



Kutasi Csaba

A nátrium-hidroxid szerepe a szál, a fonal és a készkelme gyártásában

Egyes mesterséges szálak, fonalak előállítása, a készkelmet kialakító kikészítőműveletek során gyakori a nátrium-hidroxid felhasználása. A közkedvelt regenerált cellulózból, a viszkózból gyártott cikkek szálanyagának képzése, döntően a legkülönbébb pamutanyagok előállítása során jelentős vegyi anyag a marónátron. Egyúttal fontos és környezetkímélés szempontjából is szükséges – ahol megoldható – a nátronlúg visszanyerése. A lúgterhelt szennyvizet csak megfelelő mértékű semlegesítés után lehet a közcatornába bocsátani. Egyre jobban előtérbe kerülnek azok a textilipari technológiák, amelyek a nátrium-hidroxid ki-váltására, felhasználásának mérséklésére irányulnak.

A később nátrium-hidroxidnak nevezett anyagot először a szappankészítők próbálták előállítani, a módszer egy korabeli recept részeként a 13. század végén megjelent arab, Jemen királya által összeállított könyvben szerepel. A 20. században a nátrium-klorid elektrolízise vált a nátrium-hidroxid előállításának elsődleges módszerévé. 2021-ben a (szilárd) nátrium-hidroxid legnagyobb exportőrei a következők voltak: Kína (38,7 millió t), Európai Unió (13,5 millió t), India (15,9 millió t), Oroszország (7,8 millió t), Lengyelország (8,8 millió t).

Néhány szó a nátrium-hidroxidról

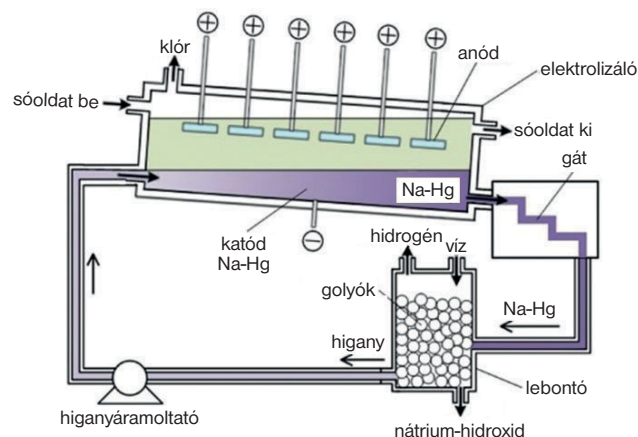
A nátrium-hidroxid (marónátron, nátronlúg, lúgkő, zsírszóda, marószóda, marólúg – NaOH) erősen korrozív bázis, amely környezeti hőmérsékleten lebontja a fehérjéket (súlyos kémiai égési sérüléseket okozhat). Vízben jól oldódik, könnyen felveszi a levegőből a nedvességet (higroszkópos) és a szén-dioxidot. A NaOH · H₂O monohidrát 12,3–61,8 °C-os vizes oldatokból kristályosodik ki. A kereskedelemben kapható nátrium-hidroxid is monohidrát. A nátrium-hidroxidot a textiliparon kívül számos iparágban használják (pl. papírgyártás, szappanok és tisztítószerek előállítása stb.).

A nátrium-hidroxid előállítása

A klór előállítására alkalmas (higanyos, diafragmás, membrános) eljárások között abban van különbség, hogy milyen módon oldják meg az anódon képződő klór és a katódon keletkező lúg (nátrium-hidroxid) és hidrogén elválasztását.

A *higanyos* eljárásnál a hidrogén túlfeszültsége nagy a higanyon, ezért nátrium keletkezik az elektrolízis során. A sóban lévő szennyezések azonban csökkenthetik a túlfeszültséget, emiatt hidrogén válhat le a higanykatódra, és ha a klórgázba kerül, veszélyes robbanó elegy képződhet. Az elektrolizáló cellában sűrűn

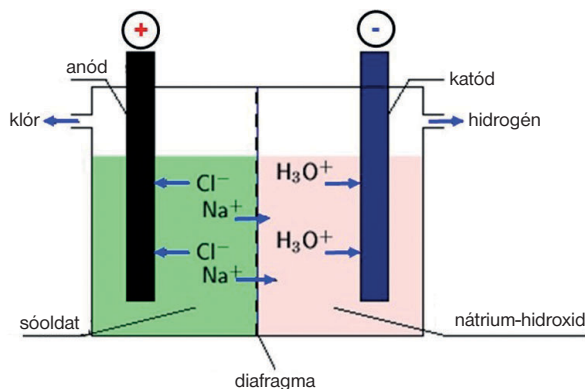
helyezkednek el a titán fémanódok. A sóoldat és a higany a kamra vékonyabb oldalán lép be, a higany biztosítja a katódot (a képződött klórgáz kibuborékol és elvezetik). A keletkezett fémnátrium híg amalgámot képez a higanyval és a felszabaduló hidrogén is idekerül. A bontócellába kerülő amalgám a grafitkatalizátorokon – a hígítóvíz hatására – elbomlik és a fémnátrium a vízzel reagálva nátrium-hidroxidot képez hidrogén keletkezése mellett (1. ábra).



1. ábra. Higanyos klór- és nátrium-hidroxid-előállítás

A *diafragmacellás* eljárás során az anód- és a katódtér között krizotil-azbesztes diafragma képez válaszfalat (ez gátolja meg, hogy az oxidálódott klór a redukálódott hidrogénnel klórdurranógázzá alakuljon és/vagy nátrium-hipoklorit képződjön). A diafragmás elektrolízisnél a sóoldat az anódtérnél lép be, áthalad

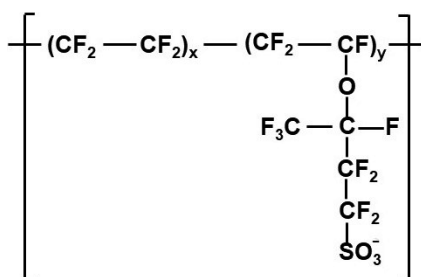
2. ábra. Diafragmás klór- és nátrium-hidroxid-előállítás





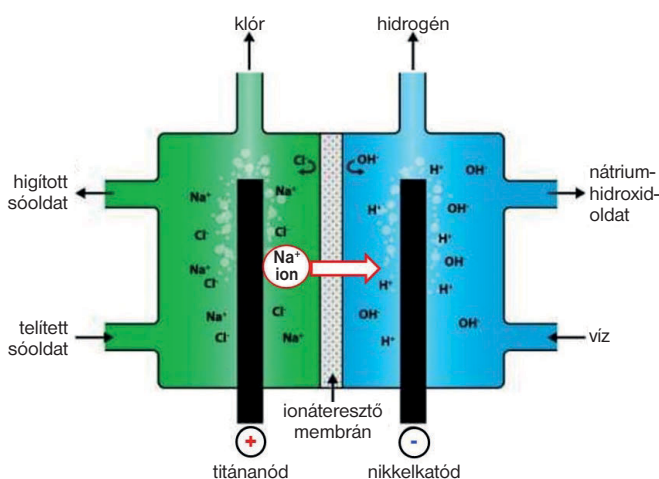
a diafragmán és felhígulva nátrium-hidroxiddal keverten lép ki a katódtérnél (klórgáz képződik az anódtérben, hidrogéngáz a katódtérben). Az áramlás miatt a hidrogéngáz nem kerül át az anódtérbe és a hidroxid nem jut át az anódtérbe. A nagyobb oldhatóságú nátrium-hidroxidot bepárlással választják el a nátrium-kloridtól. Az anódtérbe került sólehez adagolt sósav akadályozza a hidroxidionok visszavándorlását és visszaszorítja a hipoklóros-sav keletkezését (2. ábra).

A korábbi *grafitanódos* cellákban a grafit-szemcsék okozta eltömődés miatt a diafragma kb. három hónapot követően alkalmatlanul vált. A fémanód használatával a diafragma élettartama meghaladta az egy évet. Több évtizede a tiszta azbesztdiafragmák helyett már a *fluorkarbon-szálat* tartalmazó azbesztdiafragmákat alkalmaznak. A Nafion™ diafragma perfluorozott száakkal erősített polimerből áll, amelyen a katódos oldali rétegben karboxil-, az anódos oldalon szulfonsav-csoportokat építettek be (3. ábra).



3. ábra.
A perfluorozott
száakkal erősített
Nafion™ membrán
felépítése

A membrános elektrolízáláskor az anódot és a katódot vízzá-
ró, ugyanakkor ionvezető membrán választja el. Az anódtérben
áramló sóoldatban a kloridionok klórrá oxidálódnak. A nátri-
umionok a membránon keresztül a katódtérbe kerülnek, ahol
lúgoldat áramlik. A bevezetett ionmentes vízből hidrogén- és
hidroxidionok keletkeznek, utóbbiak a nátriumionokkal 32–35
m/m%-os töménységű nátronlúgot képeznek. A kimerült só-
oldatot szilárd nátrium-klorid hozzáadásával koncentrálik, a lú-
goldatot bepárlással töményítik. A katód anyaga katalitikus be-
vonatú nikkellal, ill. saválló acél. Az anód titán, nemesfém-oxid be-
vonatúval ellátva (4. ábra).



4. ábra. Membrános klór- és nátrium-hidroxid-előállítás

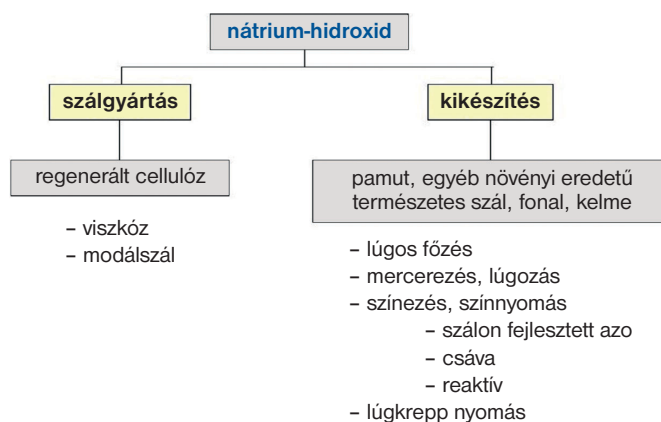
Az ioncserélő membrán biztosítja, hogy az anódtérbe befolyó
sóoldatból a Na^+ -ionok egy kevés vízzel együtt átjussanak a ka-
tódtérbe, ugyanakkor a kloridionok és a klórgáz nem jut át (a
katódtérben keletkező OH^- -ionok sem kerülnek át az anódtérbe).
Az anódtérben klórgáz, a katódtérben hidrogéngáz képződik.

A telített sóoldat alul lép be az anódtérbe, és felül lép ki a felhí-
gult oldat. A membrán átteresztőképességének megőrzésére a
 Ca^{2+} - és Mg^{2+} -ionokat csapadék formájában, szűréssel eltávolít-
ják vagy kationcserével tisztítják.

Hazánkban főleg *higanykatódos* és *membrán-cellás elektrolí-
zissal* működő technológiákkal gyártottak, illetve tudnak klórt és
nátrium-hidroxidot előállítani.

A nátrium-hidroxid alkalmazása a textilgyártásban

Bizonyára nem gondolnánk arra, hogy a régóta közkedvelt visz-
kóz szálanyag (blúz, nyári ruha stb.) képzésénél, továbbá min-
den pamutszövet továbbfeldolgozásának és rendeltetésre alkal-
massá tételének alapfeltétele a fehérítési műveletsorban a lúgos
főzés folyamata, amivel többek között a nedvesedést gátló pa-
mutviaszt távolítják el. Szintén elengedhetetlen a mercerezési
technológia, ha például fényes pamut hímzőfonal/cérna vagy de-
koratív szatén ágyneműhuzat előállítása a cél. Amennyiben élénk
színű (egyszínű és mintás) pamutanyagok gyártására kerül sor,
az erre legjobban alkalmas reaktív színezékek lúgos közegben kö-
tődnek tartósan a cellulózszálon. Végezetül a sokak által kedvelt
tisztá pamut alapanyagú, krepplátású, vasalást nem igénylő ág-
yneműk kelméjét a nátronlúg csíkokban történő felvitelével érik el
(5. ábra).



5. ábra A nátrium-hidroxid felhasználása
a textilgyártás során

A regeneráltcellulóz-alapú viszkózból készült szál előállítása

A természetből származó faalapanyag mechanikai és vegyi feltá-
rása a cellulózüzemben történik. A fában megtalálható hemicel-
lulóz, pektin és lignin eltávolítását általában kalcium-szulfitos ke-
zeléssel és fehérítéssel végzik. Az így előkészített alapanyag lapok
vagy tekercsek alakjában kerül a szálgártó üzembe, és 86–89%-os
cellulóztartalmú.

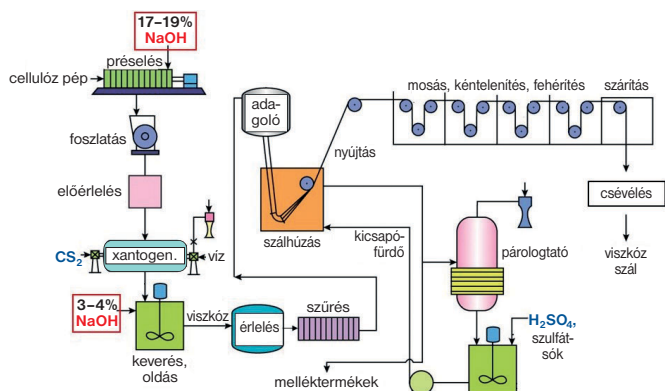
Az így nyert cellulóztételeket keverés után *nátrium-hidroxid-
dal* telítik és kipréselik: kialakul a cellulóz-nátrium. Az így kép-
ződött anyag finomra aprítása és levegőn végzett érlelése után
szén-diszulfidos (CS_2) kezeléssel alakul ki a cellulóz-xantogenát,
amely híg nátronlúgban feloldható.

Minden mesterséges szál előállításánál a rendelkezésre álló szil-
árd polimert folyékonyra kell alakítani. Miután a cellulóz nem
termoplasztikus, oldásra van lehetőség. Viszont a *réz-oxid-ammó-
niák* (rész-tetramin-hidroxid) oldószer rendkívül drága, nagyüze-
mi alkalmazása nehézkes, így eleve előnytelen.

A narancssárga cellulóz-xantogenát nátronlúgos oldásával
mézhez hasonló, *viszkózus* anyag keletkezik (innen az elnevezés),



ami utóérlelés után szálképzésre alkalmas. A megfelelő sűrűségű légtelenített anyagot átréselik a szálképző fejen, amely a kénsavat és valamilyen szulfátot (nátrium, cink, magnézium, ammónium) tartalmazó kicsapófürdő felszíne alatt helyezkedik el. A szálképző lemez apró nyílásain kisajtott képződmények koagulálva hidrát-cellulóz szálakként szilárdulnak meg (6. ábra).



6. ábra. A viszkózszál gyártásának menete

A nátrium-hidroxid felhasználása egyes kikészítő műveleteknél

Lúgos főzés

A lúgos főzéssel a pamut természetes szennyezőanyagai közül a nedvesedést gátló pamutviasz elszappanosítása, az esetleges maghéjak elroncsolása, a fehérje-kísérőanyagok lebontása történik. Pamutfonalak és pamutkelmek lúgos főzéséhez 1 kg textíliára számítva 30 g szilárd nátrium-hidroxidot használnak fel. Ma már az ún. telítési-pihentetési eljárásokat alkalmazzák. A szövetet köteg alakban vagy széles állapotban telítik a megfelelő nedvesítőszeres lúggoldattal, majd szabályozottan kipréselik.

Széles állapotban történő lúgosfőzésre egyrészt a félfolyamatos pad-roll eljárást (telítés, előmelegítés, majd a feltekercselt szövet pihentetése fűthető terű zárt kamrában) alkalmazzák.

Mercerezés, lúgozás

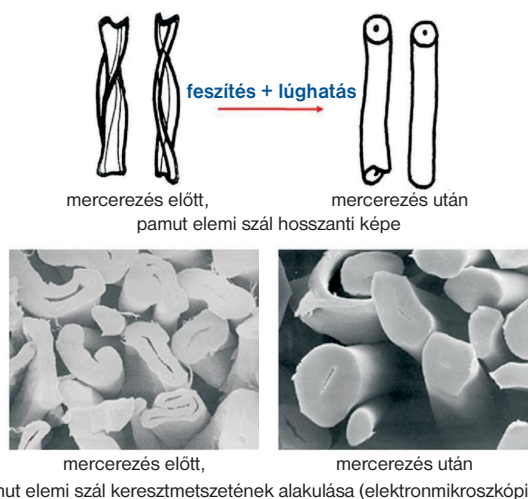
A feszítés közben végrehajtott tömény hideg nátrium-hidroxidos kezelést nevezik *mercerezésnek*. A megfelelő körülményű lúghatás duzzasztja a pamutszálat, növeli a színezékfelvételt, fokozza a szilárdságot, reakcióképesebbé és hozzáférhetőbbé teszi a cellulózt (pl. a reaktív színezékek és műgyanták befogadását, kötődését nagyban segítve). A mercerezés tartós *selyemfényhatást* kölcsönöz a pamutszálaknak – a szalagszerű és csavarodott szál közel hengeres lesz, fényvisszaverő képessége megnő –, így a belőlük készült termékeknek is.

A fonalakat *motring* alakban mercerezik. A szövetek mercerezését feszítőláncos vagy hengeres mercerezőgépen végzik. Ezek a lúghatás közbeni *feszítés* előidézésében különböznek. A kisebb helyigényű hengeres mercerezőgépek terjedtek el jobban. A mercerezést 28–32 °Be (267–328 g/l) töménységű nátronlúggoldattal végzik (7. ábra).

A feszítés nélküli lúgozással sűrűbb szövetszerkezet, színezékfelvétel-növekedés, fokozott szilárdság és nagyobb reakcióképesség érhető el, viszont fényesség nem alakul ki.

Lúgkrepennyomás

A hamiskrepp-eljárásoknál a rendeltetésnek megfelelő szövet homogén fonalakból és például egyszerű vászon alapkötéssel ké-

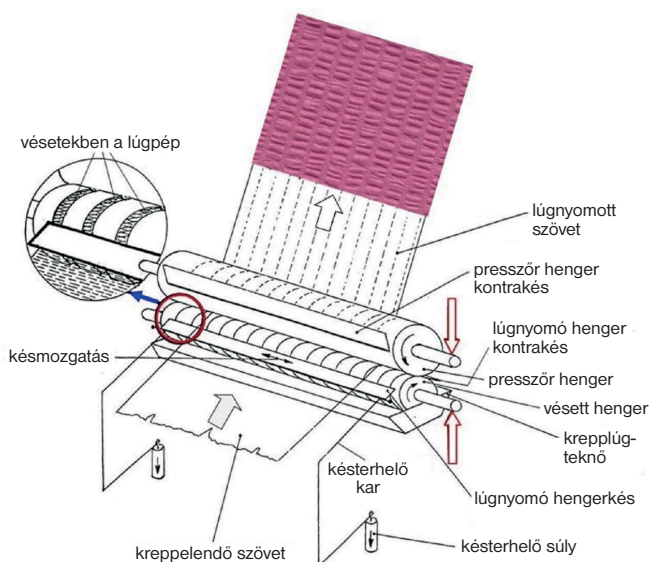


7. ábra. A mercerezés hatása a pamut elemi szálakra

szül, teljes kikészítésre kerül. Ezután a részleges kelmerészeket duzzasztva, egyéb módon deformálva alakul ki a kívánt felületmódosítás (ez a hatás tartós; nagyszámú mosás következtében sem gyengül a kreppjelleg).

A lúgkrepennyomás során a ritkább beállítású, könnyű félkész (színezett, nyomással mintázott, tarkán szőtt) pamutszövetre láncirányú csíkokban sűrítővel vastagított, nagy koncentrációjú nátronlúgot nyomnak fel. Ennek az ún. lúgpépnek a fő összetevője a 38 °Be-s (kb. 440 g/l szilárdanyag-tartalmú) nátrium-hidroxid-oldat, amit keményítő-éter sűrítővel alakítanak ki. A lúgnomott szövetrészek duzzadnak, zsugorodnak (fonalsűrűségük szabad szemmel láthatóan megnő), így a lúgcsíkok mentén fellépő összehúzó erők a nem lúgozott kelmefelületeket tartósan fodrosítják.

A lúgnomott szövet lassan mozgó pihentetőszalagon halad tovább, majd kötegmosás során eltávolítják a lúg- és sűrítőmaradványt, végül semlegesítik a terméket. A folyamat jelentős szennyvíz-lúgterheléssel jár (8. ábra).



8. ábra. A lúgkrepennyomás elve

Színezés, színnyomás

A reaktív színezékek lúgos közegben kémiai (kovalens) kötéssel kapcsolódnak a cellulóz alkalmas hidroxidcsoportjaihoz. A lúgos kémhatású anyagok a kémiai reakció során képződő savas vegyületeket megkötik és nukleofilá teszik a szálanyagot. Szabad



alkáliaként a kis reakcióképességű színezékek esetében alkalmaznak nátrium-hidroxidot.

A szálon fejlesztett aszinszínezékek esetében az alapozó naftol-komponens (színezék-félkésztermék) oldása (nátriumsó képzése, naftoltá alakítása) mind a meleg, mind a hideg oldási eljárásnál nátrium-hidroxiddal történik. A naftolát felvittele után a diazotált bázis kapcsolókomponens hatására alakul ki a szál belsejében a vízben oldhatatlan színes azopigment. Ez az eljárást a színezésnél és a színnyomásnál egyaránt alkalmazható.

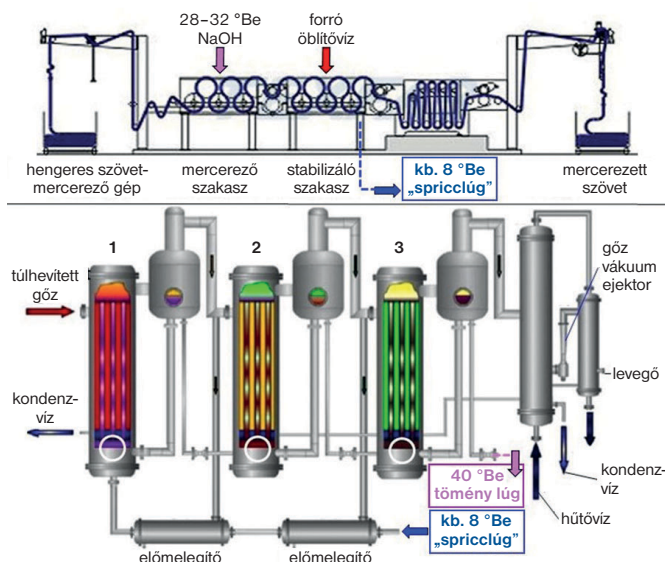
A csávaszínezékek (csávapigment) vízben közvetlenül nem oldódnak, így a cellulózalapú szálak színezésére lúgos redukcióval átmenetileg vízdoldhatóvá (leukovegyület) kell alakítani (csávázás). A színezék nátrium-ditionittal redukálva csávasavvá alakul, majd nátrium-hidroxidos közegben nátriumsóként válik vízdoldhatóvá. A szálba behatolt változatból oxidáció hatására alakul ki a vízben nem oldódó csávapigment.

Lúgvisszanyerés

Ennek elérésére a szövetmercerező gépen stabilizáló szakaszban keletkező, ún. spricclúg visszanyeréséhez az oldatot forráspontig melegítik, a forrásban keletkező gőzöket hőcserélővel folyadék felmelegítésére hasznosítják. A hígított lúgot száraz mercerezés (száritott kelme kezelése) 250–300 g/l-re, nedves mercerezés során 450–500 g/l-re töményítik. A szűrőegységben a szuszpendált részecskéket, pelyheket és egyéb hulladékokat ezután kiszűrik. A kondenzvíz-fűtésből származó gyors gőzt használják fel a mosófolyadék előmelegítésére. A gőz-lúg keverékből a gőz elválik és belép a második fokozatú egységbe (a vákuumszivattyú segítségével elért nyomáscsökkenés generálja a forráshatást). A nyomáskülönbség miatt a koncentrált folyadék belép a második fűtőbe, ahol közvetetten érintkezik a keletkezett gőzzel (a folyamat ezután megismétlődik). Ezt követően a töményített lúgot tárolják vagy még finomítják. A nátronlúg-visszanyerő rendszer utolsó szakaszában a keletkező gőzt kondenzálni kell. Ezt forró vízzel vagy adiabatikus elpárologtató rendszerrel végzik.

A forrásban lévő vízben a felületaktív anyagok – szinte minden textilipari folyamatban jelen vannak – habzást okozhatnak. Ennek megfelelően membránalapú kinyerési módszereket is kidolgoztak a mercerizálóból kikerülő szennyvizek esetében. A membránvisszanyerő rendszerben a módszer átdiffundáló anya-

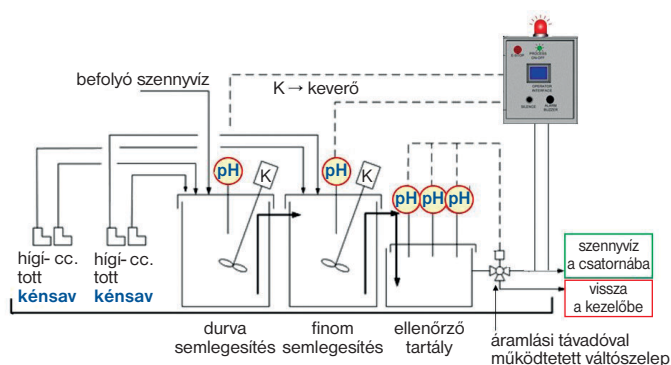
9. ábra. Lúgvisszanyerés bepárlással



got hoz létre, amelyet egy következő elpárologtatási szakasz követ. Ez a módszer azonban nem biztosítja a szennyvizekből a lúg 100%-os kinyerését (9. ábra).

Szennyvízkezelés

A pamutipari kikészítőüzemi szennyvíz lúgterhelése *automatikus semlegesítő* rendszerrel csökkenthető a közcsatornába vezethetőség határértéke alá. Egy folyamatos működésű *kétfokozatú kezelőrendszer* speciális adagolószivattyúból, ipari keverőkből, intelligens érzékelő elektronikákból (pH/ORP szenzor), távadókból, áramlási távadóval működtetett váltószelepből, programozható logikai vezérlőből (PCL), ember-gép felületből (HMI) és adatrögzítőből épül fel. A kezelendő szennyvíz először a durva semlegesítő medencébe (tömény ásványi savas elősemlegesítés), majd a finom közömbösítő térbe (hígított sav befecskendezése) kerül. A végső felügyeleti tartályban végzett automata kontrollok után továbbítható a szennyvíz a közcsatornába (nem megfelelés esetén visszakerül a kezelőtérbe) (10. ábra).



10. ábra. Automatikus, kétfokozatú szennyvíz-semlegesítő

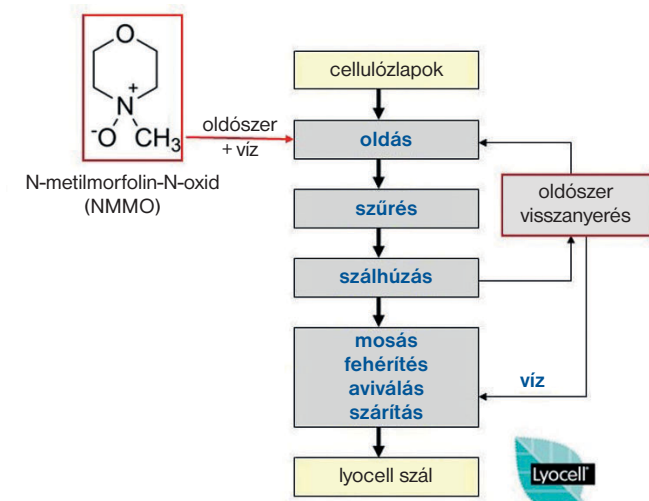
Megjegyzés: A textilipari szennyvíz terhelőtényezőit képezi még többek között a szervesanyagok okozta *oxigénigény* (KOI, BOI), a *detergens- és sótartalom*, a *lebegőanyag* (elemiszál-darabkák stb.) mértéke, a *nehézfém* előfordulása (ezek határérték alá csökkentése is a szennyvízkezelés feladata).

A nátrium-hidroxid szálgyártó- és textilipari kiváltása, felhasználásának mérséklése

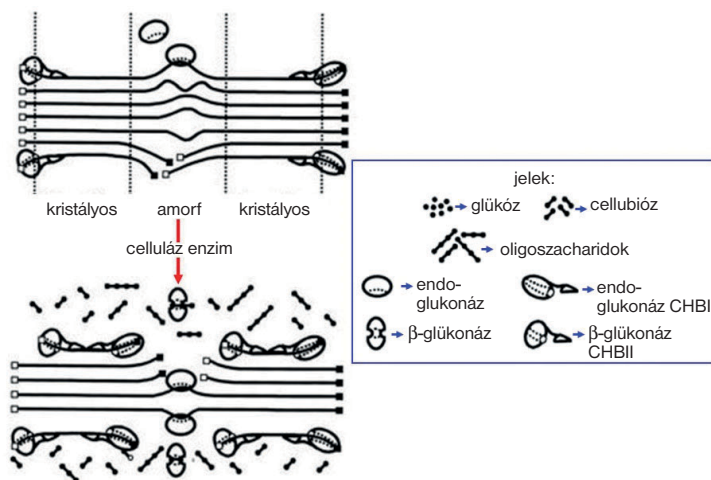
A nátrium-hidroxid előállításával járó környezetterhelő hatás, a szál- és kelmegártásokkal kapcsolatos nátronlúg felhasználásának mérséklésére több módszer ismert.

Példaként szolgál a *lyocell*, amely szintén regeneráltcellulóz-alapú szál, ugyanakkor környezetkímélő módon, speciális oldószeres eljárással (nátrium-hidroxid, szén-diszulfid és kénsav nélkül) állítják elő. Puha fogású, a viszkóznál is jobb nedvszívó képességű, száraz és nedves szilárdsága egyaránt megfelelő. Az ebből készült termék kevésbé gyűrődik, mint a viszkóz alapanyagú, kedvező a nedvességfelvétel és nedvességleadóképessége, ami nanofibrillás szálszerkezetéből ered (11. ábra).

A pamutkelmék *fehérítési* részfolyamatainál a természetes és a feldolgozás során szerzett szennyeződések és kísérőanyagok *enzimatis* eltávolítása is előtérbe kerül. A nyersszövetekben előforduló, az elemi szálakkal és a szövetszerkezettel tartósan kötött *maghéjak* eltávolítása az elterjedt nátronlúgos eljárásokkal kisebb hatékonyságú. A maghéj anyagát képező *lignin-holocellulóz* megbontása összetett folyamat, az optimálisan alkalmazott celluláz-enzimes kezeléssel fokozható. A kombinált enzimes (a celluláz mellett pektináz-, ill. xilanáz alkalmazásával) pamutkelme



11. ábra. A lyocell szál egyszerűsített gyártási folyamatábrája



12. ábra. A lignin enzimes bontása

előkészítő művelettel a hatékonysága növelhető. Az enzimes pamutszövet-előkészítéssel a szennyvíz szervesanyag-tartalma (oxigénfogyasztás) is mérsékelhető. Egyúttal nemcsak a vegyszerigény csökken, hanem a fajlagos energiafelhasználás is nagyságrenddel kisebb (12. ábra).

A pamutfonalak és -szövetek *mercerezés jellegű* folyamata végezhető *flyékony ammóniával* is. Ez kisebb molekulamérete miatt jobban be tud hatolni a pamutszálak belsejébe, mint a nátronlúg. A rövid idejű kezelés (kb. 10 s) után hatékony kiperéselésre kerül sor, vákuum alkalmazásával döntően visszanyerhető az ammónia, visszamaradó része elpárolgatható. Az eljárásnál különböző mértékű feszítést alkalmaznak vagy enélkül végzik. Hatására a használati méretváltozás csökken, a műgyantás gyűrődésfeloldódásnál fokozódik a rugalmas visszaalakuló képesség.

A *kreppelt pamutszövetek* előállításakor a lúgkreppnyomást igyekeznek úgy kiváltani, hogy speciális sodratú fonalakkal és *egydi szövés* technikával ne kerüljön sor a nátronlúg használatára.

IRODALOM

- https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_hydroxide
- <https://www.petranaftco.com/caustic-soda-in-textile-industry/>
- <https://watermanaustralia.com/recovery-of-caustic-soda-naoh-in-textile-industry/>
- <https://docplayer.hu/35371318-Klor-alkali-elektrolizis.html>
- <https://www.essentialchemicalindustry.org/chemicals/sodium-hydroxide.html>
- <http://www.muszeroldal.hu/download/Mi%20hatarozza%20meg%20a%20pH%20meres%20pontossagat.pdf>
- Rusznák István (szerk): Textilkémia II., Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
- Dienes Dóra: Enzimológia – celluláz enzimek, BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszer tudományi Tanszék, 2010.

A hazai energiaszektor feladatai

Az Energiaügyi Minisztérium, az MVM és a Magyar Elektrotechnikai Egyesület szeptemberi sajtótájékoztatóján a résztvevők egyetértettek abban, hogy a hazai energetika előtt álló fő feladat a következő időszakban a villamosenergia-termelési és -tárolási portfólió diverzifikációja, a villamoshálózat fejlesztése és a zöld energiához kapcsolódó szabályozási környezet, illetve ösztönzők átdolgozása lesz.

Az eseményen emellett szóba kerültek a rendszerszabályozási feladatok, az importfüggőség csökkentése és az okoshálózatok

penetrációjának növelése. A sajtótájékoztató résztvevői ezenkívül kitértek az energiaközösségek kérdéskörére, a szélenergia felhasználásának lehetőségeire és a hálózati kapacitásfejlesztés szükségességére is. Steiner Attila, az Energiaügyi Minisztérium energetikáért felelős államtitkára rámutatott, hogy a kormányzati támogatások révén 2023 és 2026 között több mint 300 milliárd forintnyi forrás jut hálózatfejlesztési beruházásokra, alállomások és távvezetékek építésére, kapacitásbővítésre. A családokat és vállalkozásokat összesen 230 milliárd forinttal segítik energiátárolók telepítésében.

Bally Attila, az MVM Zrt. infrastruktúra vezérigazgató-helyettese elmondta: „Az MVM Csoport felelőssége ma messze túlmutat a hagyományos energiatermelésen. Stratégiai célkitűzéseinkkel összhangban, a megújuló kapacitások növelésével párhuzamosan átfogó hálózatfejlesztéseket hajtunk végre annak érdekében, hogy a villamosenergia-ellátás biztonsága minden körülmények között garantált legyen. Ezek a fejlesztések egyben a rugalmasság növelését és a legmodernebb energiátárolási technológiák hatékony alkalmazását is szolgálják. Meggyőződésem, hogy a következő években az lesz a siker kulcsa, hogy ki tudja a leggyorsabban összekapcsolni a technológiai innovációt az ellátásbiztonság és a fenntarthatóság követelményeivel.”

(https://mvm.hu/hu-HU/Media/MediaTartalmak/Hirek/20250923_MVM_MEE)

