

## 5. ANYAGVISSZANYERÉS ÉS PINCH

### 5.1. Kinyerőszerek és anyagcserélő hálózatok

Bizonyos kémiai és vegyipari műveletek egyes kémiai komponensek kinyerésére, visszanyerésére, eltávolítására, elválasztására, dúsítására, stb. ún. *kinyerőszereket* vagy oldószereket alkalmaznak. Ilyenek pl. az extrahálószer extrakciónál, extraktív desztillációnál, extraktív kristályosításnál, az oldószer vagy az abszorbens abszorpciónál, vivőszerek a különféle kromatográfias eljárásoknál, stb. Ezek ugyanúgy segédközegek (*utility-k*), mint a különféle hűtő- és fűtő közegek és berendezések. Gyakori oldószer a víz és a levegő, mint nagy mennyiségben rendelkezésre álló, legtöbbször káros szennyező anyagot nem hordozó közeg. Sajnos csak a legutóbbi időkben kezd az ipar is észrevenni, hogy e közegek kapacitása sem végtelen, s hogy gazdálkodni kell a tiszta vízzel és a tiszta levegővel.

Az ipari rendszerekben gyakran előfordul, hogy ugyanazt a kinyerőszert (pl. vizet, levegőt, szerves oldószert) több műveletben is felhasználhatjuk, habár különböző koncentráció-viszonyok mellett. Az így kialakuló rendszereket az energiacserélő hálózatok mintájára **anyagcserélő hálózatoknak** nevezik. A vegyészmérnök mind környezetvédelmi, mind gazdasági megfontolások alapján csökkenteni igyekszik a kinyerőszerek felhasznált mennyiségét. Ezen egyszerre két célkitűzést értünk: (i) csökkentjük az anyagcserélő hálózatban cirkuláló kinyerőszer áramát, és (ii) csökkentjük az egyébként elkerülhetetlen veszteségeket, ezzel a kibocsátott szennyezést és a friss kinyerőszer-pótlást. A jelen jegyzetben az (i) problémával foglalkozunk, a (ii) probléma kezelése a kinyerési követelmények (szétválasztó rendszerek) és a biztonságos tervezés területére tartozik.

A pinch technika célkitűzéseinek megfelelően célunk először is kinyerőszer-áram elméleti minimumának meghatározása, azután pedig az adott (minimális vagy közel minimális) kinyerőszer árammal működő rendszerek kijelölése.

#### 1. Táblázat: Párhuzam a HH és az AH között

Energia-visszanyerő rendszerek	Komponens-visszanyerő rendszerek
Energia, hőenergia	Komponens mennyisége
Hőteljesítmény	Komponensáram
Hőmérséklet	Koncentráció

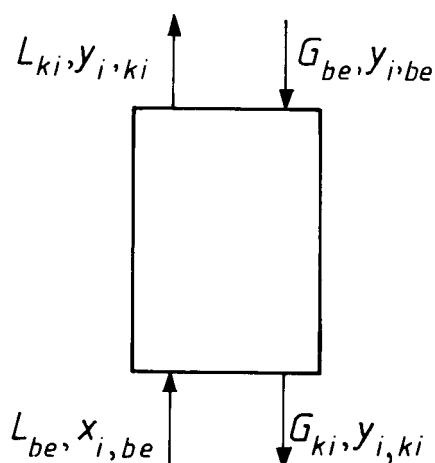
## 5. fejezet: Anyagvisszanyerés és pinch

Az energia-visszanyerés és a minimális energia-felhasználás problémakörében a pinch-technika alkalmazását az energia, mint megmaradó extenzív mennyiség és a hőmérséklet, mint a hozzá rendelt, s a rendezetlenséggel monoton kapcsolatban álló intenzív mennyiség együttese tette lehetővé. Ugyanilyen viszonyban áll a komponensek mennyisége, mint reakciómentes folyamatokban megmaradó extenzív mennyiség a koncentrációval, mint ugyancsak a rendezettséget/rendezetlenséget is jellemző intenzív mennyiséggel.

Ahogy a hőáram (vagyis a belső energia áramának konduktív része) spontán módon csak magasabb hőmérsékletek irányából alacsonyabb hőmérsékletek irányában indul meg, a komponens-áramlás (diffúzió) is spontán módon (munka befektetése nélkül) csak nagyobb koncentrációjú helyről kisebb koncentrációjú helyek felé indul meg.

### 5.2. Anyagcsere CC, koncentráció-kaszád és pinch

Az anyagcsere folyamatait az ellenáramú abszorpció, extrakció és desztilláció ismert egyensúlyi diagramjain követhetjük nyomon. E berendezéseknek két be- ill. kilépési pontjuk van, melyeket legáltalánosabban a nagyobb és kisebb koncentrációjú, vagy néha (az értékes vagy lényeges komponensben) dúsabb és hígabb végnek nevezünk. A berendezés vázlatát mutatja az **1. ábra**, melyen gáz (G) vagy pára és folyadék (L) a két szemben haladó áram, s a megfelelő koncentrációkat  $y$ -nal és  $x$ -szel jelöltük. Ha analógiát keresünk az energetikai rendszerekkel, akkor abszorpció esetén a szennyezett gázáram felel meg a meleg áramnak, a viszonylag tiszta folyadék abszorbens felel meg a hideg áramnak, a szennyező (vagy éppen értékes kinyerendő) komponens pedig az energiának.



5.1. ábra

A **2/a. és 2/b. ábrákon** a hagyományos egyensúlyi diagramokat rajzoltuk fel, az egyszerűség kedvéért egyenes egyensúlyi vonallal (lineáris egyensúlyi összefüggésekkel). Az egyensúlyi vonal az egymással fizikai-kémiai egyensúlyban álló fázisok koncentrációit rendeli egymáshoz, és független a művelet technikai megvalósításától. A műveleteket az egymással szemben haladó áramok arányától (vagyis a technikai megvalósítástól) függő meredekségű *munkavonal* is jellemzi. Minél közelebb van a munkavonal az egyensúlyi vonalhoz, annál közelebb van a művelet az ideális reverzibilis folyamathoz és annál kevesebb kinyerőszert kell alkalmazni, bár ugyanakkor növekszik a szükséges elméleti fokozatok száma, s vele együtt a beruházási költség.

Végtelenül közeli egyensúlyi és munkavonalak esetén a beruházási költség is végtelenül nagyvá válik. Ezért az energetikai MAT értékhez hasonlóan itt is célszerű bevezetni egy minimális koncentráció-különbséget, amit MAC-nak fogunk hívni (minimum approach concentration). Ez a különbség a műveletek különböző végein (és persze az egyes áram-párok esetére is) különböző lehet. A **2/a. ábra** a dús végre, a **2/b. ábra** a híg végre megállapított MAC-ot mutat.

Habár általában többféle szennyező vagy kinyerendő értékes anyag szerepel a reális anyagcsere-hálózatokban, az egyszerűség kedvéért egyetlen szennyező esetére mutatjuk meg, hogyan lehet a fenti egyensúlyi diagramok alapján összetett vonalakat szerkeszteni, hőkaszkádot számítani, és mit jelent a pinch ebben az esetben.

A mintafeladat kénhidrogén kinyerése kokszológázból. Kétféle szennyezett gázból kell eltávolítani a korrozív kénhidrogént: friss kokszológázból és részben tisztított gázból. A termékek is kétfélék, a részben tisztított gázon nagyobb kinyerést kell elérni. A szennyező anyagot elsősorban vizes ammóniában nyeletjük el, és amit ezzel nem sikerül eltávolítani, azt hűtött metanollal kezeljük. Ammóniát magából a kokszolási folyamatból nyerünk, mennyisége adott. A metanol segédközegként szolgál, és felhasznált mennyiségét minimalizálni igyekszünk.

A mennyiségi és koncentráció-adatokat a **2. Táblázat** mutatja.

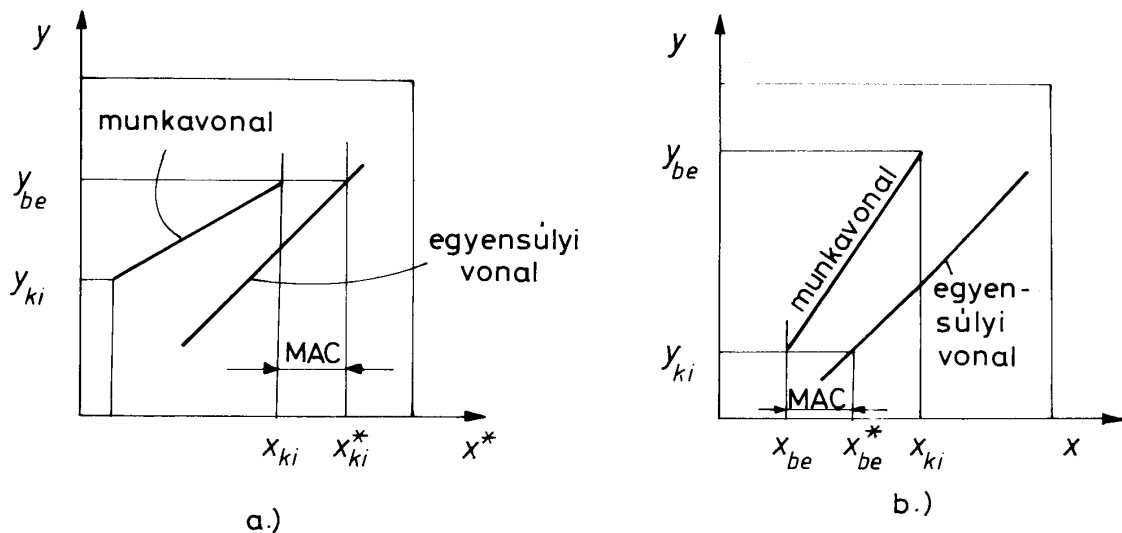
**2. Táblázat: Kénhidrogén eltávolítása mintafeladat**

Áram	G vagy L kg/s	moltört be	moltört ki
G1	0.9	0.0700	0.0003
G2	0.1	0.0510	0.0001
L1 (ammónia)	2.3	0.0006	0.0310
L2 (metanol)	szükség szerint	0.0002	0.0035

5. fejezet: Anyagvisszanyerés és pinch

A feladathoz tartozó MAC érték egységesen 0.0001 . A feladat természetéhez ezen kívül hozzátartozik az egyensúlyi összefüggések megadása is (ilyesmi az energetikai problémáknál nem szerepelt). A kénhidrogén egyensúlyi mólörtéje az adott gáz és a vizes ammónia között az adott koncentráció-tartományban jól közelíthető az alábbi egyenessel:

$$y = 1.45x_1$$



5.2. ábra

Az egyensúlyt a gáz és a hűtött metanol között az alábbi egyenes írja le:

$$y = 0.26x_2$$

A CC és a kaszkád megszerkesztésekor az ammóniás egyensúlynak megfelelően kettős koncentráció-értékkal számolunk: minden gázbeli koncentrációnak megfelel egy bizonyos konkrét, folyadékbeli ekvivalens koncentráció az

$$x_1 = y/1.45 - 0.0001$$

képlet szerint. Az 5 intervallumot határoló koncentrációpárok tehát a következők (3. táblázat):

**3. Táblázat: Intervallumhatárok**

y	x
0.0700	0.0482
0.0510	0.0351
0.0451	0.0310

0.0010	0.0006
0.0003	0.0001
0.0001	0.0000

Az L2 áram, vagyis a segédközeg adatai természetesen nem szerepeltek e táblázat összeállításánál. Intervallumonként összegezhető a komponens túlkínálatok (**4. Táblázat**), és a kaszkádszámítás is a szokott módon történik (**5. Táblázat**).

A legkisebb algebrai értékű kínálat negatívját kell felülről bevezetni, hogy mindegyik összegzett kínálat nemnegatív legyen.

A felső 0.00283 kg/s érték a vizes ammónia minimális metanol-felhasználáshoz tartozó kihasználatlan mosókapacitását jelzi. Az alsó 0.00074 kg/s érték a metanollal eltávolítandó kénhidrogén mennyisége. Ebből számítható a minimális metanol-szükséglet:

$$L_2 = \frac{0.00074}{0.0035 - 0.0002} = 0.2242 \text{ kg/s}$$

#### 4. Táblázat: Intervallumonkénti kínálat

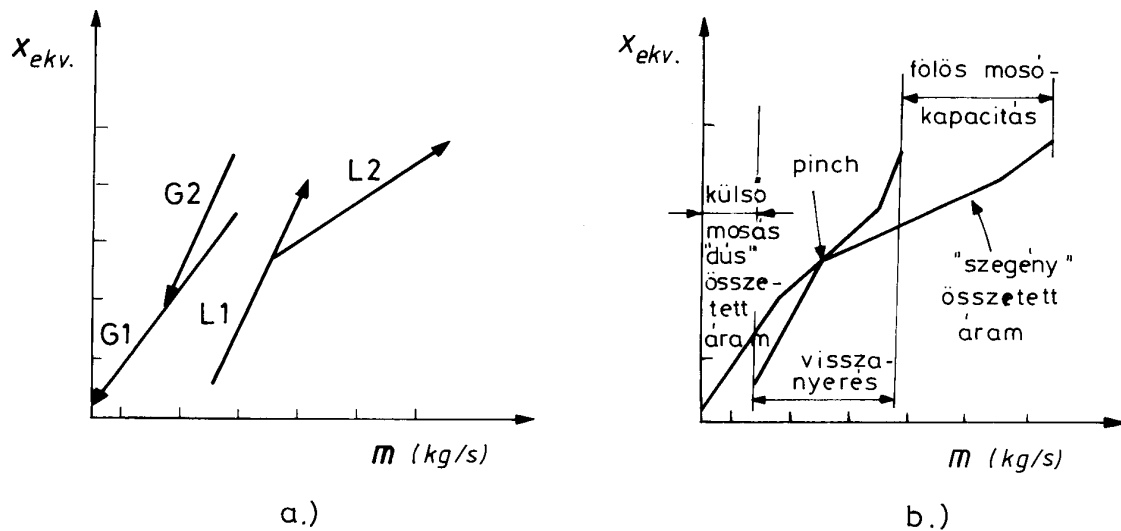
Intervallum	Fölösleg Kg/s
1	+0.01710
2	+0.00590
3	-0.02584
4	+0.00072
5	+0.00002

#### 5. Táblázat: Koncentráció-kaszád

y	x	Kínálat	Kínálat
0.0700	0.0482	+0.00000	0.00283
0.0510	0.0351	+0.01710	0.01994
0.0451	0.0310	-0.02300	0.02584
0.0010	0.0006	-0.00283	0.00000
0.0003	0.0001	-0.00212	0.00072
0.0001	0.0000	-0.00210	0.00074

## 5. fejezet: Anyagvisszanyerés és pinch

A koncentráció növelésének és csökkentésének igényei koncentráció-anyagáram diagramokon egyenes vonallal ábrázolhatók. Ilyen vonalakat mutat a **3/a. ábra**. A koncentráció-tengelyen az ekvivalens egyensúlyi koncentráció-értékeket tüntettük fel, a megadott MAC-kal eltolva (*shifted*). Az energetikai CC mintájára koncentráció összetett vonalak (CCC, *Concentration Composite Curves*) szerkeszthetők. Ezek az anyagáram-tengely mentén eltolhatók, s szélső esetben érintkezhetnek. A pinch pont itt is jellemző a feladatra. Ilyen pinch helyzetet mutat a **3/b. ábra**. Az ábráról leolvashatók a következők:

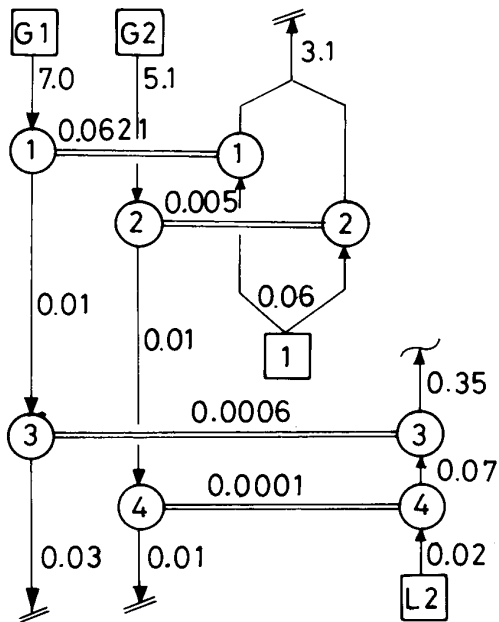


5.3. ábra

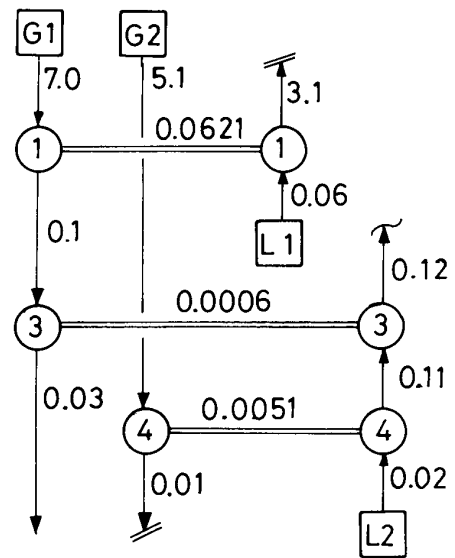
- A folyamat áramainak kihasználatlan kinyerőképessége
- A külső kinyerőszerrel kinyerendő anyagmennyiség
- A belső anyagcsere (az integráció mértéke)
- A pinch pont elhelyezkedése a koncentráció-skálán

Az anyagcsere-hálózat tervezésére ugyanolyan, vagy hasonló szabályok érvényesek, mint az energia-visszanyerő rendszerek tervezésére. A tervezést célszerű a pinch felől elkezdni és két irányban távolodva folytatni. Szükség esetén ugyanúgy elágaztatást kell alkalmazni a minimális külső kinyerőszer alkalmazásához, mint az energia-visszanyerő rendszerek esetén a minimális külső hőforgalomhoz. A vizsgált mintafeladat minimális külső kinyerőszert alkalmazó megoldását a **4. ábra** mutatja rácsábrázolással. A hálózat természetesen egyszerűsíthető, ha megengedjük a minimumnál több kinyerőszer alkalmazását. Ekkor a metanol kilépési koncentrációja is

megváltozhat. Az **5. ábrán** vázolt rendszerben a felhasznált metanol-áram mennyisége 5.6667 kg/s .



5.4. ábra



5.5. ábra