



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR**

Aktív szerek a víztisztításban

Készítette:

Bulátkó Anna

2019. november 11.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. Az aktív szén módosításának lehetőségei	2
2.1. Savas eljárás.....	2
2.2. Lúgos eljárás	3
2.3. Impregnálás.....	5
2.4. Mikrohullámú eljárás	7
2.5. Ózonos eljárás.....	8
2.6. Plazma eljárás	9
2.7. Felületmódosított aktív szenek	11
2.8. Biológiai módosítás	12
3. Költségek becslése	12
Irodalomjegyzék.....	13

1. Bevezetés

Az aktív szén a legrégebben és legelterjedtebben alkalmazott adszorbens víztisztításra, valamint szennyvízkezelésre. Különböző széntartalmú anyagokból állítják elő, készülhet fából, szénből, műanyagból vagy csonthéjas gyümölcsökből, például kókuszdióból. Nagy fajlagos felületének, magas porozitásának, és hierarchikus pórusszerkezetének (mikro-, mezo- és makropórusokat is tartalmaz) köszönhetően kiemelkedő a megkötőképessége, ezáltal széleskörűen felhasználható adszorbensként. A szén mellett jelentős mennyiségű oxigént, hidrogént, ként és nitrogént tartalmaz, funkciók csoportokként vagy atomosan kötve. A felületen lévő funkciók csoportok képesek megkötni a szennyező anyag molekuláit, ezért is fontos, hogy az aktiválás során célspecifikus funkciók csoportokat alakítsunk ki a pórusok felületén.

Az eltérő alkalmazási területek, valamint a megkötni kívánt vízszennyezők (szerves vagy szervetlen) különböző felületi tulajdonságú és pórusszerkezetű szeneket igényelnek. Ezeket a tulajdonságokat a szén aktiválásának módja, valamint a kiindulási anyag szerkezete határozza meg. Napjainkban is számos kutatás irányul arra, hogyan lehet különböző prekursor anyagokból, különböző módszerekkel olyan felületmódosított aktív szenet gyártani, mely szelektíven szűr ki szennyezőanyagokat, főként vízszennyezőket célozva meg^[1].

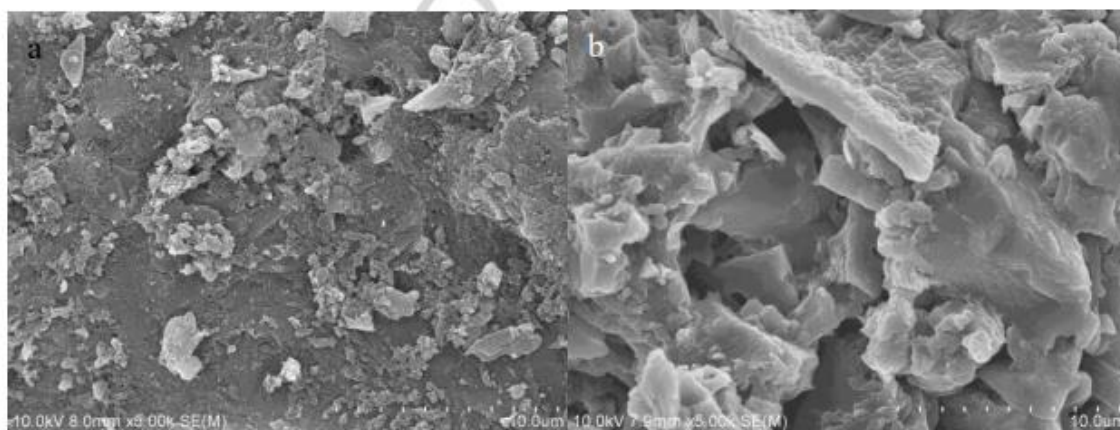
2. Az aktív szén módosításának lehetőségei

2.1. Savas eljárás

Az eljárás célja a porózus szén oxidációja a felületen, aminek következtében nő a savasság, valamint a felület hidrofilitása. A célra leginkább salétromsavat vagy sósavat használnak.

A nem módosított aktív szén sokkal hatékonyabban köti meg a szerves szennyezőket, mint a fémeket vagy egyéb szervetlen anyagokat. Azonban a szén felületén kialakított savas funkciók csoportok (proton donorok) segítségével a nehézfémek eltávolíthatóak a vízből, köszönhetően annak, hogy a vízben lévő fém ionok szívesen alakítanak ki fémkomplexeket a negatívan töltött savcsoportokkal. A toxikus nehézfémek szűrése különösen az ivóvízből fontos, hiszen ezek az emberi szervezetből nagyon lassan ürülnek, felhalmozódnak a szervekben. A legfontosabb feladat azon fémek kiszűrése, melyeket a szervezet nem hasznosít, nincs biológia szerepük, ilyen a higany, az ólom és a kadmium^[1].

Kadmium színes műanyagokból, festékekből kerülhet a környezetbe, innen pedig a vizekbe. A szervezetbe kerülve károsítja a májat, a veséket és az emésztőrendszert. Bian és társai kutatásuk során a savasan kezelt aktív szén kadmium-megkötését vizsgálták. SEM-felvételek alapján a salétromsavval kezelt szén sokkal kevesebb szennyezőt tartalmazott, mint az eredeti szénminta, valamint jelentősen nőtt a pórusok száma. Emellett megváltozott a minta összetétele is, az eredetileg kimutatott 90,6 % szén és 9,1 % oxigén arány 65,6 % szén és 33,9 % oxigén arányra módosult. Ez arra enged következtetni, hogy a salétromsavas kezelés hatására oxigéntartalmú csoportok alakultak ki. FT-IR spektroszkópia segítségével bizonyították, hogy a kezelés hatására jelentősen megnőtt a karboxil- és karboxilát-csoportok mennyisége, ezzel együtt pedig a szén megkötési képessége a kadmiumra nézve^[2].



1. ábra: Eredeti aktív szén (a) és salétromsavval kezelt aktív szén (b) felületéről készült SEM-felvételek

Nehézfémek eltávolítása mellett különböző festékek kiszűrésének lehetőségeit is intenzíven kutatják. Aljeboree különböző festékmolekulák megkötődését vizsgálta, textilipari szennyvízből. Egy élelmiszeripari hulladékból, kókuszdióból, kénsavas aktiválással készítették el az aktív szenet. A 110 °C-on szárított prekursor anyagot 500 °C-on karbonizálták, hűtés után kénsavval kezelték, ismét szárították, majd 600 °C-on aktiválták. Ezután az adszorpciót követően pásztázó elektronmikroszkóppal és FT-IR spektroszkópiás mérésekkel vizsgálták a szenet. A SEM-felvételeken az látszik, hogy a festékmolekulák egy filmréteget képeznek a szén felületén, elfedve annak morfológiáját. Az FT-IR spektrumban az adszorpció után nem tolódtak el a különböző funkciós csoportokra jellemző csúcsok, vagyis nem történt reakció, csak a csúcsok intenzitása nőtt meg. A két vizsgálat eredményei alapján arra következtettek, hogy a nagy festékmolekulák fiziszorpcióval kötődtek a felülethez^[3].

2.2. Lúgos eljárás

Aktív szenek lúgos kezelésével pozitív töltésű felületet hozunk létre, mely alkalmas nagy mennyiségű negatív töltésű komponens megkötésére a vízből. A legegyszerűbb eljárás bázikus felületű aktív szén előállítására, ha magas hőmérsékleten, inert, hidrogén vagy ammónia atmoszférában kezeljük, amikor is 400-600 °C-on különböző aromás aminok és protonált amidok keletkeznek. A nitrogén-tartalmú csoportok felelősek a bázikus tulajdonságokért, melyekhez savas csoportok kapcsolódhatnak. A lúgos kezelés után jelentősen megnő az aktív szén szervesanyag-megkötő képessége^[1].

Ammóniával kezelt különböző minták morfológia tulajdonságait mutatja az 1. táblázat. Az ACF10, ACF15 és ACF25 a kiindulási mintákat jelölik (ezeknek eltérő a fajlagos felülete), az első szám az eljárás hőmérsékletét jellemzi, a második pedig az időtartamát, tehát például az ACF10-500-60 minta 500 °C-on, 60 percig volt ammóniával kezelve. Látható, hogy az egyes minták esetén, akár a hőmérsékletet, akár az időtartamot növelték, nőtt a fajlagos felület és a mikropórus térfogat, valamint nőtt az átlagos pórusátmérő, az ammónia maró hatással volt a mintára. Ilyen módon megfelelő paraméterek beállításával kialakítható célunknak megfelelő morfológiájú, pozitív felületi töltésű aktív szén^[4].

1. táblázat: *Eltérő ammóniás kezelés hatása a morfológiára*

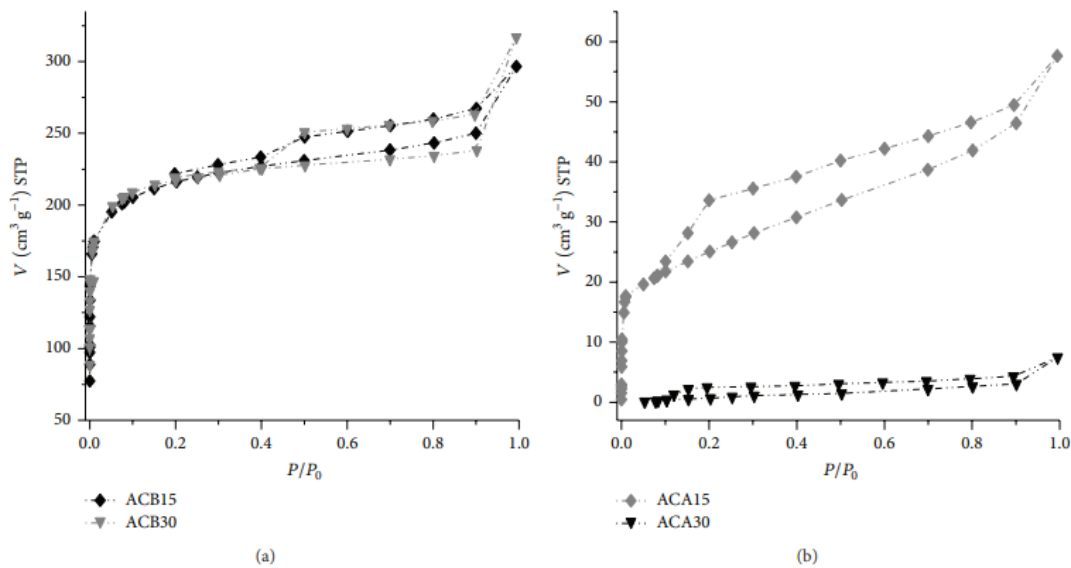
Minta	Fajlagos felület (m ² /g)	Mikropórus térfogat (ml/g)	Pórus szélesség (Å)
ACF-10	730	0.319	8.1
ACF-15	1585	0.670	12.2
ACF-25	1890	0.763	13.4
A10-800-10	886	0.382	9.0
A10-800-60	1356	0.572	12.3
A15-500-60	1594	0.674	12.2
A15-600-60	1602	0.677	12.3
A15-700-60	1598	0.676	12.3
A15-800-10	1711	0.706	12.8
A15-800-60	2044	0.792	14.2
A25-800-10	1999	0.796	13.8
A25-800-60	2195	0.831	14.4

Jelentős szerves szennyezőként van jelen a vizekben a fenol, valamint származékai, melyek kellemetlen ízt és szagot kölcsönöznek a víznek, nagyobb koncentrációban rákkeltő hatásuk lehet. Ezért számos kutatás célozza meg ezek eltávolítási lehetőségeit. Egy kolumbiai kutatócsoport kénsavval, valamint nátrium-hidroxiddal módosított aktív szenek fenol, 4-klorofenol és 4-nitrofenol megkötését vizsgálta, különböző hőmérsékleteken. A két anyagból 15, valamint 30 %-os oldatokat alkalmaztak a módosításhoz, majd a kialakított új felületeken nitrogénadszorpciós vizsgálatot végeztek, 77 K-en. Azt tapasztalták, hogy a BET-modellből számítható fajlagos felület a lúgos kezelés után sokszorososa annak, amit savas kezelés után mérhetünk^[5].

2. táblázat: *15 és 30 %-os kénsav (A) valamint nátrium-hidroxid (B) kezelés után mérhető fajlagos felület értékek*

ACs	S _{BET} (m ² g ⁻¹)
ACA15	150
ACA30	80
ACB15	780
ACB30	670

Az adszorpciós izotermákon (2. ábra) látható, hogy a nátrium-hidroxiddal kezelt szén már kis relatív nyomáson is nagy térfogatú nitrogént adszorbeál.



2. ábra: Nitrogénadszorpciós izotermák bázikus kezelés (a) és savas kezelés (b) után

Az eltérő fajlagos felületekből és az izotermákból arra következtethetünk, hogy a bázikus kezelés után nagyon sok mikropórus képződik, ez növeli meg jelentősen a fajlagos felületet.

Ezzel összhangban van a fenoladszorpció eredménye, a bázikus csoportokkal módosított felületen nagyságrenddel több fenol kötődött meg. Hasonlóan alkalmas lehet az ilyen módszerrel módosított aktív szén toxikus perklorátok, szerves festékmolekulák kivonására a vízből.

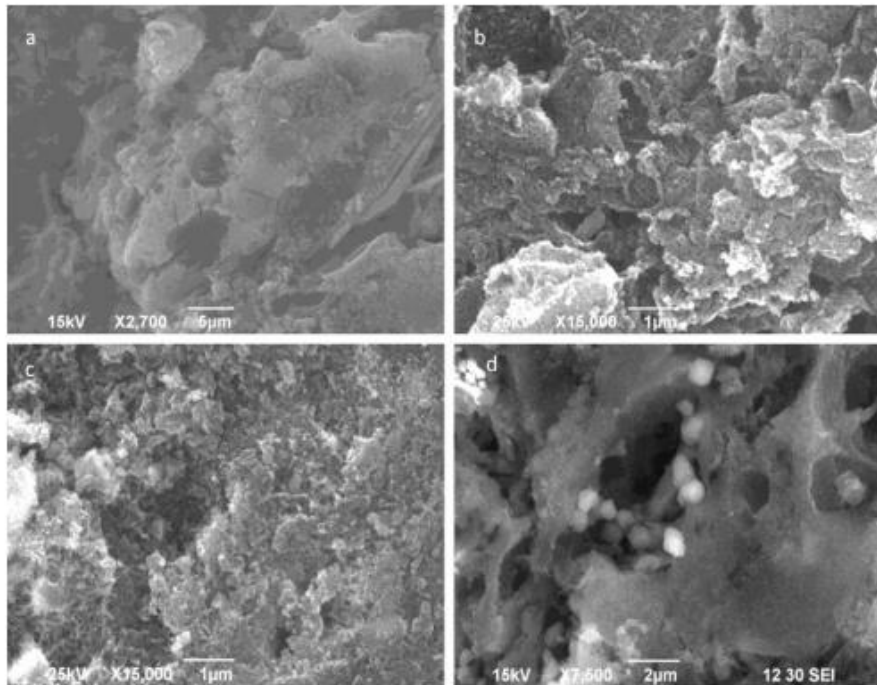
2.3. Impregnálás

Az impregnálás vagy bevonás valamilyen anyag, általában fém részecskék (ezüst, réz, alumínium, vas stb.) finom elosztatása az aktív szén pórusaiban. Ezek képesek nagymértékben megnövelni az adszorpciós kapacitást a vízben lévő fluoridokkal, cianidokkal vagy nehézfém-ionokkal (arzén, higany) szemben.

Az impregnálás hatására lecsökken a fajlagos felület, hiszen az impregnáló anyag elzárja a mikropórusokat a megkötni kívánt komponens elől. Ugyanakkor megnő az adszorpciós kapacitás azáltal, hogy fiziszorpció mellett kemiszorpció is lejátszódik. ZnCl_2 -dal impregnálva az aktív szén pórusait klórtartalmú funkciós csoportok kerülnek a felületre, amelyek képesek komplexet képezni a higannyal, többek között $[\text{HgCl}]^+$, $[\text{HgCl}_2]$ és $[\text{HgCl}_4]^{2-}$ komplexek keletkeznek^[6].

Fémionok közül leginkább a vasat használják impregnálásra, mellyel sok szennyező megköthető a vízből. Fontos, hogy a vas nagy mennyiségben, ugyanakkor egyenletes eloszlásban és stabilan legyen a felületen, ennek érdekében több lépcsőben viszik fel a felületre. Jó oldhatósága miatt vas(II)-kloridot használnak, ennek oldatában rázatják a granulált aktív szenet, szobahőmérsékleten, 24 órán keresztül, hogy a vas-klorid egyenletesen bejusson a szén pórusaiba. Ezután a szenet elválasztják az oldatfázistól, és 10 órán keresztül, $105\text{ }^\circ\text{C}$ -on szárítják. Eközben (amellett, hogy a granulátumok megszáradnak) a vas(II) vas(III)-má

oxidálódik, melynek már rosszabb az oldhatósága. Ezeket a lépéseket többször megismétlik, miközben egyre több vas kerül a felületre. A vassal impregnált aktív szén nagy hatékonysággal képes kiszűrni az arzént a vízből, miközben az arsenát-komplexet képez. Az adszorpció erős pH-függést mutat, 6-os pH-n az arzén-megkötés közel 100 %-os, majd 7-es pH körül hirtelen csökkenni kezd^[1].



3. ábra: Aktív szén növekvő vas mennyiséggel impregnálva

Vassal impregnált aktív szénrel szintén eltávolíthatóak a vízből nemcsak szerves anyagok, fémek, hanem oldott szerves anyagok is, ha az impregnálási lépést egy magas hőmérsékletű ammóniás kezelés követi.

Vas mellett számos egyéb fémet (ezüstöt, alumíniumot, nikkelt, mangánt) alkalmaznak aktív szén bevonására. Alumínium-nitrát oldattal impregnálva azt tapasztalták, hogy a kezeletlen aktív szénhez képest 3-5-ször több fluort képes megkötni a szén. Ezen esetben is fontos a pH pontos beállítása, ugyanis 3-as pH-n az alumínium nem adszorbeálódik a szénen, 4-es pH-n pedig kicsapódik.

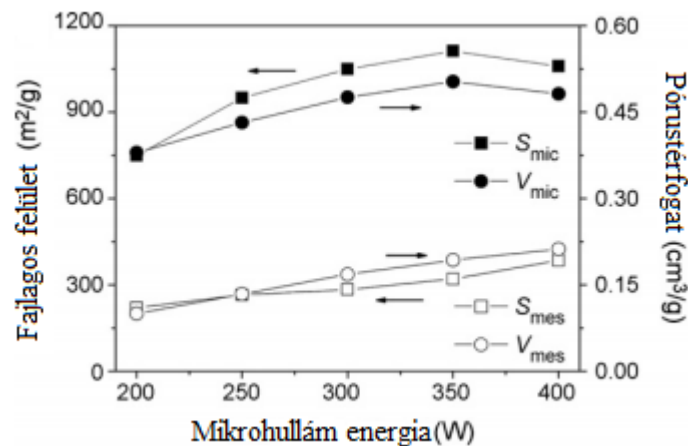
Ezüst vagy nikkelt bevonat segítségével távolítható el a vízből a cianid-tartalom. Az ezüsttel bevont aktív szén kétszer annyi cianidot köt meg, mint a nikkellel bevont, és négyszer annyit, mint a nem bevont aktív szén. A cianidionok komplexet képeznek, és $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, vagy $\text{Ni}(\text{CN})_4$ formájában kiválnak.

Impregnált aktív szénekkel sok szennyező komponens szelektíven eltávolítható, ugyanakkor ez a terület még sok kutatást igényel, mielőtt szélesebb körben használhatóvá válik^[1].

2.4. Mikrohullámú eljárás

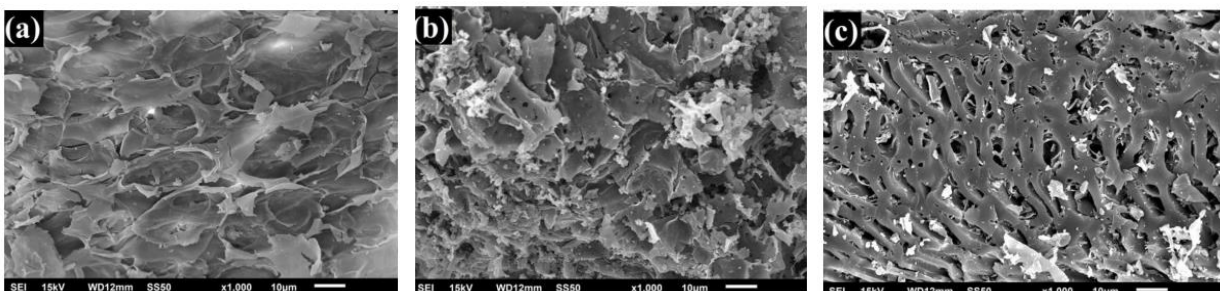
Ahogy sok egyéb területen, az aktív szenek módosításában is egyre nagyobb teret kap a mikrohullámú reakciómegvalósítás, köszönhetően annak, hogy a molekuláris szintű melegítés homogén terméket eredményez rövid reakcióidő alatt. Szintén nagy előnye a hagyományos, termikus reakciókkal szemben, hogy a mikrohullám közvetlenül az anyagot melegíti, nincs szükség közvetítő oldószerre. Mikrohullámú sugárzással az energiabefektetés is sokkal kisebb, ezért magas hőmérsékleten sincs roncsoló hatása. Ezek alapján elmondható, hogy egy környezetbarát, gyors, ugyanakkor viszonylag olcsó eljárásról beszélhetünk.

Foszforsavval kezelve és szisztematikusan növelve a besugárzó mikrohullám teljesítményét azt tapasztalták, hogy kis energiájú besugárzásra a mikropórusok növekedni kezdtek, majd átalakultak mezopórusokká, a pórustérfogat folyamatosan növekedett. Ennek ellenére a minta elsősorban mikropórusos szerkezetű maradt^[7].



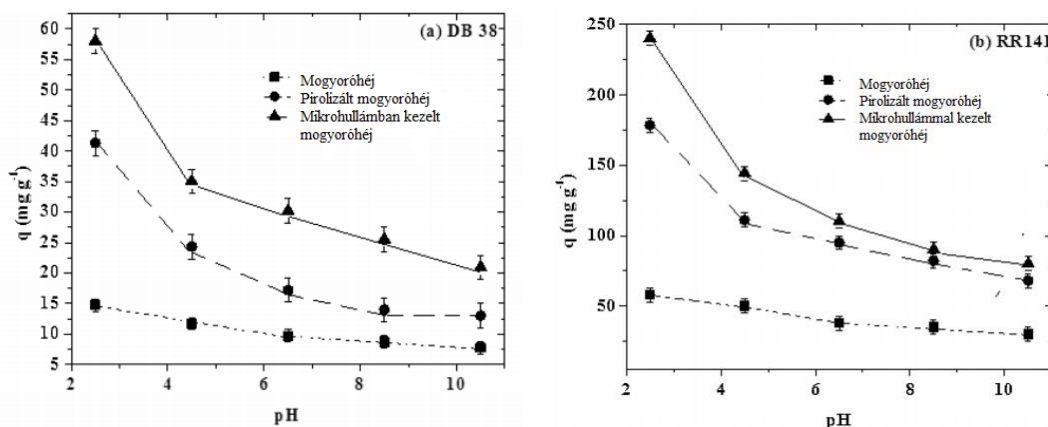
4. ábra: Szerkezeti tulajdonságok változása mikrohullám hatására

Bár az adszorpció szempontjából a mikropórusok jelenléte a kedvező, nagyobb méretű szerves szennyezők, például festékmolekulák megkötése gyorsabb és egyszerűbb lehet a nagyobb pórusokban. Két különböző festékmolekula megkötését vizsgálták termikusan (pirolízissal) és mikrohullámban előállított, mogyoróhéj alapú aktív szeken. SEM-felvételek azt mutatják, hogy a mogyoróhéj önmagában nem pórusos, termikus kezelés után válik pórusossá, de ezek a pórusok nehezen hozzáférhetőek a nagy molekulák számára. Mikrohullámmal egy sokkal szabályosabb pórus szerkezet alakítható ki, amely elősegíti a festékmolekulák diffúzióját.



5. ábra: Mogyoróhéjról (a), pirolizált mogyoróhéjról (b) és mikrohullámmal kezelt mogyoróhéjról (c) készült SEM-felvételek

Emellett FT-IR spektroszkópiával kimutatható, hogy mikrohullámú besugárzás hatására jelentősen több aktív savas csoport alakult ki a felületen. Köszönhetően a nagyobb fajlagos felületnek, a megközelíthető, rendezett pórusszerkezetnek, és a felületen kialakított savas csoportoknak, pirolízis után egy mikrohullámú aktiválást is végezve jelentősen növelhető a festékmolekulák adszorpciója a felületen.



6. ábra: Festékmolekulák megkötődése eltérő módon kezelt adszorbenseken

2.5. Ózonos eljárás

Az ózon és az aktív szén együttes alkalmazása egy ígéretes alternatíva lehet olyan vizek tisztítására, melyek toxikus, nehezen lebontható szerves szennyezőanyagokat tartalmaznak.

Különböző aromás próbamolekulákkal végeztek kísérleteket, melyek azt célozták, hogy a növekvő ózon-dózis hatására hogyan változik a megkötés aktív szénen. Az ózon növekvő mennyisége jelentősen megváltoztatja az aktív szén morfológiáját, adszorpciós képességét. Mivel az ózon erős oxidálószer, az aktív szén felületén oxigéntartalmú savas csoportokat eredményez, oxidálva az ott lévő csoportokat, valamint a felületi szén-szén kettős kötések. Anhidrid-, lakton- és leginkább karboxil-csoportok felelősek a savas karakterért. Az ózonnal való kezelés hatására a BET-modellből számolható fajlagos felület drasztikusan lecsökken. Ennek oka, hogy a kialakult nagy oxigéntartalmú csoportok gátolják a nitrogén diffúzióját a felületre, megakadályozzák, hogy bejusson a mikropórusokba. A vizsgált aromás próbamolekulák, például szulfonált naftalinszármazékok, fenol és származékai, festékanyagok (metilénkék) adszorpciójának vizsgálatakor is hasonló eredményre jutottak^[8].

3. táblázat: Fajlagos felület és mikropórus-térfogat csökkenése növekvő ózon-dózis hatására

minta	S_{N_2} (m^2/g)	V_{mic} (cm^3/g)
F	1000	0.474
F-10	1023	0.472
F-20	943	0.437
F-30	940	0.436
F-60	815	0.380
F-120	632	0.297

Mindezek ellenére az ózonos eljárás mégis alkalmazható víztisztításra, szennyvizek kezelésére. Ennek oka az ózon nagy reaktivitása. Kémiai szerkezete miatt szelektíven tud reagálni mind szerves, mind szervetlen molekulákkal, cikloaddíciós, elektrofil szubsztitúciós reakciókban. Bizonyos körülmények között szabad OH⁻ gyökök keletkezhetnek az ózomból, melyek a második legerősebb oxidációs képességgel bírnak. Így a nagy szerves szennyezők, valamint bizonyos nehézfémek (higany, kadmium) kémiai reakció során távolíthatóak el. Ezesetben az aktív szén inkább hordozó funkcióval bír, csökkent adszorpciós képessége miatt.

2.6. Plazma eljárás

Az aktív szén hatékonyságának növelése érdekében célszerű új, egyszerűbb technikákat fejleszteni. Jó példa erre a plazmával történő kezelés, ami egy hatékony módja a szükséges funkciós csoportok kialakításának a szén felületén, vízszennyezők eltávolítására. Jelentős kutatások folynak annak érdekében, hogy a plazmával kezelt, speciális szénekkel célzottan tudjanak eltávolítani toxikus szennyezőket (vegyszereket, fémionokat, baktériumokat) vízből és levegőből^[1].

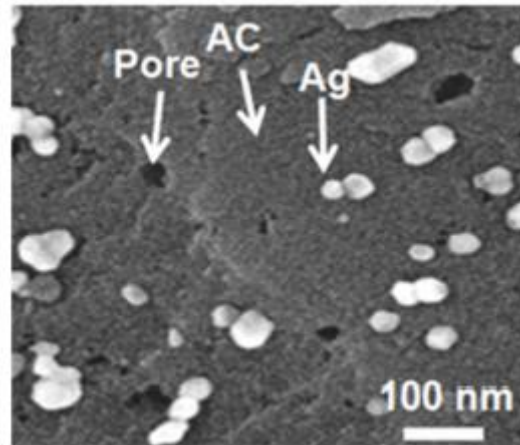
A plazma oxidáció egy olyan eljárás, mely során az aktív szenet vákuum vagy atmoszférikus nyomás alatt teszik ki irányított levegő vagy oxigén áramnak. Eközben a morfológia alig változik (a fajlagos felület minimálisan csökken), azonban jelentős kémiai módosulás megy végbe. Az oxigén addicionálódik a felületre, miközben szabad oxigén-gyökök reagálnak a felületen lévő szénatomokkal. Ennek köszönhetően nő a szén felületi savassága.

A felület savas természete kihasználható a vízben lévő fém szennyezők megkötésére. Granulált aktív szenet 30 percig hélium plazmával kezelve azt tapasztalták, hogy a szén adszorpciós kapacitása jelentősen megnőtt bizonyos fémionokra nézve. A mechanizmus ioncsere jellegű volt, a vizes fázisban lévő fém kation, és az aktív szén felületén lévő hidrogén-ionok cserélődtek ki. A növekedést nem a fizikai, hanem a kémiai szerkezet megváltozása idézte elő.

Amennyiben a szén kiterjedt mikropórusos szerkezettel rendelkezik, oxigénplazmás kezelést követően nagy hatékonysággal vonja ki a mérgező sósavgázokat a vizes fázisból. Vizsgálták még üzemanyagkomponensek, mint a dibenzotiofén (DBT) megkötődését is, és szintén azt tapasztalták, hogy a plazmával való kezelés jelentősen növelte az aktív szén adszorpciós képességét. Ez a módszer egy nagyon hatékony, ugyanakkor környezetbarát lehetőséget kínál toxikus vízszennyezők kivonására.

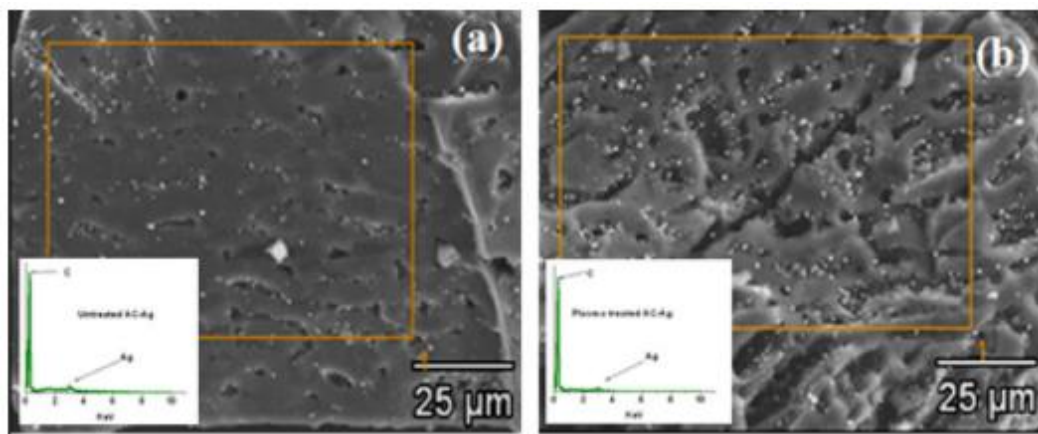
Az eddigiekben említett módosító eljárásokat gyakran együttesen is alkalmazzák a még hatékonyabb adszorpció kivitelezése céljából. A plazmával való kezelés és az impregnálás együtt hatékonyan alkalmazható baktériumok eltávolítására. Egy erre irányuló kísérlet során aktív szenet 10 tömeg% mennyiségű HDPE-vel granulálva oxigénplazmával kezelték 10 percen keresztül, hogy poláris funkciós csoportokat hozzanak létre a szén felületén. A granulátumokat összetörték, majd ezüst nanorészecske szuszpenzióban kevertették 12 órán keresztül, hogy az ezüst megfelelően bevonja a felületet. A szenet kiszűrték és szobahőmérsékleten szárították. A

felületet pásztázó elektronmikroszkópiával vizsgálva megállapítható, hogy a plazmás kezelésnek köszönhetően az ezüst nanorészecskék teljesen különállóan vannak jelen a felületen. Az oxigénplazma hatására a szén külső felülete hidrophil jellegű lett, köszönhetően a karbonil- és hidroxil-csoportok megnövekedett számának. Emiatt az ezüst nanorészecskék a könnyebben megközelíthető, hidrophil külső felületre fognak megkötődni, nem pedig a szén belsejében található pórusokban^[9].



7. ábra: Plazmával kezelt aktív szén felülete ezüst nanorészecskékkel impregnálva

E. coli baktérium pusztulását vizsgálták két impregnált aktív szénen, az egyik előzőleg volt plazmával kezelve, a másik nem. Azt tapasztalták, hogy a plazmával kezelt aktív szénen sokkal magasabb a baktérium halálozási rátája. Mivel az *E. coli* mérete kb. az 1 μm -es tartományba esik, nem tud bejutni a szén pórusaiba. Ha a szenet előzetesen nem kezeljük plazmával, az ezüst nagy része a mikropórusokban adszorbeálódik (8.a ábra), így az *E. coli* nem juthat el hozzá, az ezüst nem tudja kifejteni antibakteriális hatását. Azonban a plazmával kezelt szénen az ezüst a külső felületen diszpergálódik (8.b ábra), amely hozzáférhető a baktérium számára is.



8. ábra: Nem kezelt (a) és előzetesen plazmával kezelt (b) aktív szén külső felületén eloszlott ezüst nanorészecskék

Az ilyen módon kialakított aktív szén – ezüst hibrid rendszerek megoldást jelenthetnek a káros kórokozók, bakteriális szennyezők gyors eltávolítására a vízből.

2.7. Felületmódosított aktív szenek

A fent említett eljárásokon kívül sok egyéb, általában felületaktív anyaggal is módosítható az aktív szenek felülete úgy, hogy specifikusan megnőjön az adszorpciós képesség bizonyos célmolekulákra, vízszennyezőkre. Ezek a módosítások egyelőre labor-szinten működnek, kisméretű töltött oszlopokban. Ipari alkalmazásuk még nem megvalósított, valamint még nagyon kevés információ áll rendelkezésre az alkalmazhatóságukról, mivel valódi szennyvizekben, talajvizekben vagy felszíni vizekben még nem alkalmazták őket. Az ipari alkalmazhatóság kidolgozása során vizsgálni kell ezeket a módosított adszorbenseket többkomponensű szennyezőkkel szemben, ipari szennyvizekben, valamint áramló rendszerekben is^[1].

Szintén keveset tudunk a költségeikről, élettartamukról (hány ciklusban tudnak adszorbeálni), valamint regenerálási lehetőségeikről is. A regenerálást célzó kutatások során a legfontosabb azt vizsgálni, hogy a regenerálás során csak az adszorbeált anyagot nyerjük vissza, vagy a módosító reagensek is felszabadulnak az aktív szén felületéről.

Az elhasznált módosított szenek megsemmisítése is fontos kérdés, melyet lehetőleg valamilyen környezetbarát, zöld technológiával kell végrehajtani.

A 4. táblázat potenciális felületmódosító anyagokat mutat be, valamint azt, hogy mely szennyezőanyagok szűrhetőek ki a vízből az általuk módosított aktív szénrel.

4. táblázat: Aktív szén felületét módosító anyagok, és az általuk kiszűrt vízszennyezők

Felületmódosító ágens	Kiszűrhető szennyező
CuO ₂ /Cu	radioaktív I
cetilpiridinium	Cr(IV)
1-acil-tioszemikarbazid	Cu(II), Hg(II), Pb(II)
tetrabutyl-ammónium-jodid + nátrium-dietil-ditiokarbamát	Cu, Zn, Cr, CN ⁻
tetrabutyl-ammónium	teljes CN ⁻ -tartalom
trisz(hidroximetil)-aminometán	Au(III)
Zincon (szerves szulfonvegyület)	Cr(II), Pb(II)
biopolimerek	Pt, Pd
cetil-trimetil-ammónium-klorid	bromát
kvaterner ammóniumsó – epoxid kompozitok	perklorátok

2.8. Biológiai módosítás

Ez a típusú eljárás egyre nagyobb szerephez jut a víztisztítás területén. A folyamat lényege, hogy az aktív szén csapdáz egy baktériumot, és amennyiben ki tud alakulni a baktérium számára megfelelő környezet (hőmérséklet, szerves tápanyagok), az elkezd a szénben szaporodni. A szén-ágy élettartama úgy növelhető, ha a szerves anyagok egy részét ózonnal kezelve biodegradábilis anyagokká alakítjuk át. A szénben megkötött mikroorganizmusok a biológiailag lebontható anyagokat biomasszává, szén-dioxiddá és egyéb hulladékká alakítják, mielőtt az anyag elfoglalná az aktív, adszorpcióra képes helyeket a szénen^[1].

Biológiai aktív szenek segítségével könnyen eltávolíthatóak a vizekből különféle toxikus szennyezők, mint a 17 β -ösztradiol, metil-tercbutil-éter, különböző fenolszármazékok, természetes szerves anyagok, szerves mikrotápanyagok, növényvédőszer-maradványok, bromátok.

3. Költségek becslése

Víz- és szennyvíztisztító telepek tervezése, telepítése előtt pontosan ismerni kell a tisztítási folyamat gazdasági megvalósításának lehetőségeit. Ezt elsősorban az adszorbens költségei határozzák meg. Erről azonban ritkán adnak információt, főleg a felületmódosított aktív szenek esetében. Számos faktor határozza meg a prekursor anyag és a kész adszorbens árát, mint az elérhetőség, forma (természetes eredetű prekursor, agráripari melléktermékként áll rendelkezésre, esetleg szintetikusán állítják elő), a szükséges feldolgozás, kezelés paraméterei, élettartam, recirkuláció lehetősége. Az árat meghatározhatja még az előállítás helye és ideje, valamint a felhasználás célja.

Irodalomjegyzék

1. Bhatnagar, A., Hogland, W., Marques, M., & Sillanpää, M., An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. *Chemical Engineering Journal*, 2013, **219**, 499–511.
2. Bian, Y., Bian, Z., Zhang, J., Ding, A., Liu, S., Zheng, L., Wang, H., Adsorption of cadmium ions from aqueous solutions by activated carbon with oxygen-containing functional groups. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2015, **23(10)**, 1705–1711.
3. Aljeboree, A. M., Alshirifi, A. N., Alkaim, A. F., Kinetics and equilibrium study for the adsorption of textile dyes on coconut shell activated carbon. *Arabian Journal of Chemistry*, 2017, **10**, S3381–S3393.
4. Mangun, C. L., Benak, K. R., Economy, J., Foster, K. L., Surface chemistry, pore sizes and adsorption properties of activated carbon fibers and precursors treated with ammonia. *Carbon*, 2001, **39(12)**, 1809–1820.
5. Rincón-Silva, N. G., Moreno-Piraján, J. C., Giraldo, L. G., Thermodynamic Study of Adsorption of Phenol, 4-Chlorophenol, and 4-Nitrophenol on Activated Carbon Obtained from Eucalyptus Seed. *Journal of Chemistry*, 2015, 1–12.
6. Zeng, H., Jin, F., Guo, J., Removal of elemental mercury from coal combustion flue gas by chloride-impregnated activated carbon. *Fuel*, 2004, **83(1)**, 143–146.
7. Georjin, J., Dotto, G. L., Mazutti, M. A., Foletto, E. L., Preparation of activated carbon from peanut shell by conventional pyrolysis and microwave irradiation-pyrolysis to remove organic dyes from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2016, **4(1)**, 266–275.
8. Valdés, H., Sánchez-Polo, M., Rivera-Utrilla, J., Zaror, C. A., Effect of Ozone Treatment on Surface Properties of Activated Carbon. *Langmuir*, 2002, **18(6)**, 2111–2116.
9. Srinivasan, N. R., Shankar, P. A., Bandyopadhyaya, R., Plasma treated activated carbon impregnated with silver nanoparticles for improved antibacterial effect in water disinfection. *Carbon*, 2013, **57**, 1–10.