

### 1. BEVEZETÉS

Gáz halmazállapotú szennyezőanyagok az energiatermelés és felhasználás, különböző ipari tevékenységek, valamint meghibásodások következtében kerülnek a környezetbe.

A levegő legfontosabb gáz-halmazállapotú szennyezőiként említhetők: SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, HF, HCl, Cl<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, egyéb szénhidrogének, aldehidek, ketonok, merkaptánok stb.

A levegőt szennyező gáz komponensek a hordozógázban (levegőben vagy füstgázban) kisebb vagy nagyobb koncentrációban találhatók. A hordozógáztól való elkülönítésük, leválasztásuk, emissziós határértékre történő csökkentésük legtöbbször valamilyen más közeggel történő érintkezéssel valósítható meg. Erre a feladatra például valamilyen nedvesítő közeg alkalmazható. E művelet során különböző fázisokat – könnyű és nehéz fázist - hozunk érintkezésbe egymással. Folyadékban történő elnyeletésnél – abszorpciónál - a könnyű fázist a gázelegy, a nehéz fázist a folyadék alkotja.

A gázabszorpció olyan szétválasztási művelet, amelynél a gázelegyet folyadékkal érintkeztetjük, és ennek következtében a gáz egy vagy több komponense a folyadékba diffundál és ott elnyelődik. Abszorpció során a gáz és a folyadékrészek fizikai kötést vagy kémiai kötést hozhatnak létre, eszerint különböztethetünk meg fizikai abszorpciót vagy kémiai reakcióval kísért abszorpciót: kemisorpciót.

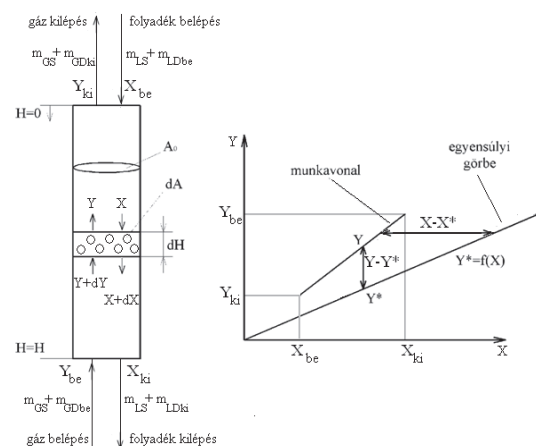
Abszorberek méretezésénél, a tisztítandó gáz koncentráció megkívánt változását biztosító készülék magasság meghatározásához elengedhetetlenül fontos az anyagátadási jellemzők ismerete. Ezek meghatározása különböző-gáz folyadék rendszerekre, valamint töltet típusokra kísérleti módszerekkel lehetséges.

### 2. ANYAGÁTADÁS ELMÉLETE

Az abszorpció folyamata jól modellezhető és vizsgálható a fázisok közötti anyagátbocsátással. Az átbecsítés során a diffundáló komponens az egyik fázisból a másik fázisba lép át, ott elnyelődik. A diffúzió annál jobban megy végbe, minél jobb érintkeztetést sikerül biztosítani a fázisok között. A folyadék és a gáz érintkezési felületének növelése érdekében a készülékbe töltetet vagy tányérokat helyeznek el. A töltetes oszlopokban az abszorpció a töltetek felületén folytonos fázisérítkezéssel valósul meg, míg a tálcás/tányéros oszlopokban az érintkeztetés fokozatszerű [1,2,3].

**Folytonos fázisérítkezést** megvalósító készülékek-nél a könnyű és a nehéz fázis ellenáramban áramlik, folyamatos érintkezés valósul meg a készülékben, azaz működés szempontjából a készülék egyes helyein az időtől függetlenül mindig ugyanaz a koncentráció alakul ki. Az 1. ábrán látható ellenáramú érintkeztető modelljénél a fázisok érintkeztetését a tölteléktestek valósítják meg. A töltet feladata fázisok érintkező felületének megnövelése, amely alkalmazásával az anyagátadás lényegesen javítható. A töltet jellemző tulajdonsága az ún. fajlagos érintkező felület, mely a térfogategységben lévő érintkező felülettel definiálható:

$$a = \frac{dA_{\dot{e}}}{dV} = \frac{dA_{\dot{e}}}{A_0 dH} \quad (1)$$



1. ábra Folytonos fázisérítkezetés modellje, az egyensúlyi görbe és a munkavonal kapcsolata

\* egyetemi adjunktus, BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárás technika Tanszék

\*\* egyetemi docens, BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárás technika Tanszék

A fázisok közötti diffúziós áram - a koncentráció megadásától függően - többféleképpen is értelmezhető. Az anyagáram mólarány koncentrációkkal:

$$N = K'_G(Y - Y^*) = K'_L(X^* - X) \quad (2)$$

ahol

$$Y = \frac{G_D}{G_S} = \frac{\frac{m_{GD}}{M_D}}{\frac{m_G}{M_G}}$$

$$X = \frac{L_D}{L_S} = \frac{\frac{m_{LD}}{M_D}}{\frac{m_L}{M_L}}$$

A vizsgált  $dA$  felületen a diffundáló komponens árama felírható a könnyű (gáz) fázis és a nehéz (folyadék) fázis oldaláról is:

$$N \cdot dA = d(G_S \cdot Y) = K'_G(Y - Y^*)dA_\epsilon \quad (3)$$

$$N \cdot dA = d(L_S \cdot X) = K'_L(X^* - X)dA_\epsilon \quad (4)$$

A **gázfázis oldaláról** (2) és (3) egyenletek felhasználásával:

$$G_S dY = K'_G(Y - Y^*)aA_0 dH \quad (5)$$

(5) egyenlet rendezésével, valamint a kijelölt határok között az integrálást elvégezve, az előírt koncentráció változáshoz szükséges töltet magasság a gázfázis oldaláról értelmezett jellemzők felhasználásával  $G_S = \text{áll}, K'_G = \text{áll}, a = \text{áll}, A_0 = \text{áll}$  esetén:

$$H = \int_{H=0}^{H=H} dH = \frac{G_S}{K'_G a A_0} \int_{Y_{ki}}^{Y_{bc}} \frac{dY}{Y - Y^*} = H_{OG} \cdot N_{OG} \quad (6)$$

az egyesített gázoldali átviteli egységmagasság:

$$H_{OG} = \frac{G_S}{K'_G a A_0} = \frac{\frac{\dot{m}_G}{M_G} \rho_G}{K'_G a A_0 \rho_G} = \frac{\dot{m}_G}{K'_G a} \quad (7)$$

az egyesített gázoldali egységszám:

$$N_{OG} = \int_{Y_{ki}}^{Y_{bc}} \frac{dY}{Y - Y^*} \quad (8)$$

Hasonlóképpen a **folyadékfázis oldaláról** is - (2) és (4) egyenlet felhasználásával - meghatározható a koncentráció változáshoz szükséges töltet magasság:

$$L_S \cdot dX = K'_L(X^* - X)a \cdot A_0 \cdot dH \quad (9)$$

Az előírt koncentráció változáshoz szükséges töltet magasság a folyadékfázis oldaláról értelmezett jellemzők felhasználásával, abban az esetben, ha

$L_S = \text{áll}, K'_L = \text{áll}, a = \text{áll}, A_0 = \text{áll}$  :

$$H = \int_{H=0}^{H=H} dH = \frac{L_S}{K'_L a A_0} \int_{X_{bc}}^{X_{ki}} \frac{dX}{X^* - X} = H_{OL} \cdot N_{OL} \quad (10)$$

az egyesített folyadékoldali átviteli egységmagasság:

$$H_{OL} = \frac{L_S}{K'_L a A_0} = \frac{\frac{\dot{m}_L}{M_L} \rho_L}{K'_L a A_0 \rho_L} = \frac{\dot{m}_L}{K'_L a} \quad (11)$$

az egyesített folyadékfázis oldali egységszám:

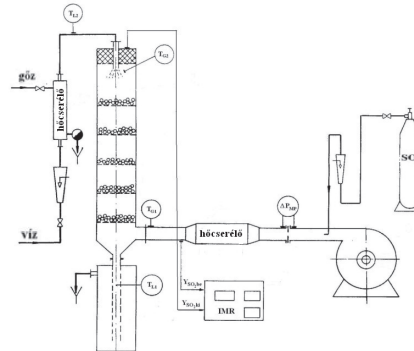
$$N_{OL} = \int_{X_{bc}}^{X_{ki}} \frac{dX}{X^* - X} \quad (12)$$

Az anyagátadás jellemzésére a gáz- és folyadékoldali átviteli egységmagasságokat ( $H_{OG}$ ,  $H_{OL}$ ) valamint a térfogati anyagátbocsátási tényezőket ( $K_{GA}$ ;  $K_{LA}$  illetve  $K'_G$ ;  $K'_L$ ) alkalmazzák.

Folyadékban jól elnyelődő gázok esetén a gázoldali diffúziós ellenállás a meghatározó, ezért a folyamatot a gázoldali jellemzőkkel vizsgálják ( $H_{OG}$ ,  $K_{GA}$ ). Folyadékban rosszul elnyelődő gázok esetén a folyadékoldal diffúziós ellenállása a meghatározó, ezért ebben az esetben a folyamat jellemzésére a folyadékoldali jellemzőket alkalmazzák ( $H_{OL}$ ,  $K_{LA}$ ). Azokban az esetekben, amikor a gáz- és a folyadékoldal ellenállása összemérhető (ilyen a kén-dioxid vízben történő abszorpciója), a gázoldali és a folyadékoldali diffúziós jellemzők ismerete is szükséges.

### 3. Kísérleti módszer

A kén-dioxid leválasztás kísérleti vizsgálatához kialakított mérőállomás vázlatát a 2. ábrán látható.



2. ábra Kísérleti berendezés

A fluid diszperz elven működő (FDC) kolonna alkalmazási lehetőségeit és működési jellemzőit [4] és [5] ismerteti. A 130 mm átmérőjű kolonnában 5 tálcán 70 mm-es nyugvó magasságú 14 mm átmérőjű polipropilén golyótöltet került elhelyezésre. A készülékben a folyadék- és a gázfázis ellenáramú érintkeztetés történik. A ventilátor által szállított levegőáram hatására a töltet fluid állapotba került, mely következtében jó fázisérítkezés valósul meg.

A légmennyiség mérésére szabványos kialakítású mérőperem, a betáplált folyadékmennyiség mérésére rotaméter szolgált. A SO<sub>2</sub> gáz egyenletes beadagolása gázpalackból történt, a be- és kilépő gázáram SO<sub>2</sub> tartalmát IMR komputeres gázkoncentráció mérő műszer mérte. A mérések során állandó gáz tömegáram és SO<sub>2</sub> koncentráció mellett, a folyadék tömegáramának változtatásával vizsgáltuk a leválasztási tulajdonságokat. A gázabszorpciós tulajdonságok hőmérsékletfüggésének megállapítása érdekében gáz- és folyadékoldali hőcserélők kerültek beépítésre.

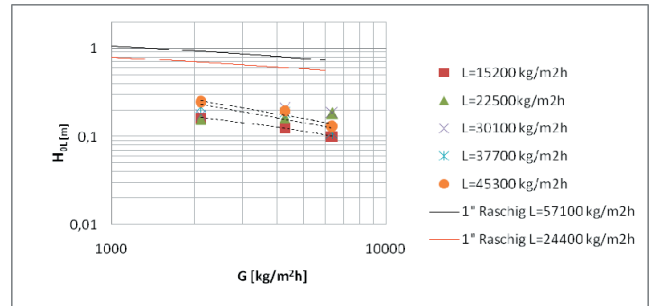
#### 4. EREDMÉNYEK

A fluid állapotban lévő, gömb alakú töltet anyagátadási tulajdonságait a gáz- és a folyadékterhelés függvényében tüntettük fel. Kísérleteink során a toronykeresztmetszetre vonatkoztatott fajlagos folyadékterhelés  $L=15\,000 - 45\,000 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  tartományban, míg a gázterhelés  $G=2100 - 6400 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  tartományban változott.

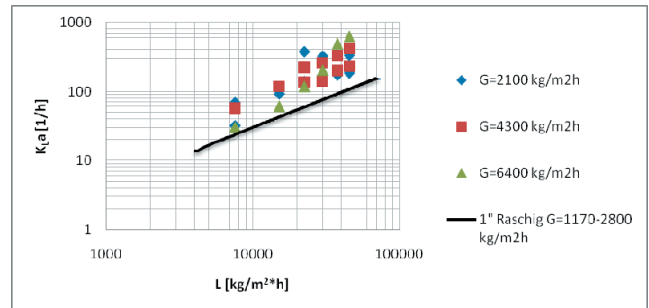
A 3. ábra a folyadékoldali átviteli egységmagasság  $H_{OL}$  változását mutatja a gázterhelés függvényében, állandó folyadékterhelések esetén. Az ábrán feltüntettük [6] irodalom 1"-os kerámia Raschig töltet  $L=24400-57000 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  folyadékterhelés tartományára vonatkozó adatokat is. A 4. ábrán a folyadékoldali anyagátbocsátási tényező változása látható a folyadékterhelés függvényében, 2100-6400  $\text{kg/m}^2/\text{h}$  gázterhelés tartományban. Az összehasonlításként feltüntetett 1"-os kerámia Raschig töltetre a gázterhelési tartomány  $G=1170 - 2800 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ . Megállapítható, hogy a kísérleteknél alkalmazott fluid állapotban lévő töltet lényegesen nagyobb gázterhelésnél működőképes, jobb anyagátadási tulajdonságok mellett.

5. és 6. ábrán a gázoldali átadási tulajdonságokat vizsgáltuk a gázterhelés illetve a folyadékterhelés függvényében. Kéndioxid vízben történő abszorpciójára vonatkozó gázoldali átviteli egységmagasság ( $H_{OG}$ ) adatok [6] irodalomban M-Spirax töltetre találhatók  $L=21200 - 46000 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  folyadékterhelés esetén.

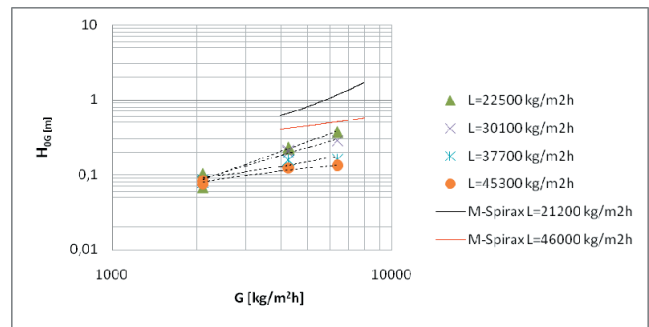
Az előírt kéndioxid koncentráció csökkentéséhez szükséges töltet magasságot meghatározó (6) és (10) összefüggések alapján látható, hogy a töltet anyagátadási tulajdonságai kis átviteli egységmagasság ( $H_{OG}$ ,  $H_{OL}$ ) és nagy anyagátbocsátási tényezők ( $K_{GA}$ ,  $K_{LA}$ ) esetén kedvezőek.



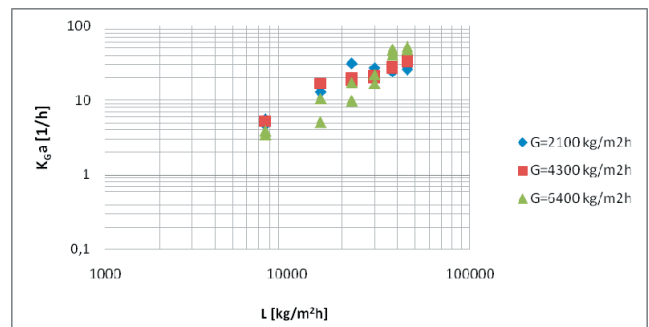
3. ábra Folyadékoldali átviteli egységmagasság a gázterhelés függvényében



4. ábra Folyadékoldali anyagátbocsátási tényező a folyadékterhelés függvényében



5. ábra Gázoldali átviteli egységmagasság a gázterhelés függvényében



6. ábra Gázoldali anyagátbocsátási tényező a folyadékterhelés függvényében

## ÖSSZEFOGLALÁS

Kísérleti mérések alapján gáz- és folyadékoldali anyagátbocsátási jellemzőket ( $H_{OG}$ ,  $H_{OL}$ ,  $K_G a$ ,  $K_L a$ ) határoztunk meg, melyek lehetővé teszik a kéndioxid tartalmú gázok leválasztására szolgáló készülékek méretezését. Az eredményeket az irodalomban található más típusú töltetek anyagátadási jellemzőivel hasonlítottuk össze, mely alapján megállapítható, hogy a kísérleteknél alkalmazott fluid állapotban lévő töltet lényegesen nagyobb gázterhelési tartományban működőképes, jobb anyagátadási tulajdonságok mellett.

### Jelölésjegyzék

$a$	- fajlagos érintkező felület	$[m^2/m^3]$
$A_0$	- a készülék üres keresztmetszet	$[m^2]$
$dA_e$	- az elemi érintkező felület	$[m^2]$
$dV$	- az elemi térfogat	$[m^3]$
$dH$	- az elemi magasság	$[m]$
$G$	- fajlagos gázterhelés	$[kg/m^2/h]$
$G_S$	- gázfázis móláram	$[kmol/s]$
$K'_G$	- gázoldali anyagátbocsátási tényező	$[kmol/m^2/s]$
$K_G a$	- gázoldali térfogati anyagátbocsátási tényező	$[1/s]$
$K'_L$	- folyadékoldali anyagátbocsátási tényező	$[kmol/m^2/s]$
$K_L a$	- folyadékoldali térfogati anyagátbocsátási tényező	$[1/s]$

### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] MCCABE W.L.-SMITH J.C.- HARRIOTT P.: Unit Operation of Chemical Engineering, McGraw Hill, 2005
- [2] PERRY R.H: Chemical Engineers' Handbook, McGraw Hill, 8<sup>th</sup> ed. 2008.
- [3] ÖRVÖS M.- BALÁZS T.- BOTH K.F.: Wastewater Treatment with Ammonia Recovery System; Proc. of World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol.34. 2008. (p. 562-566) ISSN 2070-3740
- [4] MOLNÁR K.: Three Phase Fluid Disperse Systems for Gas/Liquid Phase Countercurrent Contacting 4th World Congress of Chemical Engineering, Strategies 2000, Karlsruhe, Germany Preprints III. 8.2-13. (1991)

## SUMMARY

Gas and liquid side mass transfer coefficients were determined by experiment that makes possible dimensioning of equipment for reducing  $SO_2$  emission. Results were compared with different packing based on literature.

$L$	- fajlagos folyadékterhelés	$[kg/m^2/h]$
$L_S$	- folyadékfázis móláram	$[kmol/s]$
$H$	- töltetmagasság	$[m]$
$\dot{m}_G$	- gázfázis tömegárama	$[kg/s]$
$\dot{m}_L$	- folyadékfázis tömegárama	$[kg/s]$
$M$	- móltömeg	$[kg/kmol]$
$N$	- anyagáram sűrűség	$[kmol/m^2/s]$
$X$	- folyadék mól arány koncentráció	$[kmol SO_2/kmol víz]$
$Y$	- gázfázis mól arány koncentráció	$[kmol SO_2/kmol levegő]$
Indexek		
$D$	- diffundáló komponens	
$G$	- gázfázisra utaló	
$e$	- érintkező	
$L$	- folyadékfázisra utaló	
$S$	- nem diffundáló komponens	
*	- egyensúlyra utaló	

- [5] MOLNÁR K. - SZENTGYÖRGYI S. - SZABÓ L. - ALMÁDI J. Eljárás és berendezés gázok abszorpciójára, deszorpciójára és egyidejű gáz és porleválasztásra. Magyar szabadalom Lajstromszám: 187 187  
A bejelentés napja: 1982. november 25.
- [6] GAS ABSORPTION MANUAL, NCE Nittetu Chemical Engineering Ltd. Tokyo, 1991.

*A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.*