

SZÉN-DIOXID VÍZBEN TÖRTÉNŐ ABSZORPCIÓJÁNAK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF ABSORPTION OF CARBON-DIOXIDE IN WATER

Kállai Viktória*, Szamosi Zoltán**

ABSTRACT

The goal of this study to reduce the carbon-dioxide content of wood gas and the investigation of the solubility of carbon-dioxide gas in water. Furthermore, the absorption of carbon-dioxide gas in water was studied with ChemCAD process simulation software in case of different values of pressure, temperature, and mass flow of the water. A cost estimation of the absorption column was prepared with modified number of trays in case of two different values of the diameter of the column.

It is determined that there is a relationship between the pressure, temperature, and solubility. With higher pressure and lower temperature, the solubility is growing in case of gases in water.

It was determined that the total cost function had a minimum point in both case, which means the optimal design of the column taking into consideration the investigated parameters of the cost.

1. BEVEZETÉS

Az elgázosítás olyan folyamat, amely szerves vagy fosszilis alapú anyagokat alakít át szén-monoxiddá, hidrogénné és szén-dioxiddá. Ezt úgy érik el, hogy az anyagokat magas hőmérsékleten ($T > 700^\circ\text{C}$) égés nélkül, szabályozott mennyiségű oxigénnel és/vagy gőzzel reagáltatják. Az így keletkező gázkeveréket szintézis gáznak nevezik [1]. Egyik felhasználása lehet ennek a gázelegynek, hogy gázmotorban történő elégetés során más energiaformává alakítják át, azonban ezen folyamathoz a gázkeverék szén-dioxid tartalmát szükséges lecsökkenteni. A tanulmányban fagáz szén-dioxid tartalmának csökkentését vizsgáltuk abszorpciós kolonnában víz mosófolyadék alkalmazásával.

Gyakran technológiai áramokból vagy füstgázból származó CO_2 -t vízben nyeletnek el, amely folyamat égetés utáni szén-dioxid leválasztási technológiának minősül (PCCC – Post Combustion Carbon Capture Technology). Ez azt jelenti, hogy a leválasztási

folyamat a füstgáztisztítás része és az égési folyamat után helyezkedik el [2].

Gyakran alkalmazott folyadékfázis CO_2 leválasztáshoz abszorpció során az MEA (monoetanolamin). Azonban ennek hátránya, hogy erősen korrodáló hatású, nagy illékonysággal rendelkezik és a környezetre káros illékony szerves vegyületeket bocsájthat ki. Ennek az oldószernek a víz a környezetbarát helyettesítője. Azonban a víz nem nyeli el olyan jól a CO_2 -t, mint a MEA, így a megfelelő elválasztáshoz szükséges vízmennyiségek nagyok lehetnek [2].

Xiao és szerzőtársai [3] a szén-dioxid biogázból történő elválasztását vizsgálták vízmosó rendszer alkalmazásával. Tanulmányuk során bebizonyították, hogy a folyadék/gáz arány, a nyomás, a hőmérséklet és a CO_2 -tartalom fontos paraméterek a biogázból történő CO_2 leválasztás során. Eredményeik azt mutatták, hogy a CO_2 -eltávolítási arány 34,6 és 94,2% között volt, amely során a folyadék/gázfázisok aránya 0,14-ről 0,50-re nőtt. A nyomás növelése és a hőmérséklet csökkentése az oszlopban kedvezően hatott a CO_2 -tartalom csökkenésére. A legalacsonyabb CO_2 -tartalom az abszorpció után 1,2 MPa nyomáson elérheti a 2,6%-ot, amely érték megfelel a járműüzemanyagként használt földgáz CO_2 -tartalmára vonatkozó követelménynek.

2. A SZÉN-DIOXID VÍZBEN VALÓ OLDHATÓSÁGA

A vízben elnyelhető gáznemű szén-dioxid mennyiségét a Henry törvény adja meg, amely alapján a folyadékban oldott gáz koncentrációja arányos a folyadékkal érintkező gáz parciális nyomásával.

$$c_{\text{CO}_2} = K_H \cdot P_{\text{CO}_2} \quad (1)$$

ahol K_H a Henry állandó és értéke függ a gáztól, az oldószertől és a hőmérséklettől [2].

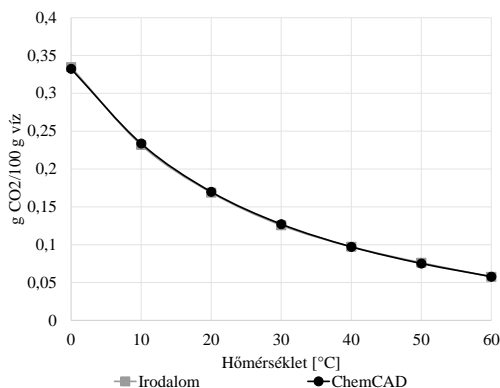
A szén-dioxid esetén az oldhatóság a víz hőmérsékletének csökkenésével nő. Ezen megállapítás

* tudományos segédmunkatárs, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

és a Henry-törvény alapján a magas nyomás és az alacsony hőmérséklet növeli a víz által elnyelt szén-dioxid mennyiségét [2, 4].

ChemCAD [5] folyamatszimulátor szoftverben vizsgáltuk a CO₂ vízben történő elnyelését, amely során a Henry-törvény termodinamikai modellel számoltunk. A szimulációs eredményeket összehasonlítottuk a [6] irodalomban található adatokkal, az eredmények az 1. ábrán láthatóak. Az irodalmi adatok és a szimulációs eredmények között kb. 1%-os eltérés volt tapasztalható 0 és 60 °C hőmérséklet értékek között 1 bar nyomáson.



1. ábra CO₂ vízben való oldhatósága a hőmérséklet függvényében

A CO₂ vízben való oldhatósága (*S*) a hőmérséklet függvényében az alábbi harmadfokú polinom összefüggéssel jellemezhető:

$$S = -0,000001 T^3 + 0,0002T^2 - 0,0113T + 0,3315 \quad (2)$$

3. A VIZSGÁLT RENDSZER

3.1. A vizsgált gázelegy

Fa elgázosításából származó gázelegyet vizsgáltunk, amely összetételét az 1. táblázat mutatja be. Két különböző mintavétel adatai láthatóak a táblázatban, amelyekből egy átlagos összetételt határoztunk meg, majd ezt az értéket korrigáltuk, hogy az összetételek összegére 100%-ot kapjunk.

Látható, hogy a gázelegyben CO₂ és CO komponensek találhatóak a legnagyobb arányban. A célunk, hogy a gázelegy 53,16 V/V%-os CO₂-tartalmát 10 V/V%-ra csökkentjük abszorpció alkalmazásával. Azért szükséges a gázelegy CO₂-tartalmának csökkentése, hogy a gázelegy gázmotorban elégethető legyen.

1. táblázat A vizsgált gázelegy

Minta	A gázelegy összetétele [V/V%]								Teljes
	CO ₂	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	
1	51,1	0,2	0,8	0	0,7	4,7	1	33,5	92
2	50,6	0,2	1,2	12,6	0,2	1,3	1,7	31,4	99,2
Átlag	50,84	0,2	1	6,3	0,45	3	1,35	32,46	95,63
Korrigált	53,17	0,21	1,05	6,59	0,47	3,14	1,41	33,95	100

2. táblázat Betáplált anyagáramok és termékek összetétele

Paraméter	Gázelegy	Víz	Fejtermék	Fenéktermék
Hőmérséklet [°C]	10,000	10,000	10,170	10,830
Nyomás [bar]	6,000	6,000	6,000	6,000
Tömegáram [kg/h]	100,000	8507,501	38,064	8569,736
	H ₂ O	-	8507,801	0,055
	CO ₂	67,522	-	6,448
	C ₂ H ₆	0,182	-	0,000
	C ₂ H ₄	0,850	-	0,755
Összetétel [kg/h]	O ₂	0,434	-	0,421
	H ₂	0,384	-	0,378
	N ₂	2,538	-	2,501
	CH ₄	0,652	-	0,631
	CO	27,437	-	26,875

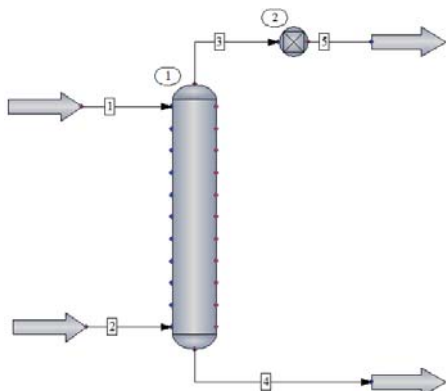
3.2. A vizgált abszorber oszlop modellje

A szimulációk elkészítéséhez ChemCAD 8 folyamatsszimulátor szoftvert alkalmaztunk.

A 2. ábra az abszorber oszlop modelljét mutatja be, amely két betáplálási árammal rendelkezik. Ezek közül a gázkeverék az oszlop alján kerül betáplálásra, míg az oszlop tetején víz kerül bevezetésre. Az oszlopban 6 db szitatányér található. Az oszlop fejterméke a CO₂-ben szegény gázelegy, a fenékterméke pedig a CO₂-ben dús víz. A 2-sel jelölt berendezés az ún. Controller, amely célja az elérni kívánt 10 mol%-os CO₂-tartalomhoz szükséges víz tömegáramának meghatározása. A betáplált gázelegy tömegárama 100 kg/h volt.

A szimulációk során nem vettük figyelembe az oszlop nyomásvesztését. Az oszlop nyomása és a betáplált anyagáramok nyomása megegyezett egymással. A betáplált anyagáramok hőmérséklete szintén azonos volt.

A 2. táblázat az ismertetett üzemi adatokkal rendelkező oszlop betáplált anyagáramainak és a termékeinek paramétereit mutatja be. Az adatokból látható, hogy a CO₂-n kívül, az etán 100%-ban, a többi komponens nagyon kis mértékben abszorbeált a vízbe.



2. ábra A vizgált abszorber oszlop modellje

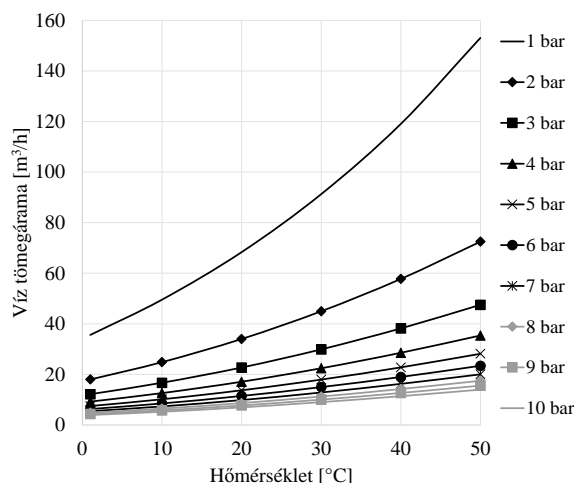
4. A RENDSZER VIZSGÁLATA ÉS EREDMÉNYEK

4.1. Paramétervizsgálat

Paramétervizsgálatot készítettünk az elérni kívánt fejterméktisztasághoz szükséges víz mennyiség meghatározására. A vizsgálat során a nyomást 1 és 10 bar között változtattuk, a hőmérséklet pedig 1 és 50°C között változott.

A paramétervizsgálat eredményei a 3. ábrán láthatóak, amelyen a szükséges víz tömegáramokat a hőmérséklet függvényében ábrázoltuk, a különböző görbék pedig a különböző nyomásértékekhez tartoznak.

Az eredményekből látható, hogy minél alacsonyabb a hőmérséklet annál kevesebb vízre van szükség a megfelelő fejtermék tisztaság eléréséhez. Az is megállapítható, hogy a nyomás növelésével is nagy mértékben csökkenthető a víz tömegárama. 1 bar-ról 2 bar-ra emelve a nyomást kb. fele mennyiségű víz bevezetésre van szükség. Az is megállapítható, hogy minél nagyobb a nyomás és minél alacsonyabb a hőmérséklet egyre csökken a szükséges vízmennyiség értékek közötti különbség. 20°C alatt és 6 bar nyomás felett már nincs számottevő különbség a szükséges víz tömegáramok között.



3. ábra A paramétervizsgálat eredményei

4.1. Költségbecslés

A költségbecslési eljárás során a következő üzemi paramétereket állítottuk be. A nyomás és a hőmérséklet értékeket a vizsgálat során állandónak vettük, azaz a kolonna és a betáplált anyagáramok nyomása 6 bar, a betáplált anyagáramok hőmérséklete pedig 10°C volt. A vizsgálatok során nem vettük figyelembe az oszlop nyomásesését, a hűtés, a szivattyú és a kompresszor költségeit. Az oszlopban szitatányérok találhatóak, amelyek számát a vizsgálat során 3 és 12 között változtattuk. A költségek becslését két különböző oszlopátmérő esetén határoztuk meg: 0,6 m és 0,8 m átmérőjű oszlopokat vizsgáltunk.

Az oszlop teljes költség függvényét az üzemeltetési és a beruházási költségek meghatározásával vettük figyelembe.

Az üzemeltetési költséget a szükséges víz tömegáramának árából határoztuk meg az alábbi összefüggéssel:

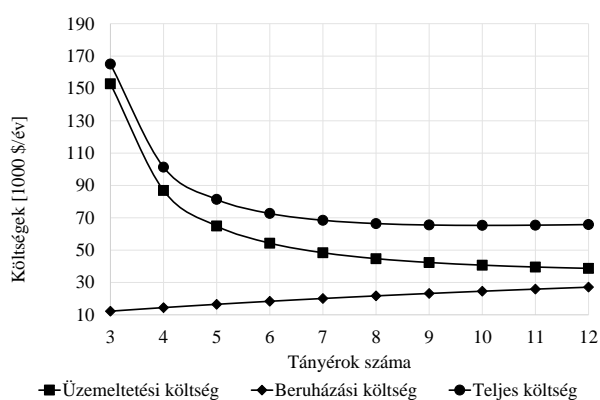
$$K_{\bar{u}} = \dot{m}_{\text{víz}} \cdot e_{\text{víz}} \cdot \bar{u} \quad (3)$$

ahol $K_{\bar{u}}$ az üzemeltetési költség [\$/év], $\dot{m}_{\text{víz}}$ a víz tömegárama [t/h], $e_{\text{víz}}$ a víz egységára [\$/t], \bar{u} az éves üzemóra, amelyet 8000 h/év értékkel vettünk figyelembe.

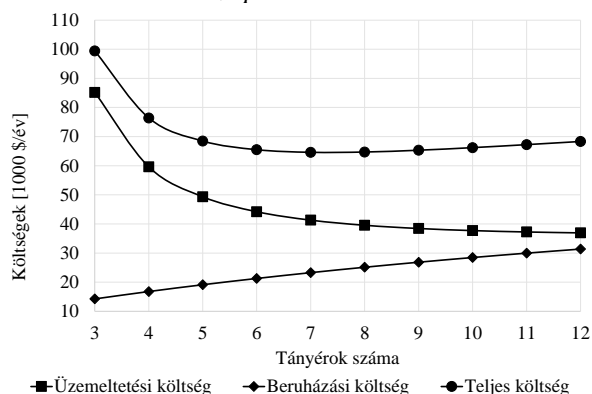
Az üzemeltetési költséget a ChemCAD szoftver költségbecslő funkciójával határoztuk meg. Ehhez szükséges volt megadni egy ún. Install factor nevű tényezőt, amely a telepítési költséget korrigálja a beszerzési költség alapján. A vizsgálataink során ezen tényező értéke 3 volt, ami azt jelenti, hogy a telepítési költség háromszorosa a beszerzési költségnek. Továbbá 5 éves amortizációt vettünk figyelembe az egy évre eső beruházási költség meghatározásához.

Minél nagyobb a tényérok száma annál nagyobb a beruházási költség értéke, illetve minél több tényér található az oszlopban annál kevesebb víz betáplálására van szükség a megfelelő tisztaságú fejtermék eléréséhez.

A 4. ábra 0,6 m oszlopátmérő esetén mutatja be a költségek értékeit. Ezek alapján a teljes költség függvénynek 10 darab tényérral rendelkező oszlopkonstrukció esetén van minimuma.



4. ábra A költségbecslés eredményei 0,6 m oszlopátmérő esetén



5. ábra A költségbecslés eredményei 0,8 m oszlopátmérő esetén

Ezután a költségeket 0,8 m oszlopátmérő alkalmazásával is megvizsgáltuk (5. ábra). A nagyobb átmérő az előző esethez képest nagyobb beruházási költségeket jelent, mert az üzemeltetési paraméterek változatlanok voltak a két esetben, illetve a tényérszámok változtatása ugyanazon intervallumban történt. A nagyobb oszlopátmérővel csökkent a szükséges víz tömegárama.

Az 5. ábráról leolvasható, hogy ebben az esetben a teljes költség függvénynek a 7 db tényérral rendelkező oszlopkonstrukció esetén van minimumpontja.

A fent bemutatott vizsgált eseteket összehasonlítva látható az is, hogy a teljes költség függvények minimuma közel egyforma értéket eredményez.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eredményekből látható, hogy a nyomásnak és a hőmérsékletnek jelentős befolyásoló szerepe van a vízben történő CO₂ elnyelésre. Minél magasabb a hőmérséklet és minél alacsonyabb a nyomás annál nagyobb víz mennyiségre van szükség a fejtermék kívánt tisztaságának eléréséhez.

Látható az is, – a beruházási és üzemeltetési költségeket az ismertetett módon figyelembe véve – hogy a költségbecslési eljárás során a teljes költség függvények minimumponttal rendelkeznek, azaz megadható az oszlop optimális kialakítása a vizsgált költségek és a tényérok számának szempontjából.

A továbbiakban célunk vizsgálni az oszlopba betáplált gázelegy tömegáram változtatásának hatását a szükséges víz tömegáramára. Továbbá olyan megoldás talála a cél, amellyel a gyakorlatban is alkalmazható, az oszlop betáplált folyadék- és gázfázis arányának (L/G) megfelelőbb értéke érhető el.

7. IRODALOM

- [1] <http://biofuelsacademy.org/index.html%3Fp=396.html>, 2022.09.10.
- [2] BEIRON J.: Assessment of enhanced carbon dioxide absorption in water, The impact of carbonic anhydrase and pH regulation, *Master's Thesis in Sustainable Energy Systems*, Chalmers University of Technology, Sweden, 2017
- [3] XIAO Y. et al.: CO₂ Removal from Biogas by Water Washing System, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, Vol. 22, pp. 950-953, 2014
- [4] KNOCHE W.: Chemical Reactions of CO₂ in Water, *Biophysics and Physiology of Carbon Dioxide*, Springer-Verlag, Berlin, 1980
- [5] ChemCAD User Guide, *Chemstations*, 2020
- [6] GREEN W. D.: Perry's Chemical Engineers' Handbook, Eighth Edition, *The McGraw-Hill Companies*, 2008.
- [7] <https://vizmuvek.hu/hu/kezdolap/informaciok/dijszabasok/dijszabasok>, 2022.09.01.