

Mack Péter¹**A MŰSZAKI FEJLESZTÉS LÉPCSŐFOKAI²**

A vegyi vízkezelés története egy magyarországi erőműben

BEVEZETÉS

A Tiszai Erőmű egyike a legnagyobb magyarországi energiatermelőknek. Tiszaújvárosi telepelyén két hőerőművet üzemeltet: a Tisza I. Hőerőmű az 50-es években, a Tisza II. Hőerőmű a hetvenes évek derekán lett üzembe helyezve. A két erőmű póttápvíz ellátása 2003-ig közös volt, ma külön vízellátással rendelkeznek, de a két rendszer ma is összekapcsolható. Az erőmű két vízforrással rendelkezik. A vízellátás elsősorban mélyfúrású kutakból nyert kútvízzel történik, vagy szükség esetén közvetlenül a Tisza folyóból kiemelt folyóvízzel. A vízkezelő technológiának a magas kazánparaméterek miatt igen szigorú minőségi követelményeket kell kielégíteni.

Az erőmű vezetése mindig fontosnak tartotta a legkorszerűbb technológiák alkalmazását, és ez vonatkozott a vízkezelésre is. A továbbiakban az erőmű több, egymást követő póttápvíz előállítási eljárását mutatom be, melyek mindig az adott időszak élvonalát képviselték.

1953 – EGY TÖRTÉNELMI TECHNOLÓGIA

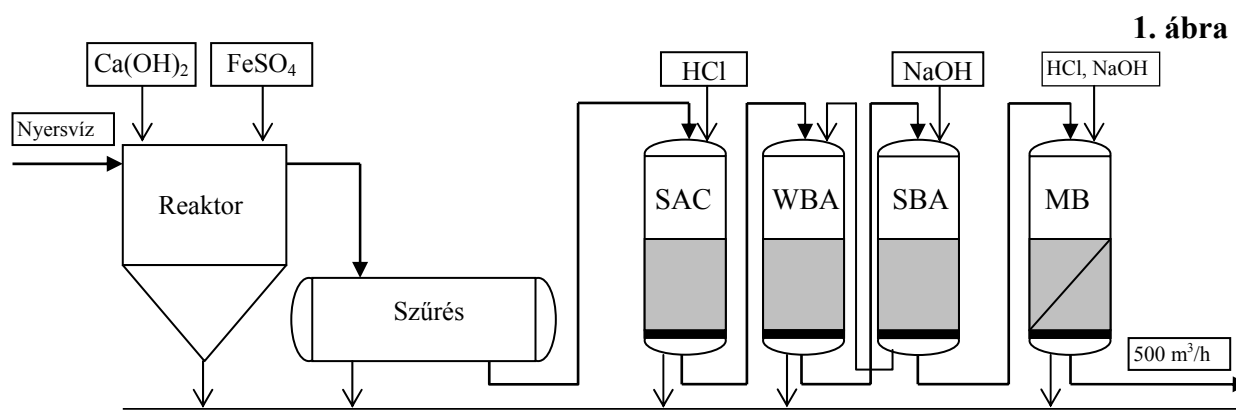
A széntüzelésű Tisza I. Hőerőmű az 50-es években épült, zöldmezős beruházásként. Póttápvíz ellátására az akkor szokásos

MESZES DEKARBONIZÁLÁS → SZŰRÉS → NA-IONCSERE → EVAPORÁCIÓ

technológiai sort alkalmazták. Az eredmény nem lehetett túl meggyőző, ezt mutatták a gyakori turbina-lerakódások. Az erőmű már a '60-as években próbálkozott a technológiai fejlesztéssel: a Na-ioncserélőket kezdték átalakítani H- és OH-ciklusú ioncserélőkre, tehát a víz egy részét lágyítás helyett teljes sótalanítással kezdték kezelni.

1974 - ÚJ, KÖZPONTI VÍZKEZELŐ ÉPÍTÉSE

Magyarországon a '70-es évek az új erőművek építésének és az ioncserélő eljárások elterjedésének korszaka volt. Ekkor épült fel, a régi erőmű közelében, a Tisza II. erőmű. A CH-tüzelés és a magas gőzparaméterek új póttápvíz kezelési technológiát igényeltek. Egy teljesen új, 500 m³/h sótalanvíz kapacitású vízkezelő üzem épült, mely mindkét erőművet ellátta hűtővízzel és póttápvízzel. A berendezés kapcsolása az 1. ábra szerinti volt.



¹ A szerző vegyészmérnök, környezetvédelmi szakmérnök, mint tervező vett részt az Erőmű 1974-es rekonstrukciójában. Mint vállalkozó és irányító tervező vett részt az 1995-ös rekonstrukcióban, végül technológiai tervei szerint és vezetése alatt valósult meg az Erőműben a membrántechnika 2003-as bevezetése is.

² A moszkvai ЕНЕРГЕТИКА с. folyóiratban megjelent cikk kivonata.

Az új technológia első lépése a meszes kezelés, mely 2 db, 13 m átmérőjű dekarbonizáló reaktorban történik, szükség esetén vasszulfát adagolást is alkalmazva. Ezt követi a fekvőszűrőkön történő szűrés, majd a tárolás. A dekarbonizálást követi a teljes sótalánítás. Az eredeti technológia szerint is a sótalánítás 3 lépcsőben történt: erősen savas kationcsere, gyengebázisú anioncsere, végül az erősbázisú anioncsere. Az egyes ioncserélők hagyományos egyenáramú regenerálással működtek, de a két anioncserélő regenerálása egymáshoz képest ellenáramban történt, tehát az erősen bázikus anioncserélő regenerátuma lett rávezetve a gyengén bázikus anioncserélőre. Ez a technológia és a szakszerű üzemeltetés mintegy két évtizeden keresztül szolgáltatott megfelelő minőségű póttápvizet az erőmű számára.

A berendezés gazdaságosságához az a szerencsés körülmény is hozzájárult, hogy a nyers kútvíz igen alkalmas a meszes dekarbonizálásra, mert sótartalma a reaktor után az eredetinek mintegy a negyedére csökken.

1995 – AZ ELLENÁRAMÚ REGENERÁLÁS KIALAKÍTÁSA

Létesítésekor a berendezés igen korszerűnek számított, de két évtized után a berendezések elöregedtek, az eredeti egyenáramú regenerálási technológia ma már egyértelműen elavult, elsősorban a lehetségesnél magasabb vegyszerfogyasztás és víz-önfogyasztás, azaz a magas önköltségek miatt. Az erőmű vezetése, érzékelve a rekonstrukció szükségességét, 1994. végén egy döntéselőkészítő tanulmánytervet készített a vízellátás rekonstrukciójára. A tanulmányterv összehasonlította az összes szóba jöhető ellenáramú eljárást, azokat technológiailag kiértékelve, valamint részletes műszaki-gazdasági összehasonlítást készített a két legversenyképesebb technológiáról. Az összehasonlítás alapján a Tiszai Erőmű vezetése határozatot hozott a legkedvezőbbnek ítélt UPCORE-MONO[®] eljárásra történő átalakításra és a rekonstrukciót elindította. A rekonstrukció céljai az alábbiak voltak:

- A fajlagos vegyszerfelhasználás csökkentése
- A víz-önfogyasztás csökkentése
- A blokkteljesítmények növelése
- Az erősen elhasználódott berendezések értéknövelő felújítása
- A vízellátás biztonságának növelése
- Környezetvédelem: a kibocsátott sóterhelés (halobitás) csökkentése
- Általában: a fajlagos költségek csökkentése

Mint ez jól ismert, az UPCORE[®]- eljárás alapvető jellemzői az alábbiak:

- Az ioncsere ellenáramú
- Az ágy töltésfoka magas
- A kimerítés lefelé, a regenerálás felfelé áramlással történik

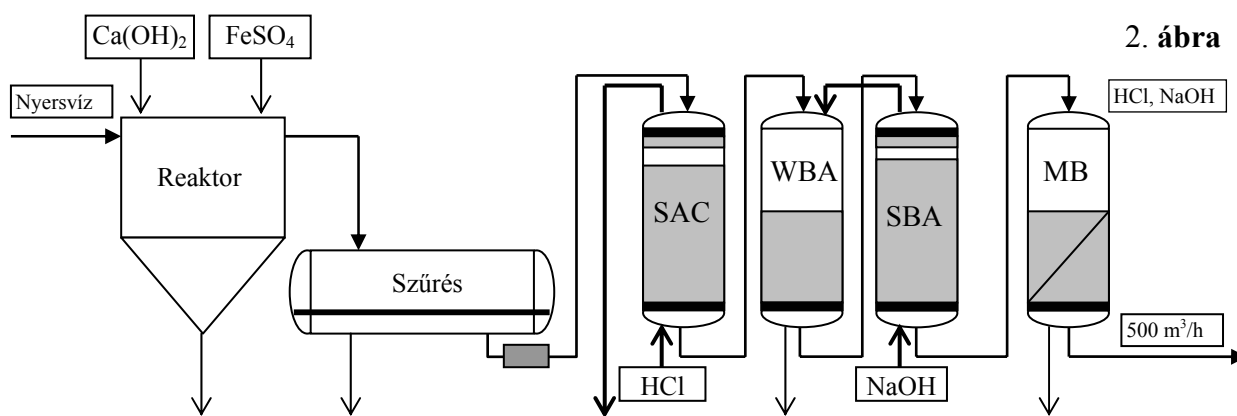
Az UPCORE[®]- eljárás elsősorban abban különbözik a régi ellenáramú eljárásoktól, hogy a gyantaágy felemelkedését **korlátozva bár, de lehetővé teszi** a regenerálást megelőzően. Ez a korlátozás éppen akkora, hogy a hidraulikai anomáliák a gyantaágyban megszűnjenek, de a kémiai rétegsorrend teljes mértékben megmaradjon.

Az ellentétes célok egyidejű kielégítése természetesen csak az összes hidraulikai paraméter, elsősorban a szabadtér-hányad gondos mérnöki tervezésével biztosítható. Az UPCORE[®]- eljárás technológiai lépései az alábbiak:

- Kimerítés
- Kompakció = a gyantaágy gyors felemelése
- Vegszeres regenerálás
- Vegszerkiszorítás (más néven lassúmosás)
- Leültetés
- Utóöblítés (más néven gyorsmosás)

A kompakciós művelet csak ennél a technológiánál létezik. Igen fontos művelet, mert ez alatt történik meg a szennyezések eltávolítása, ezért ezt a műveletet integrált mosatásnak is nevezik.

Nagyon fontos az UPCORE® - eljárás alkalmazása szempontjából, hogy a készülék-konstrukció egyszerű, így a meglévő berendezések rendszerint igen olcsón átalakíthatók erre a technológiára. Az alanti ábrán a módosított technológiai séma látható. A rekonstrukció elsősorban a sótanítót érintette, a dekarbonizáló egység csak kisebb korszerűsítést kapott, pl. a fekvőszűrők átalakítása szűrőlemezese kivitelre, biztonsági kavicsfogók beépítése. A sótanítónál a csővezeteki kapcsolást is meg kellett változtatni - éppen ez jelentette az ellenáramra való áttérést. A 2. ábrán látható, hogy a készülékenkénti ellenáram csak a kationcserélőre és az erősen bázisos anioncserélőre vonatkozik, a gyengén bázisos anioncserélő regenerálása továbbra is egyenáramban történt, az erősen bázisos anioncserélő regenerátumával. Ugyanis a gyengén disszociáló ioncserélő gyanták eleve oly kevés regeneráló vegyszert igényelnek, hogy azt már az ellenáram alkalmazásával sem lehet gazdaságos mértékben tovább csökkenteni



A teljes berendezés 2 db reaktort, 5 db fekvőszűrőt, 4 db sótanító blokkot és 4 db kevertágyast tartalmaz, meg a szükséges tároló és egyéb berendezéseket. Magyarországon kizárólag a blokkkapcsolást alkalmazzuk, tehát a 3 db összetartozó ioncserélő alkot egy blokkot, mely egyidejűleg merül ki. Az UPCORE®-blokk jellemző adatait az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat: Az UPCORE®-rendszer fő tervezési adatai

	ERŐSEN SAVAS KATIONCSERÉLŐ	GYENGÉN BÁZIKUS ANIONCSERÉLŐ	ERŐSEN BÁZIKUS ANIONCSERÉLŐ
Készülék átmérő, mm	2 500	2 500	2 000
Hengeres magasság, mm	3 700	4 200	4 200
Gyantatípus, DOWEX®	Monosphere C-500 UG	MWA-1	Monosphere AI-625 UG
Gyantamennyiség, liter	16 000	10 400	9 600
Inert típusa, DOWEX®	IF-62 UG	Ø	IF-62 UG
Inert mennyisége, liter	2 700	Ø	1 500
Áramlási sebesség, m/h	31	31	48
Regeneráló vegyszer	4% HCl	2 – 4 % NaOH	

A rekonstrukcióval elért eredmények a 2. táblázatban láthatók. A döntő eredmény a vegyszerfelhasználás és a víz-önfogyasztás radikális csökkenése. A rekonstrukció után a sótanítók önköltsége a Tiszai Erőműnél volt Magyarországon a legalacsonyabb. A vízminőség javulása mintegy mellékterméke a rekonstrukciónak. Pl. a kezelt víz vezetőképessége és SiO₂ tartalma gyakorlatilag olyan alacsony, amilyent más esetekben kizárólag kevertágyas technikával lehet elérni. Ez azt eredményezte, hogy a meglévő kevertágyas ioncserélők már csak mint biztonsági szűrők üzemelnek, igen hosszú (kb. 1 hónapos) ciklusidővel.

2. táblázat: Az UPCORE® rendszerrel elért vegyszer-megtakarítások

Jellemző paraméter		Átalakítás előtti érték	Átalakítás utáni	
			Garantált érték	Tényleges érték
Blokkteljesítmény	m ³ /h	115	150	160
Fajlagos savfogyasztás	mol/mol	kb. 3,0	1,3	max. 1,2
Fajlagos lúgfelhasználás	mol/mol	kb. 3,0	1,5	max. 1,2
Fajlagos víz-önfogyasztás				
Kútvíz esetén	%	4,7	Ø	2,1
Folyóvíz esetén	%	7,6	Ø	3,4
Vezetőképesség	µS/cm	kb. 0,4	max. 2,00	kb. 0,1*
SiO ₂ -tartalom	µg/l	max.60	max. 40	kb. 13

* A használatbavétel már 20 µS/cm-nél megkezdődik, a 0,1 µS/cm érték a ciklusidő kb. 70%-ára vonatkozik.

2003 – A MEMBRÁNTECHNIKA BEVEZETÉSE

Egy régi kínai közmondás szerint »A jó legnagyobb ellensége a jobb«. Ez igazolódott be a Tiszai Erőmű esetében is, amikor az Erőmű új tulajdonosa³ 2003-ban az immár közel harminc éves Tisza II. erőmű élettartam növelő rekonstrukcióját (retrofit) indította el. A rekonstrukció része volt a Tisza II. erőmű új, saját vízkezelővel történő ellátása is.

A technológia kiválasztása több lépcsőben, a pályázók versenyeztetése során történt. A pályázatok között szinte minden elképzelhető technológia szerepelt. A győztes membrántechnikai eljárás kiválasztásában a

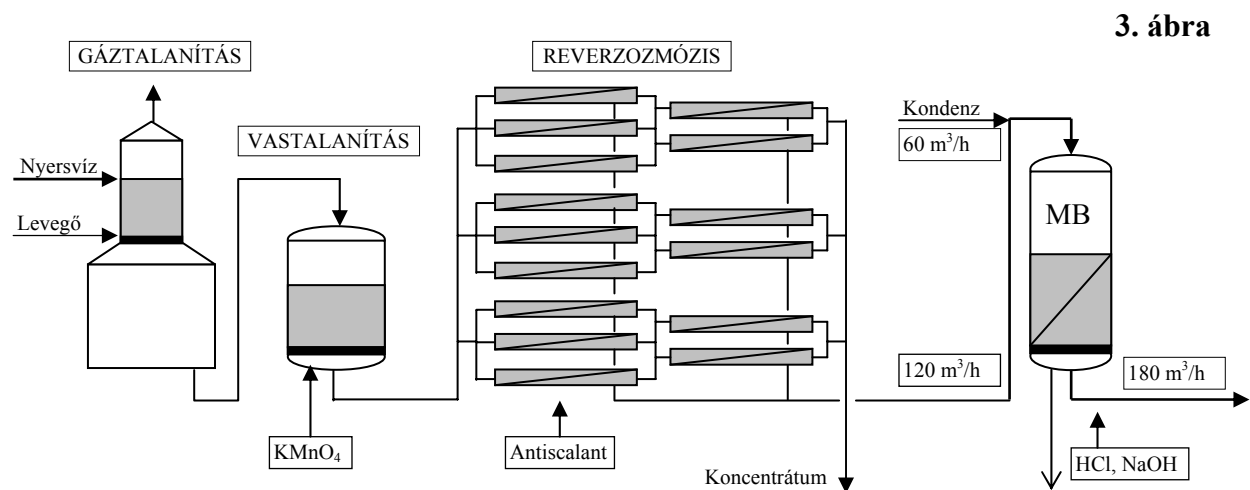
- Beruházási költség
- Vegyszerköltségek
- Környezetvédelmi szempontok

mellett döntő kérdés volt a

- Minimális élőmunka és létszámigény

is, amit a membrántechnika jó automatizálhatósága biztosít. (Ugyanez pl. a meszes eljárásról nem mondható el).

Az új vízkezelő berendezés nyersvize ugyanaz a kútvíz, amit az erőmű évtizedek óta használ fő nyersvízforrásként. Az új vízkezelési technológia a 3. ábra szerint épül fel. Az egyes technológiai lépcsők között természetesen tárolótartályok és szivattyúk helyezkednek el. A rajz nem tükrözi a készülékek darabszámát.



³ AES Tisza Erőmű Kft.

A technológia 1. lépése a gáztalanítás. Erre a kútvíz magas CO₂ tartalma miatt van szükség. Ha nem alkalmaznánk gáztalanítást, a CO₂ teljes mennyiségét a kevertágyasban lévő anioncserélő gyantának kellene eltávolítani, nagy lúgfelhasználással, mert a membránok a CO₂-ra nézve permeábilisek. A CO₂ kihajtása levegővel történik.

A következő technológiai lépés a vas és a mangán eltávolítása. A gáztalanításnál beoldódó oxigén végzi a vas és mangán vegyületek oxidációját. Az oxidáció a nagy aktivitású katalitikus vastalanító tölteten (MTM) megy végbe, mely egyben ki is szűri a vízben oldhatatlan Fe³⁺ és Mn⁴⁺ vegyületeket. A reakció hatásfoka olyan, hogy a szűrő után a szokásos analitikai módszerekkel egyáltalán nem lehet vasat vagy mangánt kimutatni. A katalitikus töltet időszakos reaktíválását 0,5-1,0 %-os KMnO₄ oldattal kell végezni.

Az RO-egység 3 db 2x30 m³/h permeátum-teljesítményű, párhuzamos kapcsolású vonalat tartalmaz. Névleges teljesítmény mellett egyidejűleg 2 vonal üzemel, de szükség esetén mindhárom vonal is üzemelhet egyidejűleg. Az egységek 2 fokozatból épülnek fel, a beépített FILMTEC® BW30-LE-440 típusú membránok száma 3 x 2(15+10), azaz összesen 150 db. A választás azért esett erre a membrántípusra, mert megfelelő sóvisszatartás mellett viszonylag kis nyomáson, alacsony energiafelhasználással üzemel.

Az RO-berendezés betápvizébe folyamatosan antiscalant vegyszert (lerakódásgátló inhibitor) adagolunk, a CaCO₃ kiválásának megelőzésére. Az adagolt mennyiség rendkívül alacsony, mindössze 4 mg/l, ezért a vegyszerköltségek alacsonyan tarthatók.

A biológiai kontamináció megelőzésére sokkoló biocid adagolást használunk, hetenként egyszer, egy órán keresztül. Az adagolt mennyiség 50 mg/l.

A vízkezelés utolsó lépcsőfoka a korábbiakhoz hasonlóan a kevertágyas ioncsere. Az RO-permeátum alacsony sótartalma miatt a vegyszerfelhasználás igen alacsony.

Az új vízkezelő berendezés a szerződéskötés után 1 évvel már üzemelt. A berendezések jelentős része előszerelt állapotban került a helyszínre. Az üzemeltetés PLC-irányítással, teljesen automatikusan történik, állandó kezelő személyzetet nem igényel. Felügyeletét a szomszédos laborban, illetve az erőmű vezénylő termében elhelyezett monitorokon keresztül látják el. Kezelői munkát csak a vegyszerek bekészítése igényel, hetenként egy alkalommal. Az előírt membrántisztításokat (CIP) negyedévenként az erőmű karbantartói végzik.

A berendezés a 2003 végén történt indítás óta üzemzavar, leállás nélkül üzemel. A membránok kifogástalan állapotban vannak, teljesítőképességük az eredetivel megegyező.

A rendszer technológiai elemeinek kémiai teljesítőképességét szemlélteti az alábbi táblázat.

3. táblázat: A membrántechnikai rendszer teljesítőképessége

Analitikai jellemzők		Nyers kútvíz	Gáztalanított kútvíz	Vastalanított kútvíz	RO-permeátum	Kevertágyas után
Vezetőképesség	μS/cm	400 - 600	400 - 600	400 - 600	3,5 – 4,5	0,05 – 0,2
Ca	mval/l	3,0 - 3,8	3,0 - 3,8	3,0 - 3,8	NINCS VIZSGÁLVA	NINCS VIZSGÁLVA
Mg	mval/l	1,7 - 2,2	1,7 - 2,2	1,7 - 2,2		
Hidrogénkarbonát:	mval/l	4,4 - 5,7	4,4 - 5,7	4,4 - 5,7		
Cl ⁻	mval/l	0,14 - 0,56	0,14 - 0,56	0,14 - 0,56		
SO ₄ ⁻	mval/l	0,21 - 1,0	0,21 - 1,0	0,21 - 1,0		
Na	mval/l	0,4 - 0,66	0,4 - 0,66	0,4 - 0,66		
Szilikát	mg/l	19 - 22	19 - 22	19 - 22	1,9 – 2,2	0,005 – 0,02
Szabad CO ₂	mg/l	40 - 60	8 - 9	8 - 9	NINCS VIZSGÁLVA	NINCS VIZSGÁLVA
Fe	mg/l	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	n.d.		
Mn	mg/l	0,3 – 0,8	0,3 – 0,8	n.d.		
pH	egység	7,0 – 7,7	7,5 – 8,2	7,5 – 8,2	7,5 – 8,2	6,5 – 7,0
Hőmérséklet	°C	10 - 14	10 - 14	10 - 14	10 - 14	10 - 14

A kiadott sótalanvízre vállalt és teljesített garanciák láthatók a 4. táblázatban. A garantált paraméterek nagyobb részének mérésére az üzemelő berendezésnél már nincs szükség, csak a vezetőképesség és a szilikát-tartalom áll folyamatos, automatikus kontroll alatt.

4. táblázat: Garantált paraméterek

Megnevezés	Egység	Átlag	Maximum
Összes oldott anyag (TDS)	mg/l	0,025	-
Vezetőképesség	mikroS/cm	0,1	0,2
Szilikát	mg/l	0,01	0,02
Összes vas	mg/l	0,005	0,01
Réz	mg/l	0,005	0,01
Összes szuszpendált anyag	mg/l	0,01	-
Nátrium	mg/l	-	0,02

ÖSSZEFOGLALÁS

Az Erőmű vízkezelésének történetében a műszaki fejlesztések célja mindig a gazdaságosság növelése, a költségcsökkentés volt. Az alábbiakban bemutatjuk a vegyszerfelhasználások és a vegyszerköltségek alakulását az utolsó három technológia esetében. Az összehasonlításra egy modell kútvízminőséget, illetve abból készült, mésszel kezelt vizet használunk, az 5. táblázat szerint. A vegyszerfelhasználást és a mai áron számolt költségeket a 6. táblázat mutatja be.

5. táblázat: A modellvíz összetétele

Analitikai jellemzők		Kút-víz	Mésszel kezelt víz
Ca: kalcium	mval/l	3	0,5
Mg: magnézium	mval/l	2	0,5
Na+K: nátrium, kálium	mval/l	0,5	0,5
ÖSSZES KATION	mval/l	5,5	1,5
SO ₄ : szulfát	mval/l	0,5	0,5
Cl ⁻ : klorid	mval/l	0,3	0,3
Hidrogénkarbonát	mval/l	4,7	0,7
ÖSSZES ANION	mval/l	5,5	1,5

6. táblázat: Fajlagos vegyszerfelhasználások és költségeik

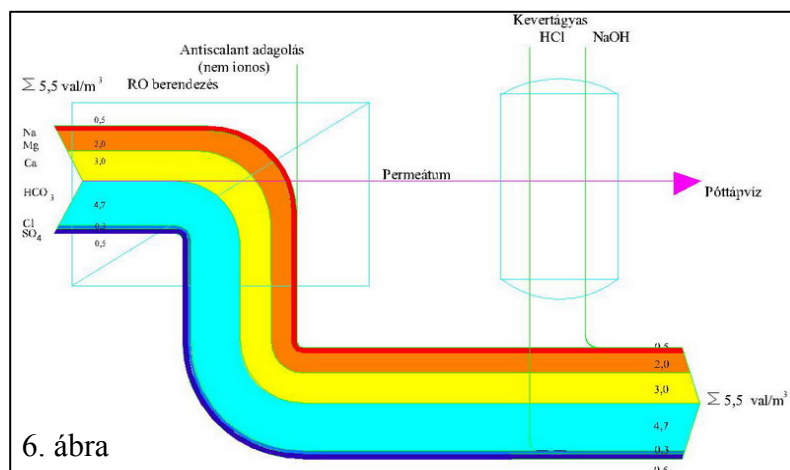
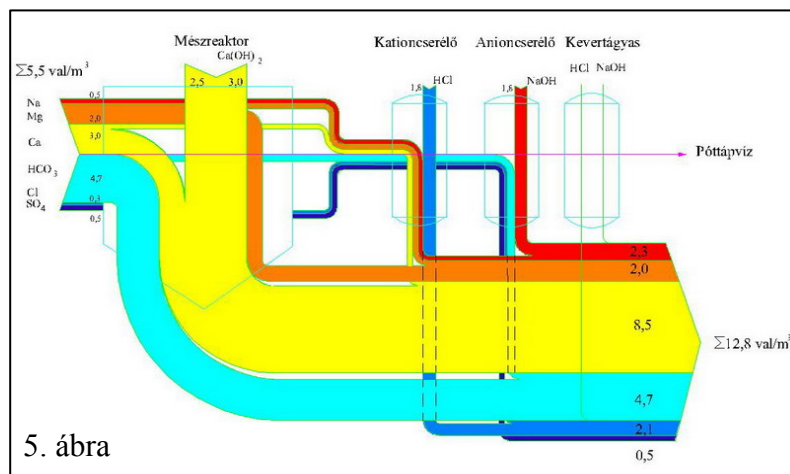
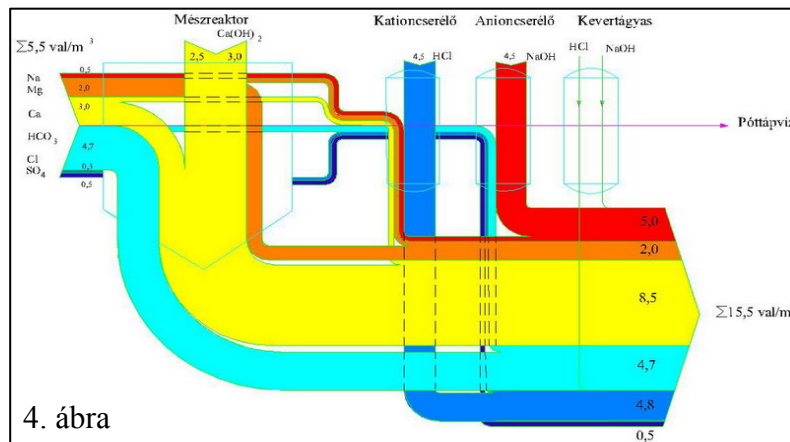
Alkalmazott vegyszerek	Vegyszerárak €/kg	1974, meszes dekarbonizálás + egyenáramú ioncsere + MB		1995, meszes dekarbonizálás + UPCORE® ellenáramú ioncsere + MB		2003, membrántechnikai vízkezelés + MB	
		Vegyszer-fogyasztás kg/1000 m ³	Vegyszer-költség €/1000 m ³	Vegyszer-fogyasztás kg/1000 m ³	Vegyszer-költség €/1000 m ³	Vegyszer-fogyasztás kg/1000 m ³	Vegyszer-költség €/1000 m ³
CaO, 100%	0,10	168	16,80	168	16,80	0	0
FeSO ₄ 7H ₂ O	0,28	35	9,80	35	9,80	0	0
HCl, 100%	0,28	190	53,20	82	22,96	0,006	0,002
NaOH, 100%	0,97	178	173,66	71	68,87	0,009	0,008
KMnO ₄	2,44	0	0	0	0	8,3	20,25
Antiscalant	7,20	0	0	0	0	4,0	28,80
Biocid	19,35	0	0	0	0	0,053	1,03
ÖSSZESEN		-	253,46	-	118,43		40,14

A táblázat meggyőzően szemlélteti az RO-technika gazdasági fölényét a hagyományos eljárásokkal szemben. Ezen az sem változtat, hogy az RO-technika energiafelhasználása (a szivattyúzásra fordított energia miatt) magasabb a meszes + ioncsereelő rendszereknél, jelen esetben az RO egység fajlagos energiafogyasztása 0,47 kWh/m³, ami a hagyományos rendszerekhez képest többletnek tekinthető.

Igen tanulságos a három egymást követő technológia összehasonlítása **környezetvédelmi** szempontból is. A vízkezelő berendezések környezetüket, illetve a befogadókat elsősorban halobitással, a kibocsátott szervesetlen sókkal terhelik. Ez mindig két részből tevődik össze: egy sótalanító berendezés kibocsátja

- egyrészt azt a sótartalmat, amit a nyersvíz eredetileg is tartalmazott,
- másrészt azt a sómennyiséget, mely a felhasznált vegyszerekből képződik.

A vízkezelő berendezések sóháztartása jól összehasonlítható az ionforgalmi Shankey-diagramok használatával. Ezek elkészítéséhez is az 5. táblázat szerinti modell vízösszetételt használtuk fel.



A 4. ábrán látható, hogy a leg-
régibb technológia a nyersvíz
eredeti $5,5 \text{ val/m}^3$ sótartalma
helyett majdnem a háromszoro-
sát, $15,5 \text{ val/m}^3$ sótartalmat⁴ bo-
csát ki a környezetbe. Jó a
rosszban, hogy ennek nagy ré-
sze, a reaktoriszap, $10,5 \text{ val/m}^3$
 CaCO_3 és $\text{Mg}(\text{OH})_2$ csapadék
formájában jelenik meg, ami
szerencsés esetben kinyerhető
és felhasználható. Kedvezőtlen
ugyanakkor az $5,0 \text{ val/m}^3$
mennyiségű többlet sótartalom,
mely egyértelműen káros a kör-
nyezetre.

A sótalánító egység 1995-ös
ellenáramúsítása (5. ábra) érte-
lemszerűen csak az ioncserélő
egység sóháztartására hatott ki,
de ez az eredmény sem lebecsü-
lendő, hiszen az élővizekre és a
termőföldekre éppen a Na^+ és a
 Cl^- ionok a legkárosabbak.

A 6. ábra szemlélteti a memb-
rántechnika döntő fölényét kör-
nyezetvédelmi szempontból:
semmilyen többlet sótartalom
nem kerül a környezetbe. (A
vastalanító KMnO_4 és a kevert-
ágyasok sav-lúg felhasználása
olyan csekély, hogy a diagra-
mon nem ábrázolható).

Ezt úgy is megfogalmazhatjuk,
hogy a membrántechnika azt az
elektromos energiát, melyet ko-
rábban a vegyszerek előállításá-
ra kellett fordítani, (konyhasó
elektrolízis), **közvetlenül és
sokkal jobb hatásokkal** hasz-
nálja fel, mint a vegyszeres eljá-
rások.

⁴ A diagramokon a kimeneti oldalon **látszólag** nem áll fenn a kation-anion egyensúly. Ennek az az oka, hogy az OH^- és a H^+ -ionokat a diagramon nem ábrázoltuk.