

# Efekt pompowania

W przestrzeni między szybami szyby zespolonej znajduje się para wodna, która została tam zamknięta wraz z powietrzem lub przenika przez warstwy uszczelniacza. Ważnym elementem jest więc sito molekularne, którym wypełnia się profile dystansowe. Sito usuwając wilgoć zwiększa trwałość szyby zespolonej, która przy prawidłowo uszczelnionych zestawach wynosi od kilkunastu do ponad stu lat (zależnie od budowy).

## Własności adsorpcyjne zeolitów

Sito molekularne jako adsorbent wilgoci wiąże cząsteczki wody na powierzchni porów. Szybki proces pochłaniania pary wodnej jest możliwy dzięki silnie porowatej strukturze granulki sita. Otwory umożliwiające wejście w tę strukturę, nazywane są oknami. Przez nie cząsteczki gazów dostają się do istniejących w strukturze sita molekularnego (np. zeolitu) kanalików, zwanych porami.

Cząsteczki gazu, po przejściu przez okno, zajmują pory adsorbentu, ale długość ich pobytu tam uzależniona jest od cech fizycznych tych cząsteczek i sita molekularnego oraz warunków otoczenia.

W warstwie powierzchniowej adsorbentu tworzy się warstwa – zwykle grubości kilku atomów – w której występują wchłonięte cząsteczki gazów. Im

temperatura jest niższa tym warstwa ta jest grubsza (większa ilość gazu została wchłonięta z przestrzeni między-szybowej).

### Zeolit „przyciąga” parę wodną

Zeolit najchętniej adsorbuje wodę, ponieważ, podobnie jak woda, jest materiałem polarnym (czyli dwubiegunowym, którego cząsteczki mają swój + i -).

Siła wzajemnego przyciągania jest na tyle duża, że potrzeba albo bardzo wysokiej temperatury, albo bardzo niskiego ciśnienia, aby tę parę rozłączyć. Ponieważ spośród gazów znajdujących się w szybie zespolonej tylko woda ma cząsteczki polarne ma ona absolutne pierwszeństwo – najsilniejsze powinowactwo do powierzchni porów. Badania wykazują że już 4% zawartość wody w sicie praktycznie wyklucza pochłanianie innych gazów z szyby zespolonej.

Adsorbent „nie przyciąga” cząsteczek azotu, tlenu czy argonu ponieważ są one elektrycznie obojętne. Atomy tych gazów poświęciły już wszystkie swoje elektrony na budowanie wzajemnych relacji w cząsteczce.

### Zeolit „z oknami na wymiar”

Średni wymiar „okien” w najczęściej obecnie stosowanych sitach molekularnych wynosi około 3 Å (czyli 3 dziesiętne).

**Absorpcja** (fizyczna) – proces pochłaniania substancji gazowej w całą objętość substancji ciekłej lub stałej, lub też substancji ciekłej w całą objętość substancji stałej.

**Adsorbpcja** – proces polegający na powierzchniowym wiązaniu cząsteczek cieczy lub gazu przez cząsteczki ciała stałego.

ciomiliardowe części metra). Cząsteczka wody swobodnie przepływa przez „okno”. Natomiast kłopoty ze „zmieszczeniem się” będzie miał azot, argon czy tlen.

Adsorbenty z porami o średnicy 4 Å były popularne w czasie, gdy szyby były wypełnione wyłącznie powietrzem. Sito 4 Å charakteryzuje większa aktywność (czyli szybciej pochłania parę wodną) oraz większa pojemność adsorpcyjna. W powietrzu znajdującym się w szybie było tyle samo wilgoci, co w hali produkcyjnej. Trzeba ją było w miarę szybko usuwać, aby nie następowało wyroszenie pary wodnej podczas spadku temperatury, np. podczas transportu w zimie.

Obecnie, gdy większość szyb jest napełniana gazem szlachetnym (np. argonem), a także co najmniej jedna szyba pokryta jest powłoką niskoemisyjną, konieczne jest działanie prowadzące do ograniczania pochłaniania przez sito innych gazów niż para wodna. Na szybach charakteryzujących się dużą refleksyjnością ze względu na warstwę

odbijającą także promienie widzialne, efekt „pompowania szyb” jest doskonale widoczny.

**Należy się jednocześnie zastanowić czy to adsorbent ma zasadniczy wpływ na efekt „pompowania szyb”.**

### Wpływ adsorbentu na efekt „pompowania”

Ostatnio wywołuje sporo emocji pytanie, czy adsorbent wilgoci może być odpowiedzialny za efekt pompowania w szybach zespolonych?

Oczywiście, że tak, tylko w jakim stopniu i kiedy?

Załóżmy, że powiększamy „okno” do 4 Å. Damy wtedy szansę na w miarę swobodne wejście azotu, tlenu czy argonu do adsorbentu. Jeżeli jest on bardzo aktywny, zatrzyma dużo gazu w swoich porach.

Jeżeli podniesiemy temperaturę we wnętrzu szyby np. do 70°C może się okazać, że adsorbent wypuści po-

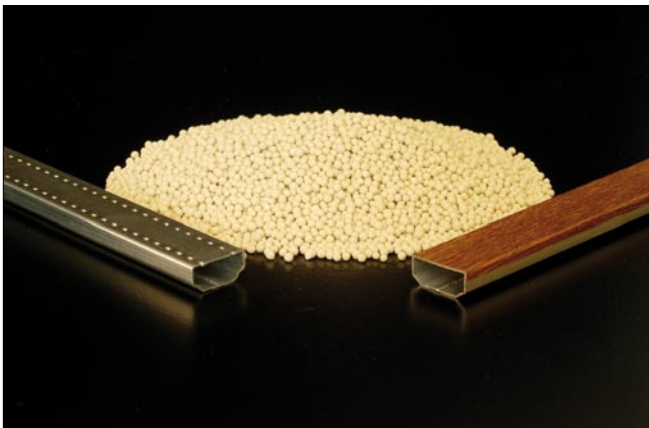
### Wymiary cząsteczek (Å) różnych gazów spotykanych w szybach zespolonych:

Para wodna H <sub>2</sub> O	2,65
Dwutlenek węgla CO <sub>2</sub>	3,30
Argon Ar <sub>2</sub>	3,40
Tlen O <sub>2</sub>	3,46
Krypton Kr <sub>2</sub>	3,60
Azot N <sub>2</sub>	3,64
Sześćfluorek siarki SF <sub>6</sub>	5,50

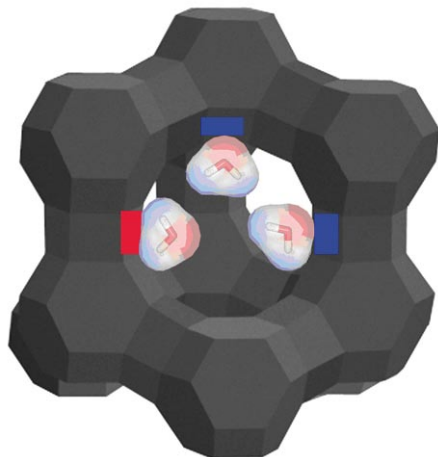
chłonięty gaz. Wykonamy w ten sposób test charakteryzujący zdolności adsorpcyjno/desorpcyjne danego sita.

Dla poznania wzajemnych relacji pomiędzy chłonnością sita a „oddychaniem szyby” posłużmy się przykładem szyby zespolonej o wymiarach 1x1 m z ramką dystansową 16 mm. Ilość zasypanego adsorbentu wynosi około 120 g, a objętość gazu w szybie – 16 l.

Jeżeli użyjemy najgorszego adsorbentu 4 Å o ekstremalnie dużej chłonności gazów (600 ml gazu/250 g sita)



Sito molekularne w postaci granulatu



Fragment łańcucha zeolitu – schemat „przyciągania” wody jako cząsteczki polarnej

możemy oczekiwać, że w niekorzystnych warunkach objętość gazu w szybie wzrośnie o 288 ml.

$$120 \text{ g} \cdot 600 \text{ ml}/250 \text{ g} = 288 \text{ ml}$$

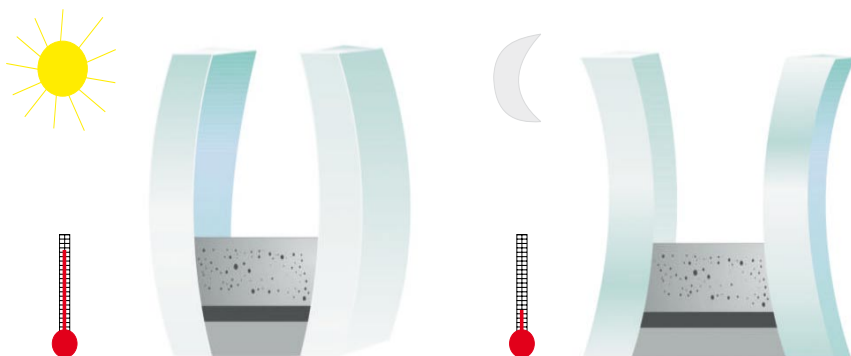
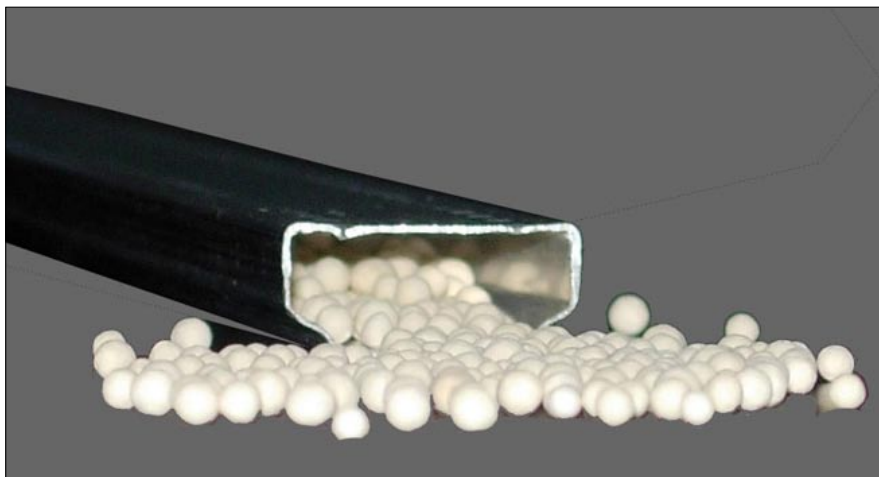
Stanowi to 0,288 l/16 l, czyli 1,8% przyrostu objętości gazu w szybie.

Jeżeli natomiast użyjemy sита 3 Å, dla którego chłonność gazów wynosi maksymalnie 50 ml gazu/250 g sита, otrzy-

mamy przyrost objętości gazu w szybie rzędu 24 ml.

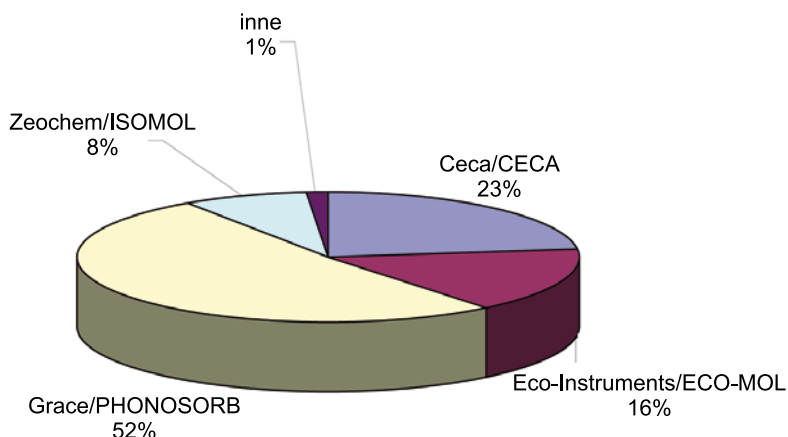
$$120 \text{ g} \cdot 50 \text{ ml}/250 \text{ g} = 24 \text{ ml}$$

Stanowi to 0,15% objętości gazu w szybie.



Zmiana objętości gazu w szybie zespolonej w zależności od temperatury otoczenia

### Zużycie sít molekularnego w Polsce w 2005 roku



Źródło: Eco-Instruments

### Wpływ rozprężania i sprężania gazów pod wpływem zmian temperatury na „pompowanie szyby”

Dla porównania, bazując na termodynamicznych prawach gazowych, np. prawie Gay-Lusacca (zakładamy przemianę izobaryczną – przy stałym ciśnieniu objętość gazu jest wprost proporcjonalna do jego temperatury<sup>\*)</sup>, bardzo łatwo wyliczyć, że podgrzewając gaz w naszej testowej szybie zespolonej o 20°C spowodujemy wzrost jego objętości o 1091 ml, co stanowi 6,82% objętości szyby.

$$V_1/T_1 = V_2/T_2; \text{ stąd } V_2 = V_1 \cdot T_2/T_1$$

$$V_1 = 0,016 \text{ m}^3$$

$$T_1 = (20^\circ\text{C} + 273,15) = 293,15 \text{ K}$$

$$T_2 = (40^\circ\text{C} + 273,15) = 313,15 \text{ K}$$

$$V_2 = 0,016 \cdot 313,15 / 293,15 = 0,017091 \text{ m}^3 \text{ czyli } 1,091 \text{ litra}$$

Można zatem śmiało założyć, że to natura jest o wiele bardziej niebezpieczna dla szyby zespolonej od najgorszego nawet sít.

Naszym zdaniem efekt tzw. oddychania szyb jest zjawiskiem naturalnym i zachodzi w poprawnie uszczelnionych zestawach.

Wszyscy liczący się dostawcy adsorbentu wiedzą o tym, że w szybach zespolonych bezpieczniej jest stosować adsorbent 3 Å.

A czy alternatywą są drogie sít, pozostawiamy to do decyzji Szanownych Czytelników.

Wojciech Przybylski

<sup>\*)</sup> Założenie to jest słuszne przy małej sztywności szyby, która zależy od wymiarów tafli szkła: sztywność maleje wraz ze zwiększaniem powierzchni tafli i zmniejszaniem jej grubości