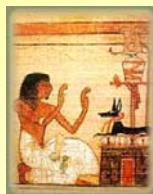


HAGYOMÁNYOS SZORBENSEK

1

AKTÍV SZÉN

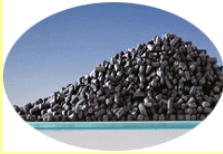


i.e. ~1550

Az aktív szenek „aktivitását” **nagy fajlagos felületük**, az azt biztosító **komplex pórus-szerkezet** valamint a felület **kémiai heterogenitása** okozza

2

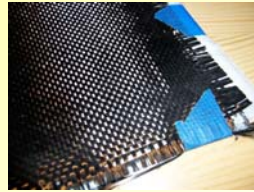
Formák



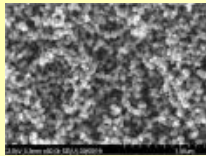
granulát
 $0.6 - 4.0 \times 10^{-3} \text{ m}$



por
 $15 - 25 \times 10^{-6} \text{ m}$



szénzál
 $10 - 30 \times 10^{-6} \text{ m}$



hab & aerogél

merev / hajlékony

(500-3000 m^2/g)

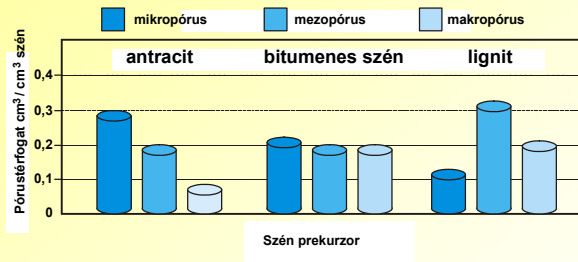


3

ELŐÁLLÍTÁS

4

HAGYOMÁNYOS NYERSANYAGAI



500 000 t/year, ~ 7 %

bitumenes \$ 80/t (2015)

Precursors predestinate pore size distribution

5

Előállítás

1. Fizikai: általában két lépésben

1. karbonizálás v. pirolízis (inert közegben)

2. aktiválás

(hamutartalom)

□ aktiválószer

- vízgőz
- CO_2
- O_2
- O_3
- levegő
- H_2O_2

□ idő

6

2 Kémiai: gyakran egy lépésben (H_3PO_4 , $ZnCl_2$, $NaOH$, KOH) lignocellulózos prekursor (impregnálás + pirolízis + mosás)

Előnye: jobb kitermelés (+ 30 %)
kisebb energiaigény
porozitás jobban szabályozható
nincs kátrányképződés

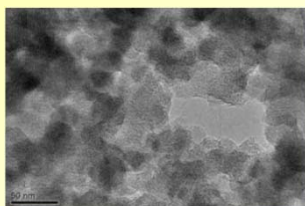
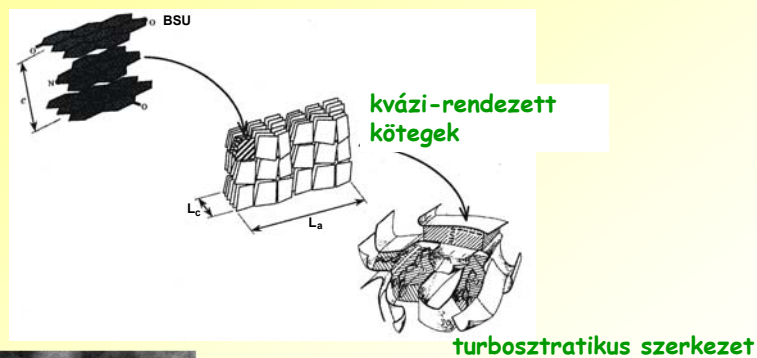
Hátrány: szennyezés

7

Hogyan alakul ki a porozitás ?

Poliaromás gyűrűk lokális önszerveződése

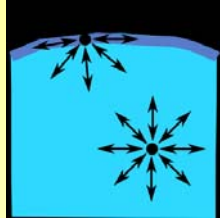
Hidrofób



8

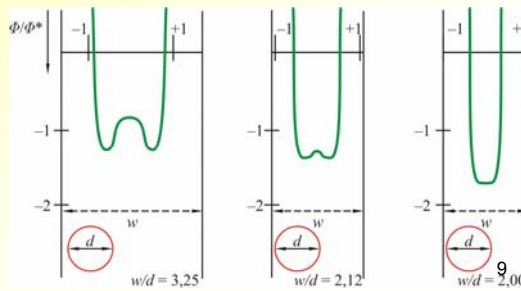
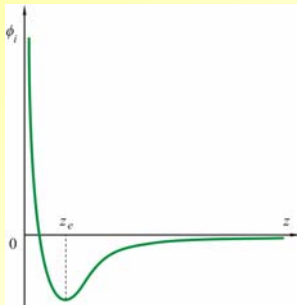
Oberlin, A. *Carbon* 1984

A következmény: nagy fajlagos felület
komplex porozitás



$$\gamma = \left(\frac{\partial G}{\partial A_s} \right)_{p,T}$$

Másodlagos kölcsönhatások



Nagy fajlagos felület
Hierarhikus pórusméreteloszlás
Másodlagos kötőerők

Általános szorbens

Organic molecules
Moisture & Gases

Pores

Activated
Carbon Adsorbs
Gases and Moisture

<https://www.amazon.co.uk/DRY-PURIFYTM-Dehumidifier-Deodorizer-Charcoal/dp/B01N2G842L> 10

Impregnálás

Cr, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, W fémsók keveréke

www.flickr.com/photos/31472241@N03/2961203481

Regenerálás

```

graph TD
    Root[Telített aktív szén] --> Deszorpció
    Root --> Roncsolásos_technikák[Roncsolásos technikák]
    Deszorpció --> Termikus
    Deszorpció --> Nemtermikus
    Termikus --> Inert_gáz[inert gáz]
    Termikus --> Gőz[gőz]
    Termikus --> Forró_víz[forró víz]
    Nemtermikus --> Oldat_extrakció[oldat extrakció]
    Nemtermikus --> Felületaktív_anyag[felületaktív anyag]
    Nemtermikus --> Szuperkritikus_folyadék_extrakció[szuperkritikus folyadék extrakció]
    Roncsolásos_technikák --> Kémiai
    Roncsolásos_technikák --> Elektrokémiai
    Roncsolásos_technikák --> Mikrobiológiai
    Roncsolásos_technikák --> Szonikus
    Kémiai --> Oxidációs
    Kémiai --> Redukciós
    Oxidációs --> Termikus_oxid[termikus]
    Oxidációs --> Katalitikus_oxid[katalitikus]
    Oxidációs --> Fotokatalitikus[fotokatalitikus]
    Redukciós --> Katalitikus_reduk[katalitikus]
    Redukciós --> Hidroklormentesítés[hidroklormentesítés]
  
```

12

Alkalmazások

Gázfázis

VOC eltávolítása levegőből
szerves oldószer regenerálás
párolgási veszteség csökkentése
szeméttelpek gázának megkötése
légkondicionáló

higanygőz megkötése

gázmaszk
kipufogógáz megkötése (SO_x, NO_x)

gáztárolás (földgáz, hidrogén)

gázelválasztás (molekulaszita)

katalizátorhordozó
katalizátor
energiatárolás



Folyadékfázis

(szenny)vízkezelés
élelmiszeripar

Orvosi alkalmazások

méregtelenítés
haemoperfúzió
detoxikálás

13

”Activated carbon, characterized by its **exceptional adsorption properties**, has been identified as an **effective solution** for air and water pollution control, which is driving its demand in both mature and emerging markets across the globe. Besides **drinking water treatment** and **air purification**, activated carbon is also actively used in controlling **mercury emissions**, caused by burning of coal in power plants. With growing use in diverse end user industries, such as **mining, food & beverage, pharmaceuticals and chemical & petrochemical**, the global market for activated carbon is expected to post strong growth over the next five years.”

(Global Activated Carbon Market Forecast and Opportunities, 2019)

14

FÉMOXIDOK

Al, Mg, Si
(Cr, Ni,) Ti, Fe, Zn

stabilis, nagy S_A
kisebb S_A , katalitikus aktív

kristályos rutil, anatáz

amorf szilikagél

vízrel hidratáció és/vagy hidroxileződés
felületi hidroxil: poláros molekulákkal lehetőség specifikus kölcsönhatásra
dehidratáció: erős kationos kötőhelyek kialakulása, heterogenitás

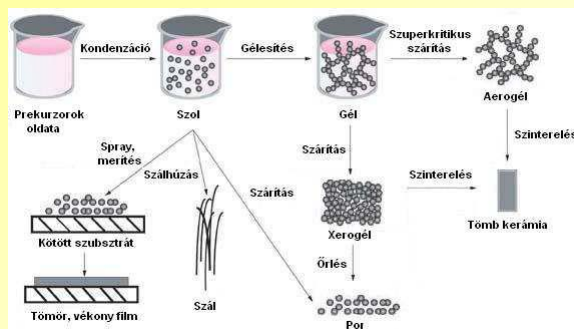


tipikus kölcsönhatás: specifikus
hidrogén-híd
Lewis elektronakceptor - donor csere

ma már kontrollálható a porozitás

15

Szol-gél módszer (solution - gel)



- **Előny:**
 - a hagyományosnál alacsonyabb hőmérsékletű reakció és kisebb energia befektetés
 - változatos formájú termékek (tömb, film, szál, por)
 - előre megtervezhető az összetétel és a mikroszerkezet
 - kontrollálható a kémiai összetétel (nagy tisztaság)
- **Hátrány:**
 - a szárítás során nagymértékű az összehúzódás (repedezések)
 - a prekursorok drágák
 - hosszú előállítási idő

16

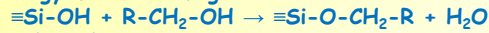
Pórusos szilika (SiO₂)

A struktúra és a fajlagos felület az előállítástól függ 100-200 m²/g
 35 féle természetes kristályos módosulat szol-gél eljárás
 levegőn teljes hidroxileződés (120 °C) ~800 m²/g

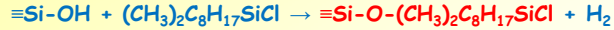


Könnyen funkcionálizálható: Hidrofób

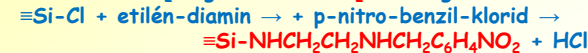
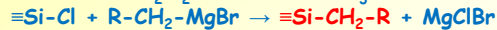
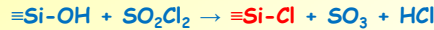
Nagy molekulatömegű alkoholokkal:



Klórszilánokkal:



Tionil-kloriddal:



Poláros felület,
vízelvónó



Alkalmazás

- Adszorbens
 - Szárítószer
- Katalizátor (hordozó)
- Kromatográfia (réteg, oszlop)
 - HPLC

CoCl₂

17

Zeolitok

hidratált alumínium-szilikátok $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

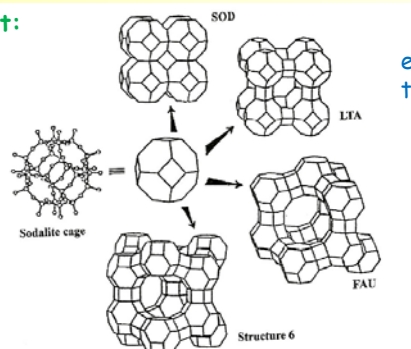
természetes
mesterséges

pórus szélesség: 1,5-10 nm
600-1000 m²/g

(AlO₄) és (SiO₄) tetraéder-egységek, Si₂Al, O-en keresztül

negatív töltés - fém kationok hangolnak

Kristályszerkezet:



előnyös transzport-
tulajdonságok

J. B. Nagy, P. Bodart, I. Hannus, I. Kiricsi:
Synthesis, characterization and use of zeolitic
Microporous materials. Szeged, 1998

18

Természetes/mesterséges zeolitok



Sztilbit



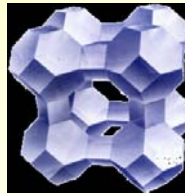
Szodalit



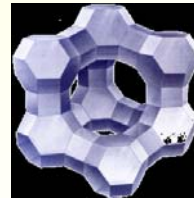
Előállítás:
bázikus közegű szol/gél reakcióval



Faujasit



Zeolit A



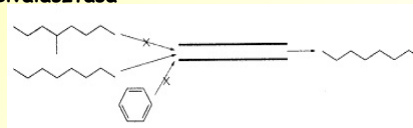
Zeolit X

19

Alkalmazások:

- Molekulaszita

- Nagyobb molekulák kizárása
- Pórusok mérete szabályozható → egységes rések
- Tulajdonságok:
 - Szelektív adszorpció
 - Nagy adszorpciós kapacitás kis koncentráció esetén is
- Gyakori alkalmazás:
 - normál-, és izo-paraffinok elválasztása



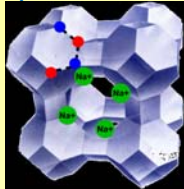
- Katalizátor

- Előny:
 - Szabályos pórusrendszer
 - Termikus stabilitás
 - Aktív centrumok
 - Nagy felület
- Először 1959: izomerizációs reakció
- 1960 Weisz és Frillette: „alak szelektív katalízis”
- Ipari alkalmazás: FCC (fluid catalytic cracking)

20

- További alkalmazások

- Ioncserélő tulajdonság
 - Vízlágyító mosópor adalék



Na⁺: 4 A molekulaszűrő
K⁺: 3 A
Ca²⁺: 5 A

- Nukleáris erőmű vizeiből ártalmas kationok megkötése
 - Mezőgazdaságban savas talajok semlegesítése
- Gáz és folyadék szárítás (25-65 tömeg% víz)
- Földgáz ill. biogáz kéntelenítés és más tisztító eljárás
- Elválasztási eljárások
 - méret- és alakkizárás (max. 1,2 nm)
 - főleg gázok
 - SO₂, N₂/O₂
- Élelmiszeripar (alkohol, koffein, zsírsavak)
- Biokémia (enzimhordozó)