

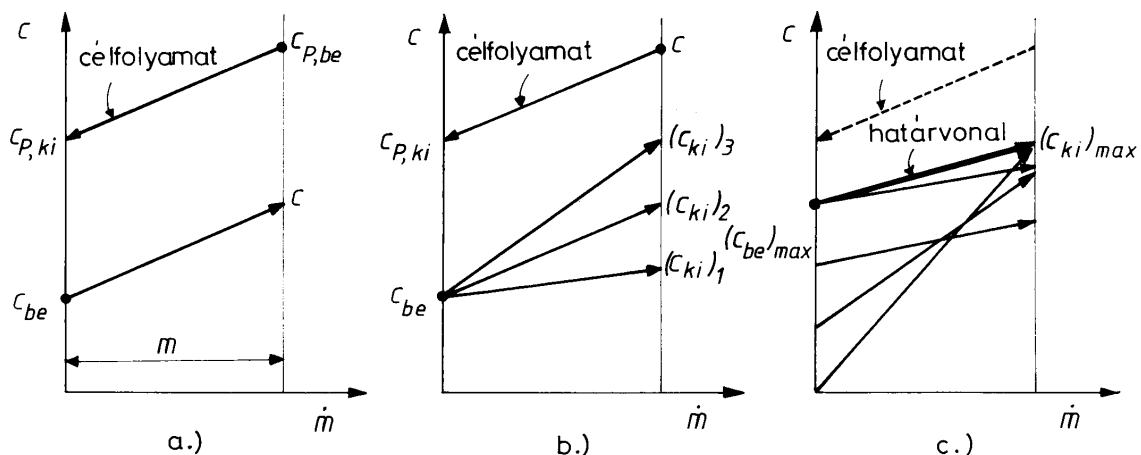
6. VÍZHASZNÁLÓ HÁLÓZATOK

6.1. Vízvonal, határvonal

A vegyiüzemek számos egységében használnak viszonylag tiszta vizet bizonyos anyagok kimosására, vagy más célból. Ezekben a helyeken a víz szennyeződik. A felhasznált vízáramtól és más paraméterektől függően a szennyeződés mértéke különböző lehet. Szintén különböző feltételeket írhatunk elő a művelethez felhasznált víz kezdeti szennyeződésének maximumára az egyes esetekben. Mivel a különböző helyeken a felhasznált víz kezdeti tisztaságára és a kibocsátott víz szennyezettségére vonatkozó korlátok műveletenként különböznek, kézenfekvő lehetőség az egyik egységből kibocsátott víz felhasználása a másik egységben. Ezzel a felhasznált friss víz, s ugyanolyan mértékben a kibocsátott szennyvíz mennyisége csökkenthető.

A víz újrafelhasználásának elemzéséhez kissé módosítjuk az **5. fejezetben** alkalmazott formalizmust és diagramokat. A vízre vonatkozó igényeket azonnal koncentráció-komponensáram (C - m) -diagramban rajzoljuk fel. Az m -tengelyen a műveletben a víz által időegység alatt felvett szennyező anyag mennyiségét tüntetjük fel. Ez szennyező komponensenként különböző lehet. Az egyszerűbb megértés kedvéért először csak az egyetlen szennyező komponens esetét tárgyaljuk.

Az **1/a. ábrán** jobbról balra lefelé haladó irányított vonal képviseli a műveletbeli céláram koncentrációját a leadott szennyezés függvényében. Az m -tengely a H -tengelyhez hasonlóan relatív, vagyis az abszolút helyzet nem fontos, hanem az irányított vonalak vetülete képviseli a leadott komponens-mennyiséget (az energetikai vizsgálatoknál ennek a Q hőteljesítmény felel meg). A C koncentráció-értékek természetesen abszolútak. Az alkalmazott víz koncentráció-vonala vele szemben, alatta halad. A vízbeli koncentráció általában kisebb a célárambelinél.

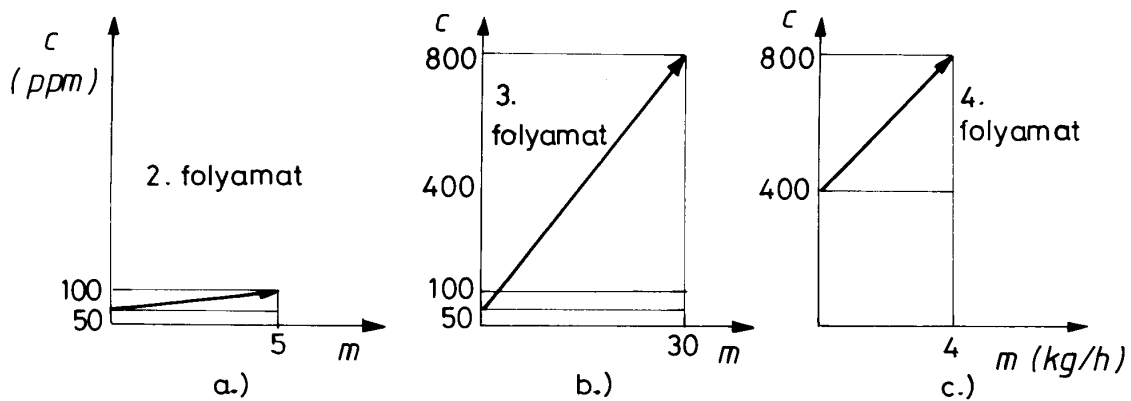


6.1. ábra

Ugyanaz a feladat, illetve ugyanaz a kinyerés különböző vízmennyiségekkel is megvalósítható. Ha a felhasznált víz kezdeti szennyezettsége változatlan, akkor a kevesebb víz végső szennyezettsége nagyobb, a több vízé kisebb. Ezeknek az eseteknek meredekebb és laposabb vízvonalak felelnek meg, a **1/b. ábra** szerint. Ha a felhasznált víz kezdeti koncentrációja is változhat, akkor nagyon sokféle vízfelhasználással oldható meg a feladat. A gyakorlatban kijelölhetjük a kezdeti koncentráció maximumát és a végkoncentráció maximumát, mint korlátozó feltételeket. A kettő közé húzott vonalat nevezzük *határvonalnak* (*limiting water profile*). Ilyet mutat a **1/c. ábra**. A tervezés végén az alkalmazott víz vonala ettől eltérő lehet (általában az is), de mindig csak lefelé térhetünk el a határvonaltól. Célunk lesz a minél meredekebb vízvonala kijelölése (minimális vízáram), és lehetőleg kihasználjuk a maximális belépési koncentrációkat, hogy maximalizáljuk a víz újrafelhasználását.

A továbbiakban a céláramot jellemző vonalat nem használjuk, arra csak a határvonal definiálásához és értelmezéséhez volt szükség. Szükség esetén azonban még visszatérünk a **1/c. ábrára**, hogy értelmezzük a vonalon végzett egyes műveleteket.

6.2. Összetett határvonal (LCC) és pinch



6.2. ábra

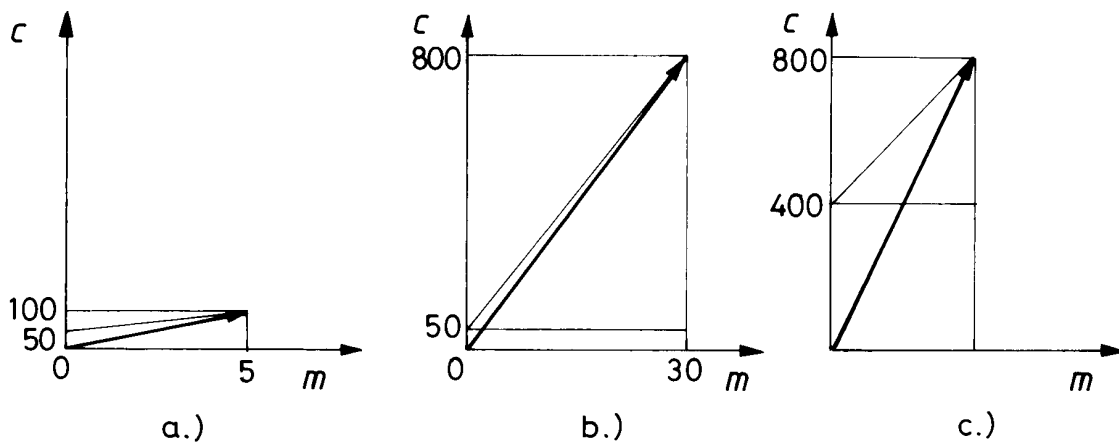
Az **1. Táblázatban** négy vízfelhasználó folyamat határadatait soroltuk fel (Wang & Smith, 1994). A négy folyamat együttes terhelése 41 kg/h. A felhasználandó vízmennyiség újrafelhasználás nélkül azonos lenne az egyes felhasználások összegével, vagyis 170 t/h lenne. Az ábráról azonnal látszik, hogy az 1. és a 2. folyamat kibocsátott vizei felhasználhatók a 4. folyamathoz, így a felhasználás összesen csak 160 t/h is lehet.

A táblázatban azonban csak a határvonal meredekségéhez tartozó vízfogyasztást tüntettük fel. Ha mind a négy folyamathoz szennyezetlen friss vizet használunk (**2. ábra**), akkor az egyes folyamatokhoz felhasznált víz mennyisége kisebb, mint a

táblázatban adott vízmennyiség (**3. ábra**). A felhasznált vízmennyiségek ekkor: 20 t/h, 50 t/h, 37.5 t/h, és 5 t/h, vagyis összesen 112.5 t/h friss vízre lenne csak szükség.

1. Táblázat: Egyetlen szennyező feladata

folyamat	m (kg/h)	C_{be} (ppm)	C_{ki} (ppm)	V (vízáram) (1000 kg/h)
1	2	0	100	20
2	5	50	100	100
3	30	50	800	40
4	4	400	800	10



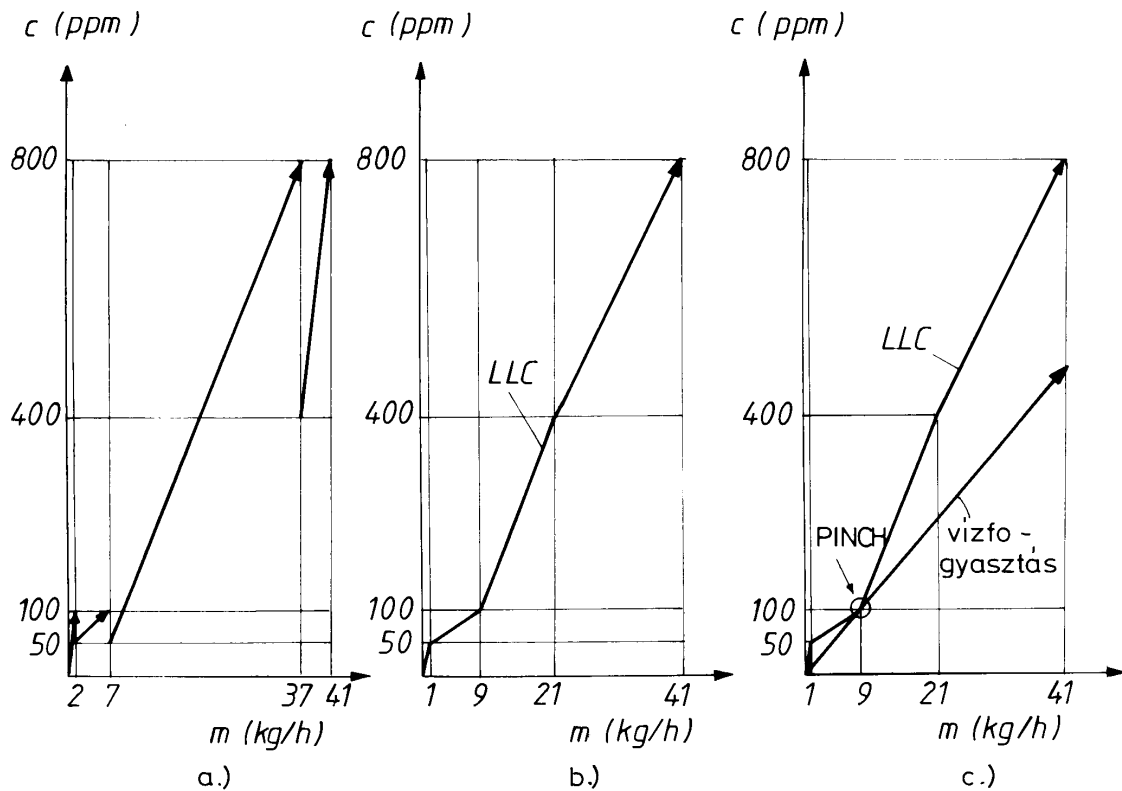
6.3. ábra

Ha az **4/a. ábra** egymás mellé helyezett határvonalaiból az energetikai pinch technikánál megismert módon összetett vonalakat készítünk, akkor az **4/b. ábrán** látható *összetett határvonalat*, vagy *LCC-diagramot* kapjuk (*Limiting Composite Curve*). A valóban felhasznált friss víz vonalának ezen összetett vonal alatt kell futnia. Minél meredekebb a *vízfogyasztás vonala*, annál kevesebb vizet használunk. A vízfogyasztás elméleti minimumát a pinch (érintés) szabja meg, ezt a helyzetet mutatja az **4/c. ábra**. A vízfogyasztás vonalából leolvasható, hogy a minimális vízfogyasztás mindössze 90 t/h.

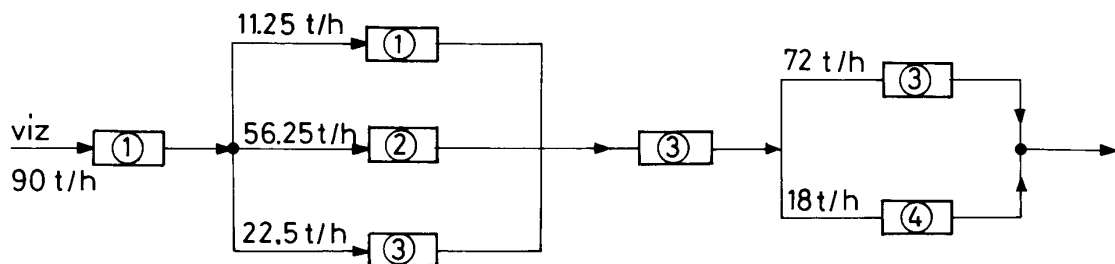
6.3. A vízfogyasztó hálózat kijelölése

A minimális vízfogyasztású hálózat kijelölésére két (egyformán alkalmas) módszer is használható. Az egyik az energetikai problémáknál megismert vertikális tervezés, ami maximális hajtóerőket, s így alacsony beruházási költséget von maga után.

Ennél az m -tengelyt osztjuk szakaszokra, s szükség szerint elágaztató tervezést végzünk szakaszonként. A szakaszolást és a kijelölt hálózat rácsábrázolását mutatjuk be az **5. ábrán**. Az egyes szakaszokban annyi részre osztjuk a vízáramot, ahány határvonalból épül fel az adott szakasz összetett határvonal-részlete. A megfelelő hagyományos ábrázolású hálózat a **6. ábrán** látható.



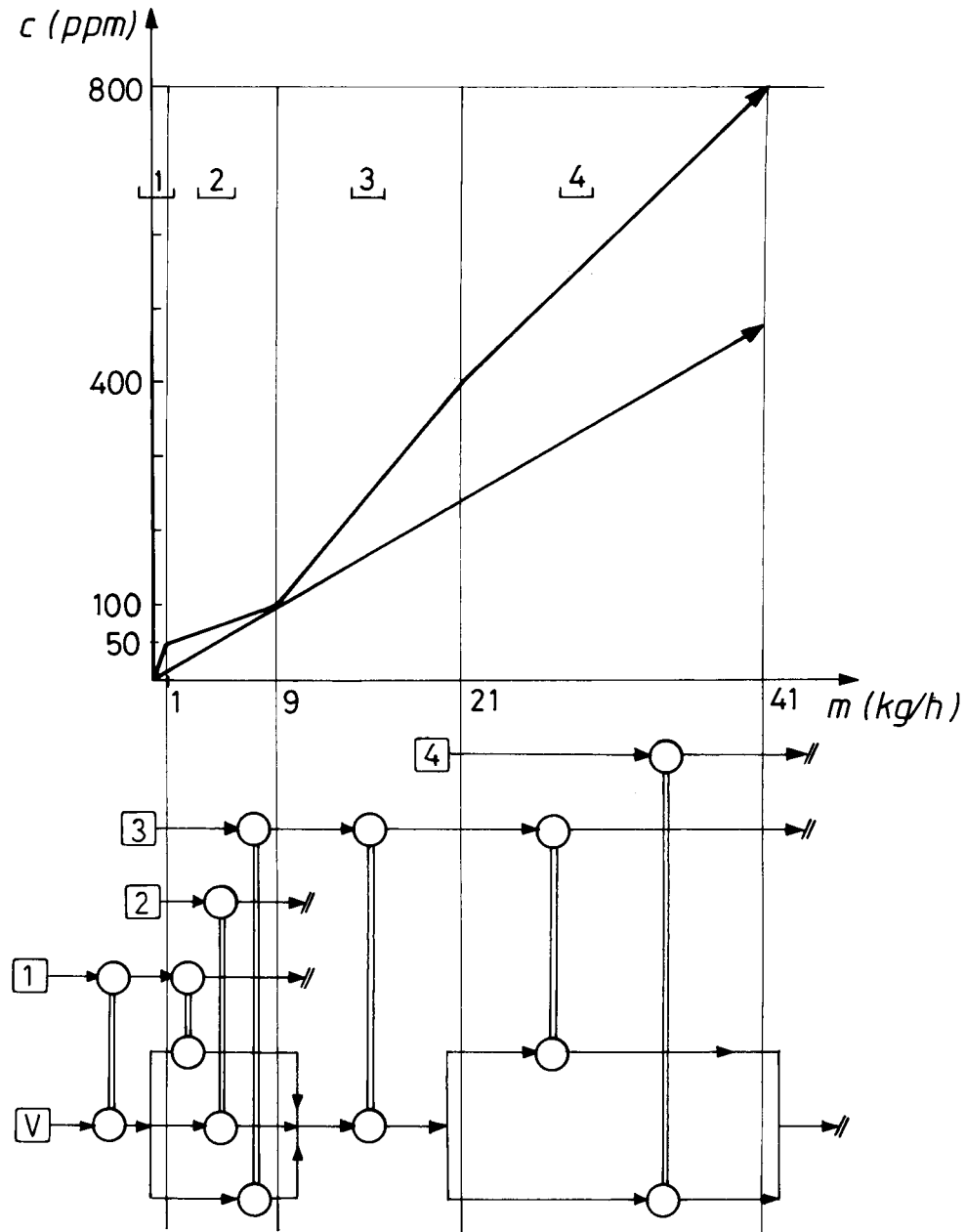
6.4. ábra



6.6. ábra

Az így megtervezett hálózat természetesen az elágazások miatt bonyolult. Az energetikai pinch technikából ismert ciklustörő eljárással itt is van lehetőség fokozatos

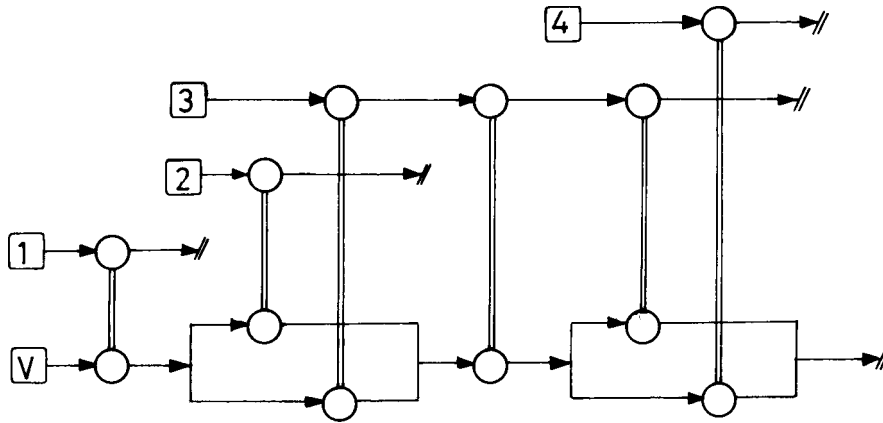
fejlesztésre. Két ciklus felbontása után maradó hálózatot mutat rácsábrázolással a **7. ábra** és hagyományos ábrázolással a **8. ábra**. A megmaradt egyetlen független ciklus csak a vízfogyasztás növekedése árán bontható fel.



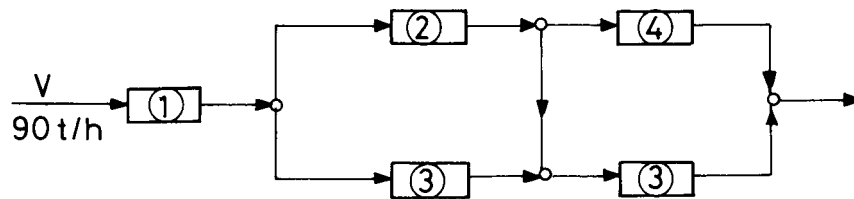
6.5. ábra

Egy másik tervezési filozófia a csatolások minimalizálására törekszik megkerülő kapcsolásokkal. Ennek érdekében a C -tengelyt osztjuk szakaszokra és így szintetizáljuk a hálózatot. Ezt a szakaszolást és a megfelelő rács-tervezést mutatja a **9. ábra**. Az így kialakított kapcsolást hagyományos ábrázolással a **10. ábra** mutatja. Ebben ugyanúgy 7 csatolás található, mint a **6. ábra** rendszerében. A hálózat azonban másképp épül fel, és

két ciklus megbontása után a **11/a. ábrán** ráccsal és a **11/b. ábrán** hagyományosan ábrázolt rendszert kapjuk, melyben csak 4 csatolás szerepel, eggyel kevesebb, mint a **8. ábrán**.

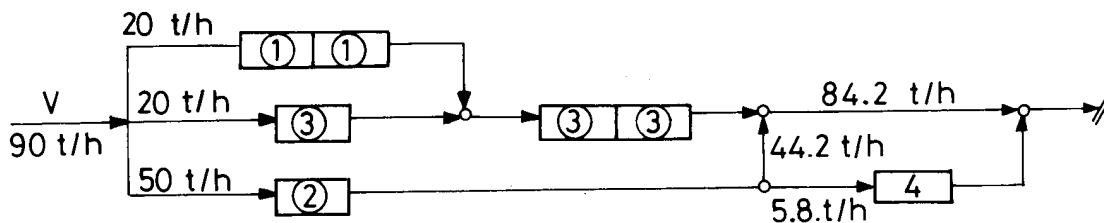


6.7. ábra



6.8. ábra

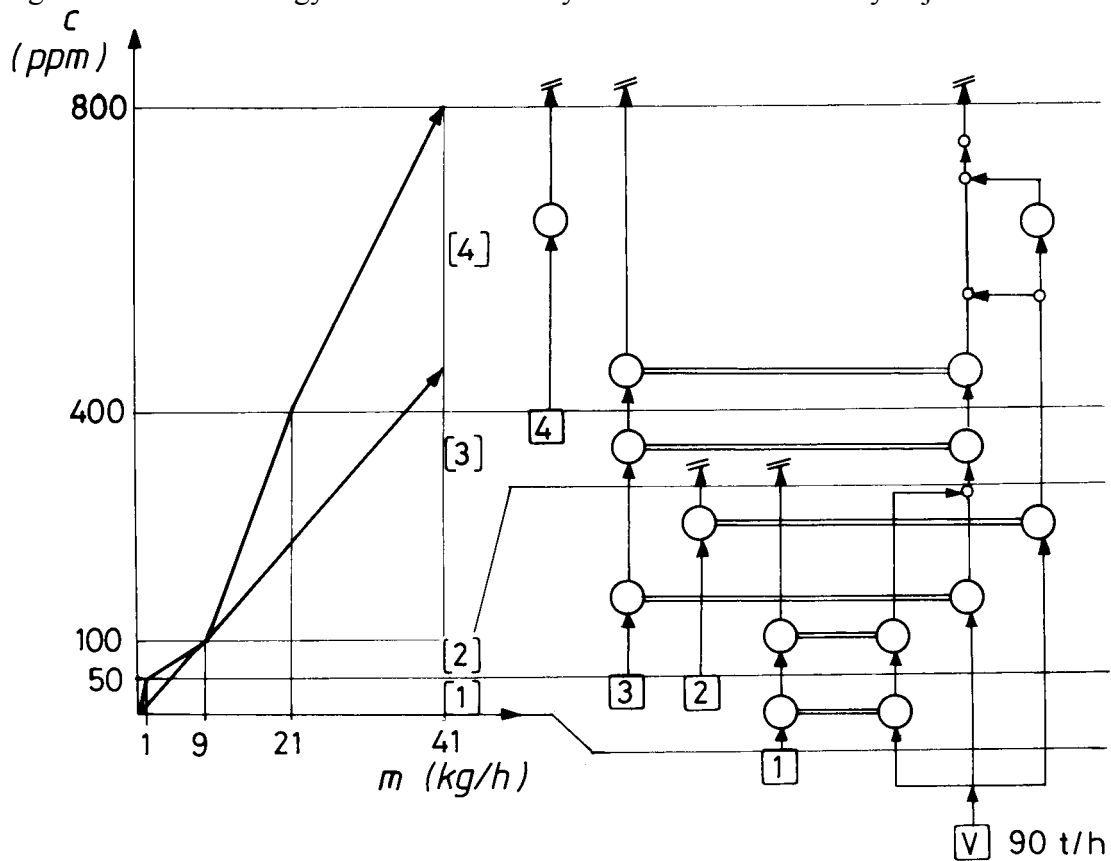
A vertikális tervezésnél a 3. folyamatot egy ponton ketté kellett bontani. Erre általában van fizikai (műveleti) lehetőség, a másik tervezés mégis egyszerűbb és valószínűleg könnyebben szabályozható (rugalmasabb).



6.10. ábra

6.4. Regenerálás és újrafelhasználás

A felhasznált, tehát szennyezett vizet végleges kibocsátás előtt a környezetvédelmi előírásoknak megfelelően tisztítani kell. A tisztított vizet vagy kibocsátjuk, vagy újra felhasználhatjuk, de ez utóbbi esetben nem különbözik a friss víz felhasználásától. A regenerálás is tisztítást jelent. A különböző regeneráló eljárásokra való tekintet nélkül csak annyit érdemes megjegyezni, hogy a regenerálás egy minimális C_0 végkoncentrációval vagy maximális szennyezés-eltávolítási aránnyal jellemezhető. A



6.9. ábra

továbbiakban a C_0 koncentráció értékét adottnak tételezzük föl.

A regenerálásnak és a regenerált víz újrafelhasználásának két esetben van gazdasági és környezetvédelmi jelentősége:

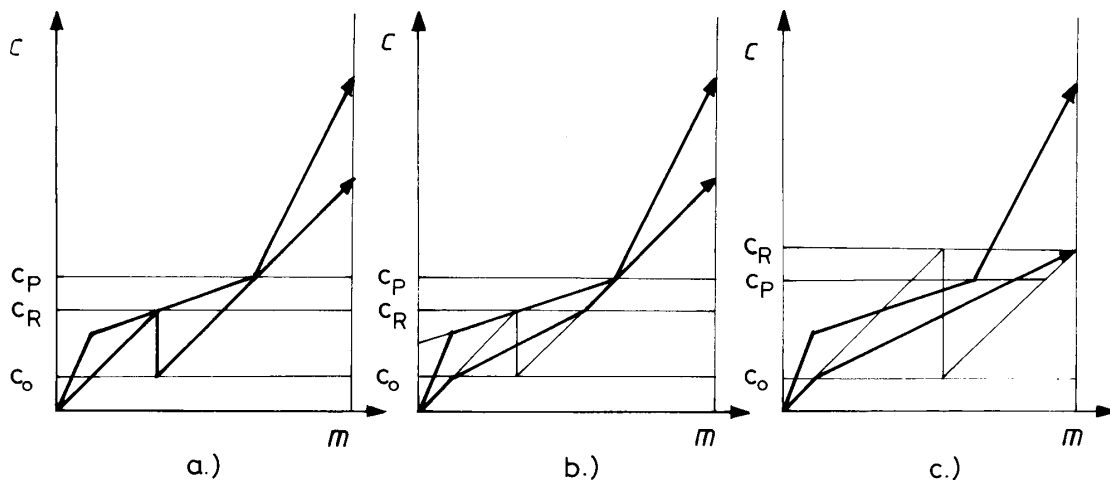
1. A tisztítást közbelső koncentráció elérése után végezzük, így az olcsóbb, mint a teljesen szennyezett víz regenerálása.
2. A regenerálás során nem érünk el olyan tisztaságot, mint a kibocsátás előtti kezelésnél (tehát olcsóbb), de ez a minőség is elegendő a műveletek elvégzéséhez.

A hálózat szempontjából is kétféle regenerációs rendszert lehet megkülönböztetni:

1. A regenerált víz felhasználása a hálózat egy más (későbbi) pontján.
2. A regenerált víz visszaforgatása (recirkulációja) és felhasználása.

Először a *recirkuláció nélküli* esetet tárgyaljuk. Megvizsgáljuk, miként változik a minimális vízfogyasztás, ha a pinch koncentráció alatti vagy fölötti C_R koncentrációjú vizet regenerálunk.

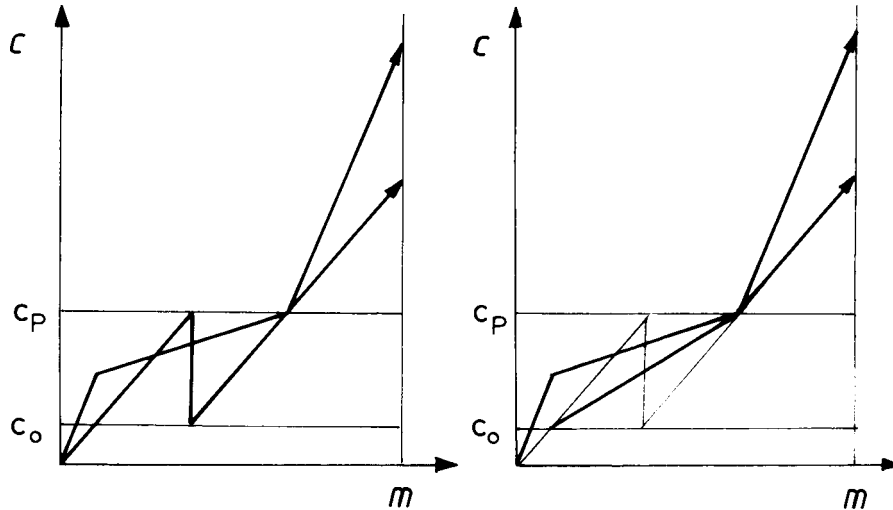
A **12/a. ábrán** a vízfogyasztás vonalán a regenerálást függőleges irányú hirtelen koncentrációcsökkenés képviseli. A törés után a vízfogyasztás vonalának meredeksége változatlan. Ez a meredekség nagyobb a regenerálás nélküli minimális meredekségnél, így a vízfogyasztás csökken. A regenerálás koncentrációját és a vízfogyasztást úgy választottuk meg, hogy a vonal érinti az LCC-t, vagyis pinch-helyzet alakult ki. Ennek ellenére a fogyasztás nem minimális.



6.12. ábra

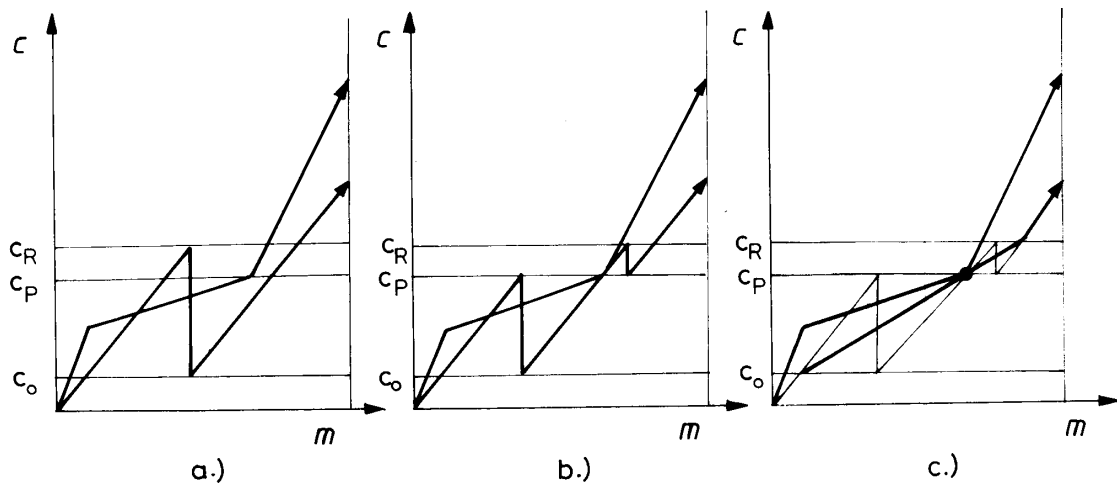
Ennek megmutatásához képezzük a regenerálás előtti és utáni vízfogyasztás összetett vonalát (**12/b. ábra**). Az így kapott diagram is pinch-helyzetű. Ha azonban a regenerálás előtt a víz szennyezettsége (változatlan fogyasztás mellett) nagyobb koncentrációt érhetne el, akkor az összetett fogyasztás vonalának második szakasza a **12/c. ábra** szerint alakulna, vagyis nem érintené a határvonalat. Ebből következik, hogy nagyobb koncentrációt megengedve csökkenthetjük a vízfogyasztást.

A **13. ábra** mutatja a vízfogyasztás minimumát abban az esetben, ha a pinch-koncentráció elérésekor regenerálunk. Az előző elemzést megismételve nem távolodunk el a pinchtől, vagyis a fogyasztás minimális.



6.13. ábra

Ha a regenerálási koncentrációt a pinch koncentrációjánál magasabbnak választjuk, mint pl. a **14/a. ábrán**, akkor a javaslat elemzéséhez a regenerációs vízfogyasztás vonalát a **14/b. ábra** szerint két részre bonthatjuk. A megfelelő összetett vízfogyasztási vonalat a **14/c. ábra** mutatja. Ezekről leolvasható, hogy (i) a vízfogyasztás minimális, (ii) a pinch fölötti regenerálás fölösleges, tehát haszontalan költséget vonz.



6.14. ábra

Összefoglalva: **Regenerálás és visszaforgatás nélküli újrafelhasználás esetén**

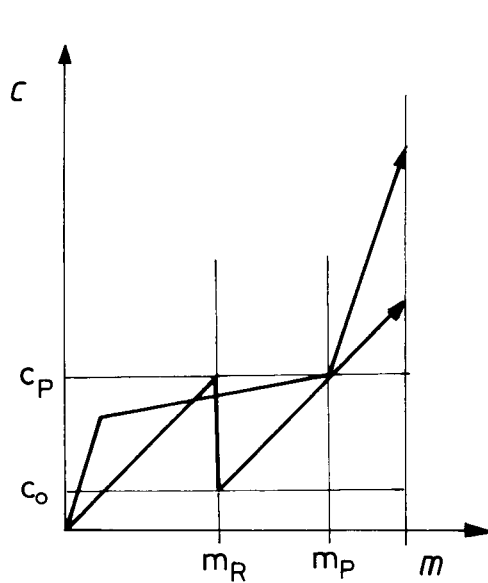
1. a vízfogyasztás minimális, ha a regenerálási koncentráció nem kisebb a pinch-koncentrációnál;

2. a pinch fölötti regenerálás nem csökkenti és nem növeli a vízfogyasztást, viszont fölösleges, tehát káros.

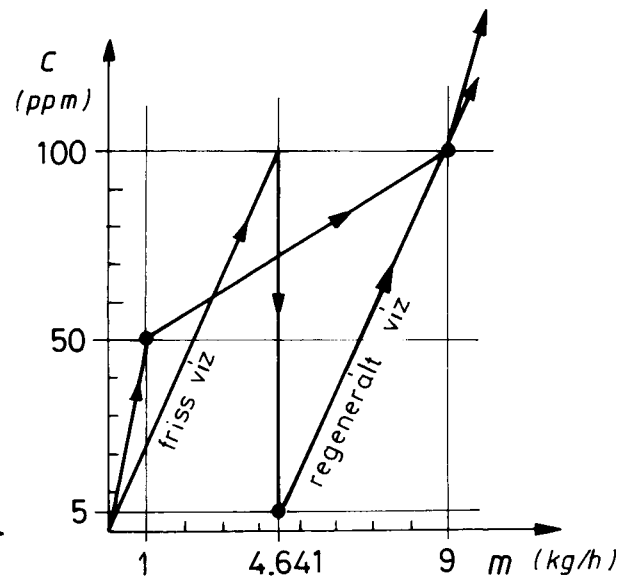
A minimális vízfogyasztás egyszerűen számítható, ha feltesszük, hogy a regenerált víz mennyisége megegyezik a regenerálandó víz mennyiségével. A pinch C_P és m_P -értékeinek ismeretében a minimális fogyasztás az szennyezőre vonatkozó komponensmérlegből számítható. A **15. ábráról** leolvasható, hogy

$$V_{\min} C_P = m_R \quad (1)$$

$$V_{\min} (C_P - C_0) = m_P - m_R \quad (2)$$



6.15. ábra

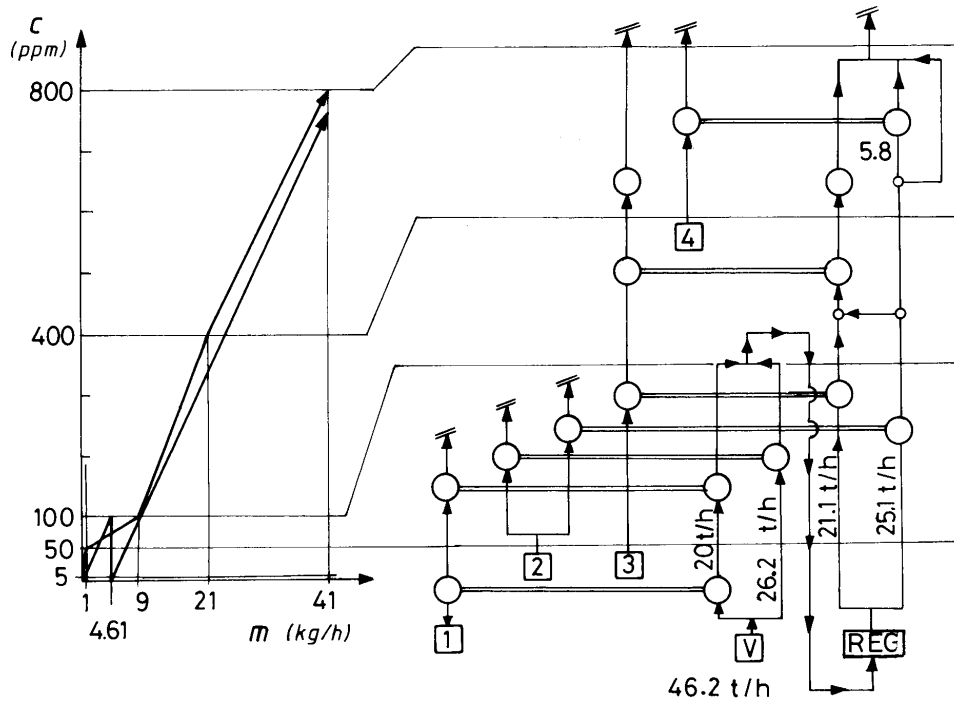


6.16. ábra

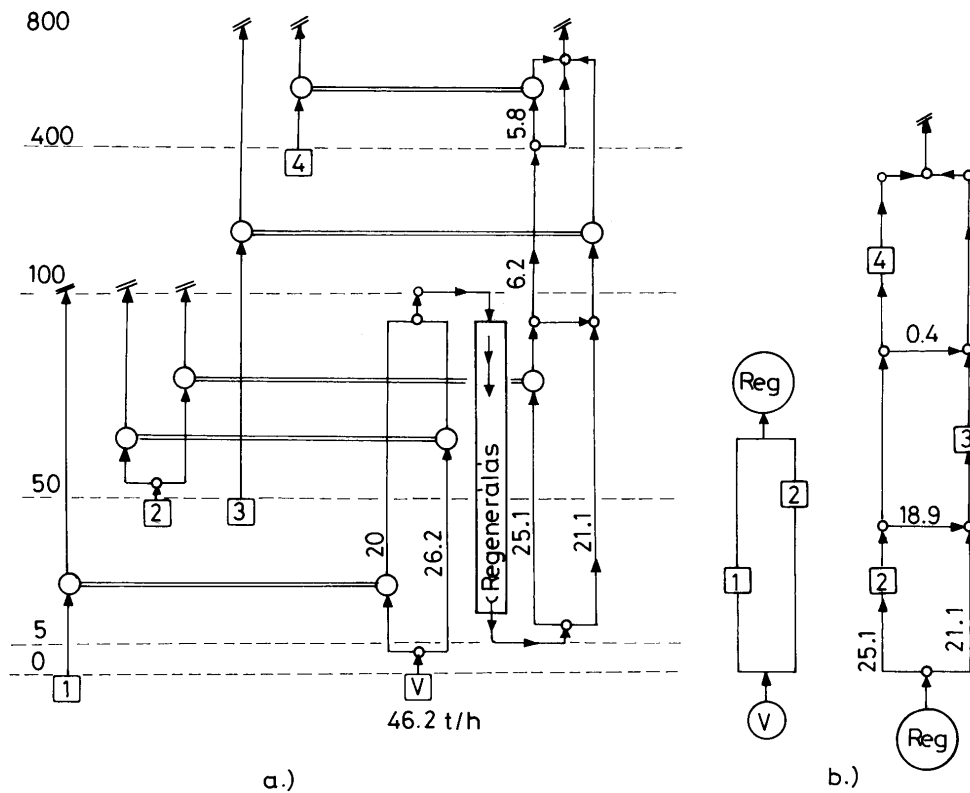
Innen pedig a minimális vízfogyasztás kifejezhető, ha az (1)-ből a (2)-be helyettesítünk. Gazdasági megfontolások alapján néha célszerű részleges regenerálást alkalmazni, ekkor a regenerálandó áram kevesebb a minimális fogyasztásnál, és az (1) helyett a következő összefüggést használhatjuk:

$$V_{reg} C_P = m_R \quad (3)$$

A mintapélda esetében alkalmazzunk olyan regeneráló eljárást, melynek végkoncentrációja 5 ppm. Teljes regenerálást alkalmazva a minimális fogyasztás 46.2 t/h. A **16. ábra** mutatja a regenerálás kijelölését, a **17. ábra** pedig az összetett vonalat. Fokozatos fejlesztéssel kaphatjuk a **18/a. ábrán** mutatott rácsot, melynek hagyományos megfelelője a **18/b. ábra**.



6.17. ábra

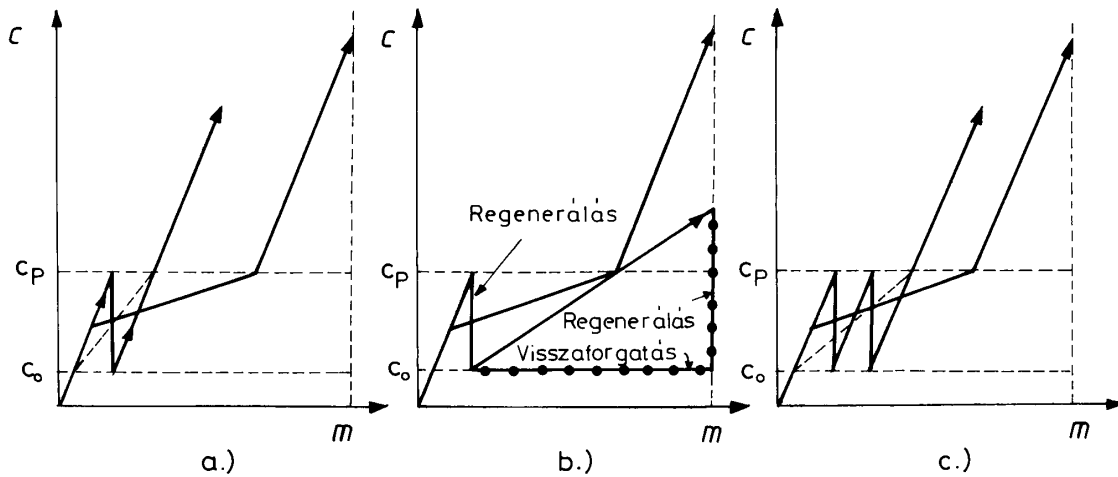


6.18. ábra

6.5. Regenerálás és visszaforgatás

Annak alapján, hogy a C_0 koncentráció nagyobb a friss víz szennyezettségénél, regenerálás és visszaforgatás alkalmazásával még tovább csökkenthető a friss víz fogyasztása. A fogyasztásnak az összetett határvonal (LCC) C_0 -nál alacsonyabban elhelyezkedő szakaszának meredeksége szab alsó határt.

A **13. ábra** LCC-jének legalsó szakaszát meghosszabbítva, és a regenerálási koncentrációt a pinchhez illesztve kapjuk a **19/a. ábrát**. Az összetett fogyasztás vonala keresztezi az LCC-t, vagyis a regenerálás után a vízkínálat nem elegendő. Ezen segít a megfelelő mennyiségű visszaforgatott víz bevezetése C_0 koncentrációnál, az első regenerálási hely után. Éppen annyi vizet kell a folyamat végén regenerálni és visszavezetni, hogy a fogyasztás vonala a pinch koncentrációnál érintse az LCC-t (**19/b. ábra**). Ekkor az összetett fogyasztás vonala is éppen érinti a határvonalat.



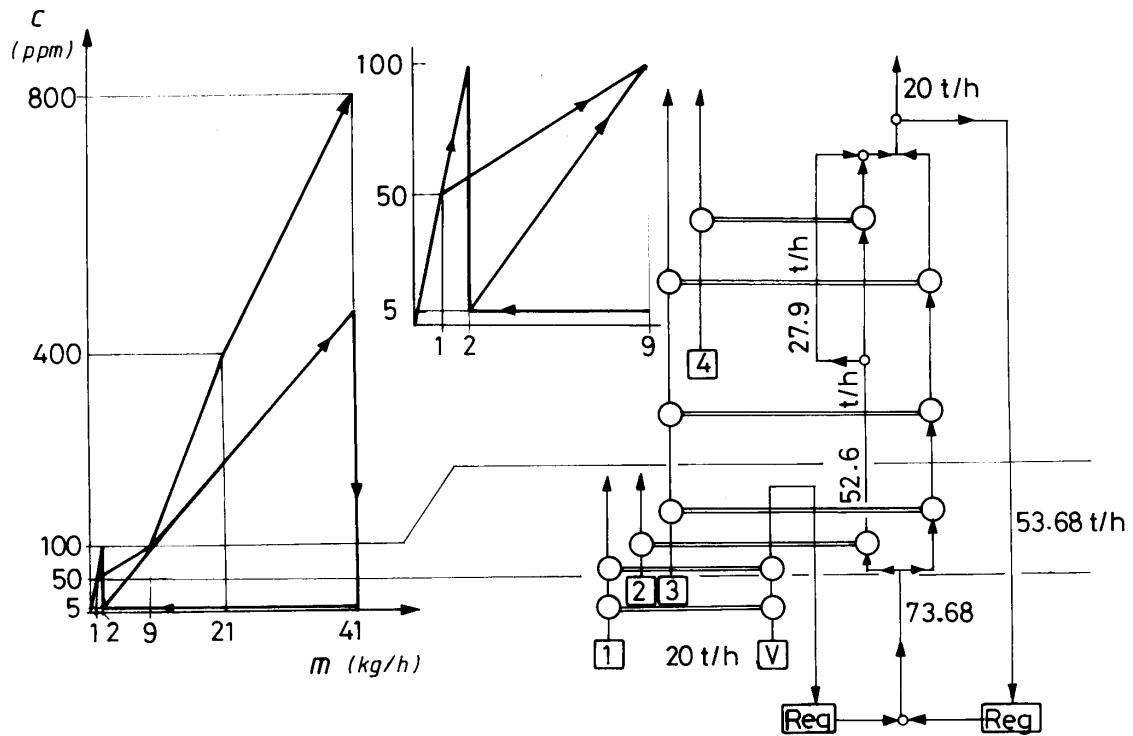
6.19. ábra

Megjegyzés: A **19/b. ábrán** két regenerálási műveletet alkalmazunk. Többszörös regenerálás persze alkalmazható visszaforgatás nélkül is. Ha azonban kétszer regenerálnánk a pinch hőfokon visszaforgatás nélkül, akkor is kevés lenne a vízkínálat, amint az jól látható a **19/c. ábrán**.

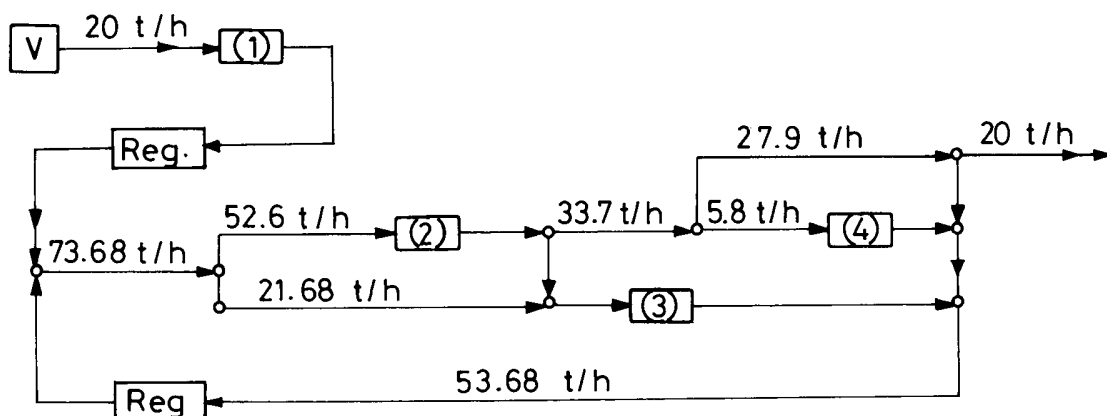
A mintapélda esetében (és 5 ppm regenerálás utáni koncentrációval) az alsó szakasz meredeksége alapján a minimális vízfogyasztás 20 t/h. A **20. ábrán** a regenerálás utáni meredekséghez 73.68 t/h vízfogyasztás tartozik. Ennek alapján 20 t/h vizet kell pinch koncentrációról regenerálni és újrafelhasználni, és 53.68 t/h vizet kell a folyamat végén regenerálni és az első regenerálás termékéhez visszavezetni. A folyamat végén természetesen 20 t/h szennyvíz is keletkezik.

6. fejezet: Vízhasználó hálózatok

A kezdeti rács fokozatos fejlesztéssel egyszerűsíthető. A kapott egyszerűbb rendszer folyamatábráját a **21. ábra** mutatja.



6.20. ábra



6.21. ábra

6.6. Több szennyező komponens esete

Több szennyező esetében az előírásokat és korlátozásokat minden egyes szennyező komponensre külön meg kell adnunk. A C - m diagramok egyetlen komponensre vonatkoznak, így a többkomponensű esetet vagy több diagrammal, vagy többdimenziós rendszerben kellene jellemezni. Mindkettő nagyon nehézkes, és az utóbbi nem ábrázolható. Szerencsére egy ötletes transzformációval egyetlen referencia-diagramban is leírhatjuk a többkomponensű viszonyokat.

Ehhez tekintsük először a **2. Táblázattal** adott feladatot.

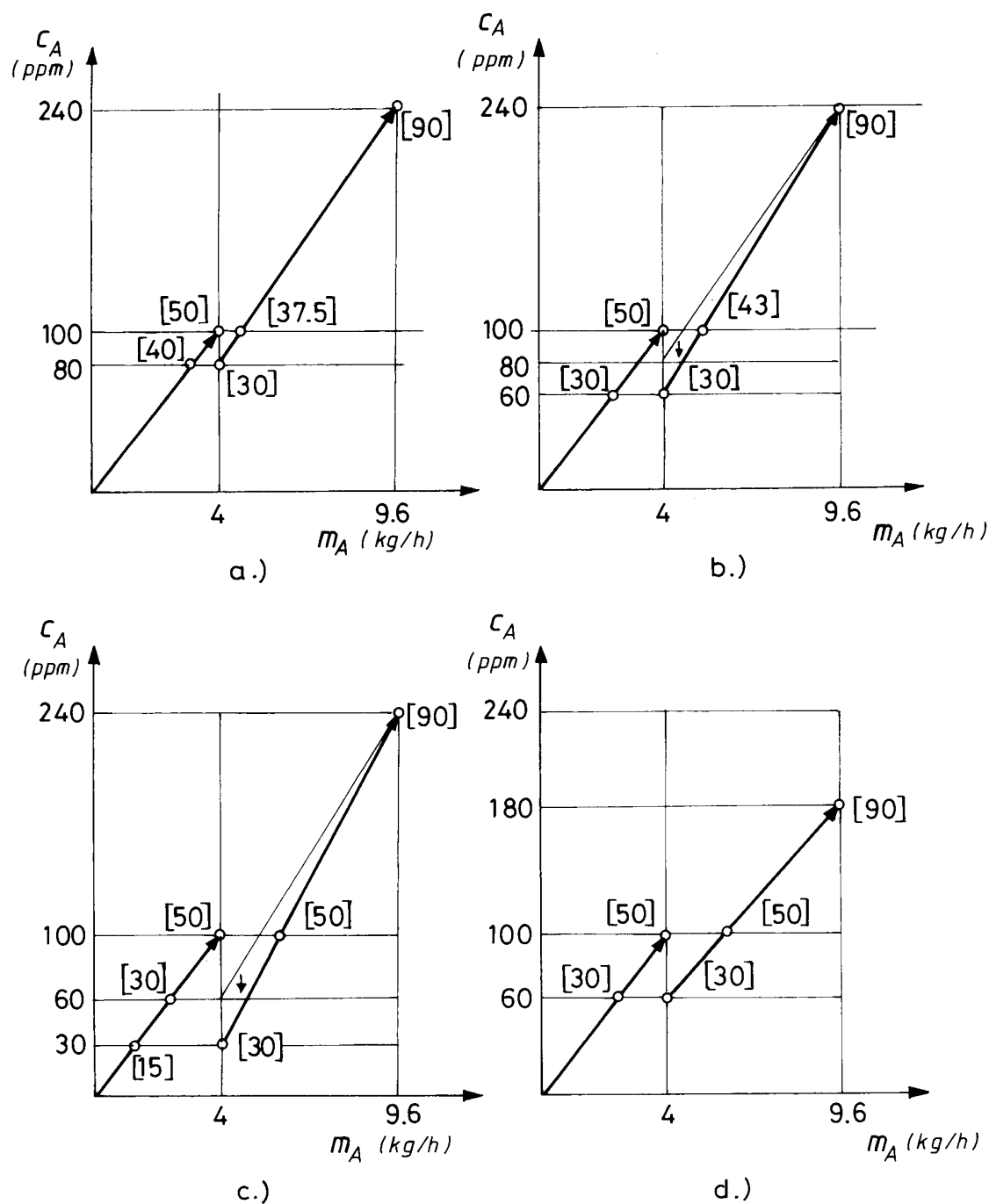
2. Táblázat: Többkomponensű feladat - 1.

folyamat	szennyező	m (kg/h)	C_{be} (ppm)	C_{ki} (ppm)	V (t/h)
1	A	4.0	0	100	40
	B	2.0	25	75	
2	A	5.6	80	240	35
	B	2.1	30	90	

Ha csak az A szennyezőt vizsgáljuk, akkor a minimális fogyasztás 47 t/h-nak adódik. Ha csak a B -t, akkor 47.7 t/h-t kapunk. Az együttes korlátozások eredményeként a minimális fogyasztás egyik így számított értéknél sem lehet kisebb, tehát biztos nem kisebb 47.7 t/h-nál. Azonban a korlátozások együttes hatására a valódi minimum ennél is nagyobb.

A többkomponensű korlátok elemzéséhez kiválasztunk egy referencia-komponenst, és annak diagramjához viszonyítunk. Esetünkben ez legyen az A . Elkészítjük az A -ra vonatkozó (még az összetett vonal megszerkesztése előtti) diagramot, és abban feltüntetjük, hogy a diagram egyes pontjain, vagyis az A komponens kimosása közben milyen B koncentrációk alakulnak ki. Ezeket szögletes zárójelben tüntettük föl a **22/a. ábrán**. Ezek kiszámításánál azt az észszerű és jogos föltételezést alkalmaztuk, hogy a koncentrációk növekedése (megváltozása) egymással arányos.

Tehát míg az 1. folyamatban az A komponens kívánatos 4 kg/h kimosásának 80 %-át érjük el ($C_A=80$ ppm, $m_A=3.2$ kg/h), addig a B komponens $75-25=50$ ppm megváltozásának, azaz a 2 kg/h kimosásnak is éppen 80 %-a következik be ($C_B=0+40=40$ ppm, $m_B=1.6$ kg/h). Figyelem! A 25 ppm és a 75 ppm az 1. folyamat határadatai, míg a vele szemben haladó vízről feltettük, hogy tiszta. Ezért nem $25+40=65$ ppm a kapott koncentráció, hanem csak 40.



6.22. ábra

A második folyamatban az 1. folyamat 80 %-ának végrehajtásából származó vizet lehet felhasználni az A komponensre vonatkozó adatok szerint. Azonban, mint az előbb láttuk, itt a B komponens koncentrációja, 40 ppm, nagyobb, mint az előírt minimum, 30 ppm. A B komponensre vonatkozó korlátot úgy lehet figyelembe venni, hogy az A komponensre vonatkozó határvonal alsó pontját a C -tengely mentén lejjebb csúsztatjuk, vagyis a határvonalat elforgatjuk a felső pontja körül. Ezt a *kezdeti koncentrációra*

vonatkozó *transzformációnak* nevezzük (*inlet concentration shift*), eredményét a **22/b. ábra** mutatja.

Mit jelent ez a transzformáció, és jogosan alkalmazzuk-e? Utalunk a fejezet elején bemutatott **1/c. ábrára**. Ott hangsúlyoztuk, hogy a határvonal csak korlátot jelent, és alatta tetszőleges alakú kínálat vonala alkalmazható. Ha tehát lejjebb toljuk a vonal egyik végpontját, azzal az A -ra vonatkozó feltételeket nem sértjük meg. Ha a módosítással éppen kielégítjük a B -re vonatkozó feltételt, akkor az így előálló vonal a mindkét korlátot figyelembe vevő, bár az A referencia-komponensre vonatkozó együttes határvonal. A transzformáció azt a követelményt fejezi ki ebben a konkrét esetben, hogy az 1. folyamatból hamarabb, már $C_A=60$ ppm-nél el kell vezetni azt a vizet, amit a 2. folyamatban kívánunk felhasználni.

[[[Az itt leírt transzformáció nem egyezik meg az eredeti közleményben (Wang & Smith, 1994) közölt transzformációval. Az eredeti szerzők a vonalat párhuzamosan tolták el, vagyis rögzített vízáram mellett. Az **1. és 2. Táblázatokban** szereplő V értékek azonban nem korlátok, hanem csak az alsó és felső korlátokhoz tartozó aktuális vízáramok. Ezért a párhuzamos eltolás fölös korlátozást jelent, ami esetenként a valódi minimumnál nagyobb minimális vízfogyasztás számításához vezethet. Ugyanez a megjegyzés érvényes a végkoncentrációra vonatkozó transzformáció esetére is.]]]

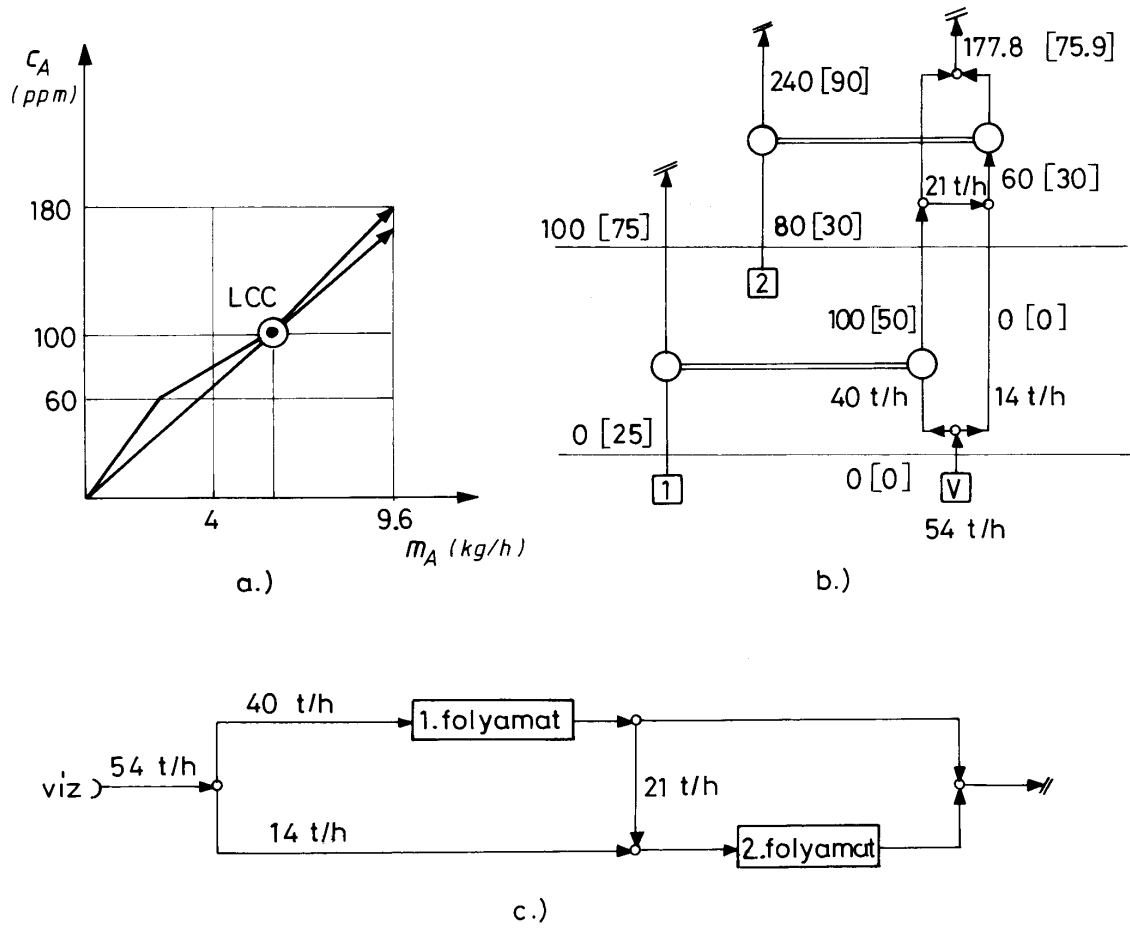
A kezdeti koncentrációra vonatkozó transzformáció hatására a 2. folyamat kezdőpontján éppen megfelelő koncentrációjú víz léphet be. Azonban most meg az 1. folyamat végpontján kilépő víz $C_B=50$ ppm koncentrációja túl nagy ahhoz, hogy azt a 2. folyamat megfelelő pontján alkalmazhassuk, mivel ott legfeljebb $C_B=43.33$ ppm szennyezettségű vizet engedtünk meg.

Ezen elvben úgy is lehetne segíteni, hogy a kezdeti koncentrációt még lejjebb toljuk. Pl. a **22/c. ábrán** a kezdeti koncentráció $C_A=30$ ppm, így a $C_A=100$ ppm pontján a B koncentrációja $C_B=50$ ppm, az éppen szükséges érték. Ekkor azonban a 2. folyamat elején felhasznált, és az 1. folyamatból származó víz B szennyezettsége csak 15 ppm, vagyis a felhasznált víz fölös mosókapacitással rendelkezik. Ez egyben azt jelenti, hogy nem használjuk ki teljesen a folyamatban rejlő integrációs potenciált. A minimális vízfogyasztás meghatározásához minden komponensnek a határértéken kell szerepelnie.

Ezért a kezdeti koncentráción tovább nem módosíthatunk. Helyette a felső koncentrációt módosítjuk, úgy, ahogy azt a **22/d. ábra** mutatja. Ezt a *végkoncentrációra alkalmazott transzformációnak* nevezzük (*outlet concentration shift*). Ennek hatására változik a 2. folyamat vízárama, és mind az 2. folyamat elején, mind az 1. folyamat végén megegyeznek a koncentrációk.

A **23/a. ábrán** rajzoltuk fel az összetett fogyasztás vonalát, a **23/b. ábrán** pedig az ennek alapján tervezett hálózatot. A **23/c. ábra** mutatja a hálózatot hagyományos ábrázolással.

A fenti feladat megoldása azért volt viszonylag egyszerű, mert mindkét vizsgált esetben a B komponens korlátja bizonyult erősebbnek. A feladat módosításával általánosabb képhez és megoldási módszerhez jutunk.



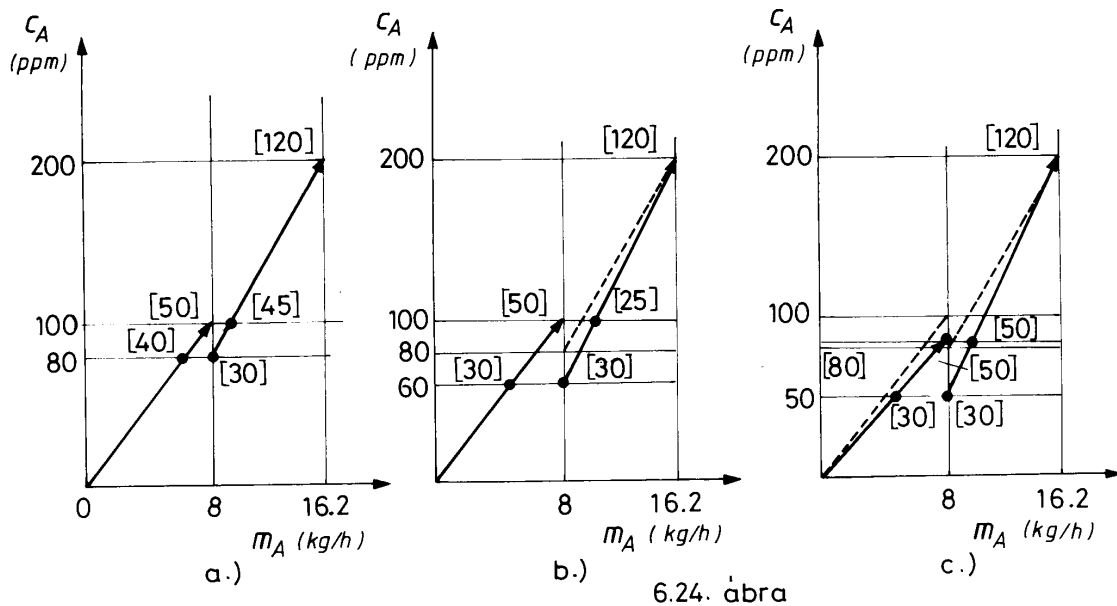
6.23. ábra

3. Táblázat: Többkomponensű feladat - 2.

folyamat	szennyező	m (kg/h)	C_{be} (ppm)	C_{ki} (ppm)	V (t/h)
1	A	8.0	0	100	80
	B	4.0	20	70	
2	A	7.2	80	200	60
	B	2.1	30	120	

A 24/a. ábra mutatja az A referencia-komponensre vonatkozó vízvonalat. Mivel a 2. folyamat B szennyezettségére vonatkozó előírt koncentráció (30 ppm) kisebb annál,

ami az 1. folyamat megfelelő pontján képződik (40 ppm), az előzőek szerint kezdeti koncentrációra alkalmazott transzformációt hajtunk végre a 2. vonalon. Ennek eredményét mutatja a **24/b. ábra**. A transzformáció következtében az 1. folyamat végén kapott víz *B* szennyezettsége kisebb, mint a 2. folyamat megfelelő pontján előírt minimum. Ezért ezen a ponton egyik komponensre vonatkozó előírás sem korlátozza a fogyasztást. Más szóval, kihasználatlan mosókapacitás rejlik ebben az elrendezésben, vagyis ennek alapján nem határozható meg a minimális vízfogyasztás. A 2. vonal végkoncentrációjára alkalmazott transzformáció itt nem segít, mert csak tovább növeli a különbséget.



[[[Az eredeti közleményben a szerzők a transzformáció megfordítását javasolták. Ez azonban félrevezető eredményt ad, hiszen a végkoncentráció növelésével jár, ami (túllépve az előző csökkenésen) megsérti az eredeti korlátozásokat, amiket a **3. Táblázatban** írtunk elő.]]]

Megoldásként csakis az 1. áram végkoncentrációjára alkalmazott transzformáció jöhet szóba. Azonban ennek végrehajtása után meg kell ismétlni az első transzformációt, és egy végtelenül ismétlődő (bár konvergens) eljáráshoz jutunk. Ehelyett azonban egy kétismeretlenes lineáris egyenletrendszer megoldásával közvetlenül is célhoz érhetünk. A **24/c. ábrán** az ismeretlen *x* és *y* koncentrációkra felírhatjuk az

$$\frac{x}{y} = \frac{50}{30}$$

$$\frac{x-y}{200-y} = \frac{50-30}{120-30}$$

vagyis a

$$30x=50y$$

6. fejezet: Vízhhasználó hálózatok

$$90(x - y) = 20(200 - y)$$

egyenletrendszer, melynek megoldása: $x=83.3333$ ppm, $y=50$ ppm. Ez a szimultán transzformációs eljárás bármely helyzetű vonalpárra alkalmazható.

Az alkalmazott eljárás eredménye független attól, hogy melyik komponenst választjuk referenciának. Az eredmény mindenképpen egy lineáris egyenlőségeket és egyenlőtlenségeket tartalmazó lineáris szélsőértékfeladat (LP) megoldása lesz.

A bemutatott transzformációk a regenerálást és a visszaforgatást tartalmazó rendszerek tervezésében is használhatók.