



ODPOWIETRZNIKI ODWILŻAJĄCE I ADSORBENTY

Opracował: Heinrich Laas, Dipl. Wirt.-Ing. (FH), MBA
GIEBEL FilTec GmbH
Sommerhalde 9
74626 Bretzfeld, Niemcy

Tłumaczenie: mgr inż. Piotr Długosz
IPB Consulting
ul. Grochowska 304/1
03-840 Warszawa

Data utworzenia: 28.10.2013

Data aktualizacji: 02.01.2014

Spis treści

1.	Adsorbenty	3
1.1.	Charakterystyka adsorbentów	3
1.2.	Żel krzemionkowy.....	4
1.3.	Sito molekularne 4A	5
1.4.	DrySorbent.....	6
1.5.	Tlenek glinu (alumina)	7
2.	Właściwości	8
2.1.	Właściwości adsorbentów.....	8
2.2.	Pojemność adsorpcji.....	9
2.3.	Wilgotność szczątkowa po osuszeniu.....	10
2.4.	Kolorowy wskaźnik nasycenia	12
2.5.	Sprawność w wyższych temperaturach.....	13
2.6.	Samoregeneracja.....	13
2.7.	Regeneracja	15
2.8.	Bezpieczeństwo	16
	Niebieski żel krzemionkowy z chlorkiem kobaltu (II)	17
	Pomarańczowy żel krzemionkowy z organicznym wskaźnikiem nasycenia	17
3.	Wyniki badań.....	19
3.1.	Metodologia i warunki badań.....	19
3.2.	Natężenie przepływu powietrza – wpływ na czas eksploatacji odpowietrznika oraz efektywność osuszania powietrza	20
3.3.	DrySorbent – idealny desykant do odpowietrzników odwilżających.....	21
3.4.	Nasycenie i poziomy wilgotności w adsorberze	23

1. Adsorbenty

1.1. Charakterystyka adsorbentów

	Żel krzemionkowy pomarańczowy Silica gel Orange (wąskie pory)	Żel krzemionkowy niebieski Silica gel Blue (wąskie pory)	Żel krzemionkowy biały Silica gel White (wąskie pory)	Żel krzemionkowy Silica gel (szerokie pory)	Sito molekularne 4A Molecular sieve 4A	Tlenek glinu Alumina	DrySorbent
Cecha podstawowa	hydrofilowy	hydrofilowy	hydrofilowy	hydrofilowy	hydrofilowy	hydrofilowy	hydrofilowy
Główne składniki	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂ , Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂ , Al ₂ O ₃
Średnica ziarna [mm]	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	2-10	1-5
Gęstość nasypowa [kg/m ³]	700-800	700-800	700-800	400-800	600-900	700-850	700-900
Pojemność adsorpcji [% masy] przy 25°C i wilgotności wzg.:							
20%	7,5	7,5	7,5	5	19	10	11
40%	16	16	16	7	20	13	17
60%	28	28	28	13	21	20	26
80%	32	32	32	22	22	35	29
100%	37	37	37	80	24	60	33
Objętość mikroporów [cm ³ /g]	0,35-0,45	0,35-0,45	0,35-0,45	0,30-0,45	0,25-0,30	0,40	0,30-0,40
Objętość makroporów [cm ³ /g]	<0,10	<0,10	<0,10	0,10-0,25	0,30-0,40	0,10	0,10-0,20
Powierzchnia właściwa [m ² /g]	600-850	600-850	600-850	250-350	500-1000	100-400	650-900
Zmiana koloru	od zaw. wody 6% pomarańczowy-zielony/biały	od zaw. wody 6% niebieski-różowy	brak	brak	brak	brak	od zaw. wody 6% pomarańczowy-zielony
Temperatura regeneracji [°C]	całkowita reg. przy ok. 120°C	całkowita reg. przy ok. 120°C	całkowita reg. przy ok. 120°C	całkowita reg. przy ok. 120°C	całkowita reg. przy ok. 300°C	całkowita reg. przy ok. 200°C	częściowa reg. przy ok. 120°C
Adsorbowane molekuły	H ₂ O, CO, CO ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₈ , C ₃ H ₆ , C ₄ H ₁₀ , C ₆ H ₆ , CH ₃ OH	H ₂ O, CO, CO ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₈ , C ₃ H ₆ , C ₄ H ₁₀ , C ₆ H ₆ , CH ₃ OH	H ₂ O, CO, CO ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₈ , C ₃ H ₆ , C ₄ H ₁₀ , C ₆ H ₆ , CH ₃ OH	H ₂ O, CO, CO ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₈ , C ₃ H ₆ , C ₄ H ₁₀ , C ₆ H ₆ , CH ₃ OH	H ₂ O, He, Ne, Ar, H ₂ O ₂ , N ₂ , CO, CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, SO ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆ , CH ₃ OH, C ₂ H ₅ OH	H ₂ O, F, HF	H ₂ O, CO, CO ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₈ , C ₃ H ₆ , C ₄ H ₁₀ , C ₆ H ₆ , CH ₃ OH

1.2. Żel krzemionkowy



Żel krzemionkowy jest desykantem najczęściej używanym w odpowietrznikach odwilżających. Składa się on w 99% z dwutlenku krzemu (SiO_2), tworzącego amorficzną, niekryształiczną strukturę. Żel krzemionkowy jest określany jako desykant syntetyczny, biegunowy i hydrofilowy. Dzięki swojej dużej porowatości, żel krzemionkowy ma powierzchnię właściwą osiągającą nawet $850 \text{ m}^2/\text{g}$. Struktura porów jest nieregularna, szczeliny o lejkowatym kształcie mają średnicę od ok. 2 do 10 nm. Pozwala to na przyciąganie i zatrzymywanie molekuł wody w wielu warstwach, co tłumaczy bardzo dobre właściwości

adsorpcyjne tego materiału.

Jako desykant, żel krzemionkowy jest najczęściej wykorzystywany w postaci stałej, w formie kulek. Granulki te mają średnicę ok. 2,0 do 5,0 mm i posiadają bardzo dobrą odporność na odkształcenia oraz na ścieranie. Opory przepływu złoża wypełnionego takim materiałem są bardzo małe, co powoduje niskie straty ciśnienia.

Żel krzemionkowy o szerokich porach nie jest powszechnie używany, ze względu na mniejszą powierzchnię właściwą. Dodatkowo, zdolność adsorpcji tego materiału jest znacząca tylko przy bardzo dużej wilgotności względnej powietrza.

Żel krzemionkowy wykazuje doskonałe właściwości adsorpcyjne, szczególnie przy dużej wilgotności względnej powietrza. Dzięki temu może zatrzymać dużą ilość pary wodnej, aż do 37% masy suchego desykanta w całkowicie nasyconym środowisku.

Do wizualizacji postępu nasycenia żelu krzemionkowego często stosuje się barwne wskaźniki nasycenia. Ze względu na wysoki kontrast i wiarygodne wskazanie, preferujemy wskaźnik zmieniający kolor z pomarańczowego na zielony. Istnieją również inne wskaźniki, np. zmieniające kolor z pomarańczowego na biały lub z niebieskiego na różowy. Dostępny jest również żel krzemionkowy bez barwnych wskaźników. Ze względu na działanie rakotwórcze „niebieskiego żelu”, coraz powszechniej stosowany jest wskaźnik pomarańczowy, zmieniający kolor na zielony lub biały.

Regeneracja nasyczonego żelu krzemionkowego może być przeprowadzona poprzez suszenie w piecu konwencjonalnym, w 120°C przez 2 do 4 godzin. Możliwy jest również proces samoregeneracji żelu. Oddaje on wówczas część zgromadzonej wody do osuszonego wcześniej

powietrza wydostającego się poprzez odpowietrznik z układu. Zjawisko to może znacząco przedłużyć czas efektywnej pracy złoża adsorpcyjnego.

1.3. Sito molekularne 4A



Sita molekularne są syntetycznymi glinokrzemianami i desykantami o bardzo szczególnych właściwościach. W zależności od składu, powstające kryształy mają odpowiednią i jednolitą strukturę i rozmiar porów, co pozwala na wykorzystanie tego materiału jako adsorbenta w różnych zastosowaniach. Zeolity typu 4A posiadają w swojej strukturze jony sodu ($\text{Na}_{12}[(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}]$) i średnicę porów ok. 0,4 nm. Rezultatem takiej budowy jest bardzo duża powierzchnia właściwa, sięgająca $1000 \text{ m}^2/\text{g}$. W połączeniu z bardzo silnymi siłami międzycząsteczkowymi, właściwości te pozwalają

na bardzo efektywne wykorzystanie sit molekularnych w odpowietrznikach odwilżających.

Sita molekularne są najczęściej stosowane w postaci granulek o średnicy pomiędzy 2,0 a 5,0 mm. Wykazują one dobrą odporność na kruszenie oraz ścieranie. Ze względu na rozmiary oraz kształt granulek, opory przepływu przez złożo wypełnione sitem molekularnym są niskie i nie obciążają niepotrzebnie systemu.

Sita molekularne charakteryzują się dużą pojemnością adsorpcyjną nawet przy niskiej wilgotności względnej, dzięki czemu są zdolne do znaczącego osuszenia przepływającego powietrza. Znajdują zastosowanie tam, gdzie podstawowym kryterium jest stopień usunięcia pary wodnej. Maksymalna pojemność adsorpcyjna w całkowicie nasyconym środowisku sięga 24%. Kolorowe wskaźniki nasycenia nie są dostępne.

Sita molekularne zachowują swoje zdolności adsorpcyjne również w wysokiej temperaturze, sięgającej 80°C . Regeneracja adsorbenta jest możliwa, wymaga jednak wysokiej temperatury. Siły przyciągania międzycząsteczkowego wewnątrz sieci krystalicznej są tak silne, że cząsteczki wody są uwalniane dopiero przy temperaturze ok. 300°C i co za tym idzie, nie występuje zjawisko samoregeneracji w normalnym cyklu pracy.

1.4. DrySorbent



DrySorbent jest mieszaniną, specjalnie opracowaną i przetestowaną tak, aby połączyć zalety żelu krzemionkowego ze wskaźnikiem koloru oraz sita molekularnego. Jako adsorbent może być używany w wielu zastosowaniach, uzyskując w większości przypadków doskonałe parametry pracy.

DrySorbent składa się z granulek o średnicy pomiędzy 2,0 a 5,0 mm. Wykazują one dobrą odporność na kruszenie oraz ścieranie. Ze względu na rozmiary oraz kształt granulek, opory przepływu przez DrySorbent są niskie i nie powodują

powstania zbyt dużych strat ciśnienia.

Cechy wypełnienia DrySorbent pozwalają na obniżenie poziomu wilgotności względnej w osuszonym powietrzu poniżej 5%. Jest to wynik znacznie lepszy niż możliwy do osiągnięcia przy zastosowaniu jedynie żelu krzemionkowego. Z kolei, przewaga nad jednorodnym sitem molekularnym polega na znacznie większej maksymalnej pojemności adsorpcyjnej. DrySorbent umożliwia długą pracę wypełnienia adsorbera przy zachowaniu bardzo dobrych parametrów osuszanego powietrza.

Kolorowy wskaźnik nasycenia adsorbenta pozwala na łatwą ocenę stanu złoża. Wskaźnik ten zmienia kolor z pomarańczowego na ciemnozielony i nie zawiera metali ciężkich.

W wielu zastosowaniach DrySorbent, podobnie jak jednorodny żel krzemionkowy, wykazuje zdolność do samoregeneracji. Możliwa jest również prawie całkowita regeneracja desykanta poprzez suszenie w piecu konwencjonalnym w 120°C. Dzięki temu DrySorbent może pracować efektywnie przez wiele cykli nasycania i regeneracji, co znacząco wydłuża trwałość złoża i obniża koszty eksploatacji.



1.5. Tlenek glinu (alumina)



Tlenek glinu, aktywowany tlenek glinu lub alużel, składający się z Al_2O_3 (85%) i soli nieorganicznych (15%). Niegdyś stosowany jako desykant w odwadnianiu powietrza, obecnie niemal całkowicie zastąpiony przez syntetyczne sita molekularne. Sita molekularne górują nad alużelem zarówno dobrą hydrofilowością w wysokich temperaturach (pomimo dobrych właściwości alużelu), jak i pojemnością adsorpcyjną przy niskiej wilgotności powietrza.

Tlenek glinu jest wrażliwy na kwasy, lecz wykazuje dobrą odporność na słabe zasady. W związku z tym jest często wykorzystywany do odwadniania chemikaliów organicznych oraz jako katalizator.

2. Właściwości

2.1. Właściwości adsorbentów

	Żel krzemionkowy pomarańczowy Silica gel Orange (wąskie pory)	Żel krzemionkowy niebieski Silica gel Blue (wąskie pory)	Żel krzemionkowy biały Silica gel White (wąskie pory)	Żel krzemionkowy Silica gel (szerokie pory)	Sito molekularne 4A Molecular sieve 4A	Tlenek glinu Alumina	DrySorbent
Pojemność adsorpcji	++	++	++	+	-	+	+
Niska wilgotność szczątkowa powietrza po osuszeniu	+	+	+	-	++	-	+
Kolorowy wskaźnik nasycenia	++	++	--	-	--	--	++
Zdolność adsorpcji w wysokiej temperaturze	--	--	--	--	++	++	-
Samoregeneracja	++	++	++	0	--	--	0
Regeneracja w 120°C	++	++	++	++	-	0	0
Bezpieczeństwo	++	--	++	++	++	++	++

++ bardzo dobrze; + dobrze; 0 neutralnie; - źle; -- bardzo źle

2.2. Pojemność adsorpcji

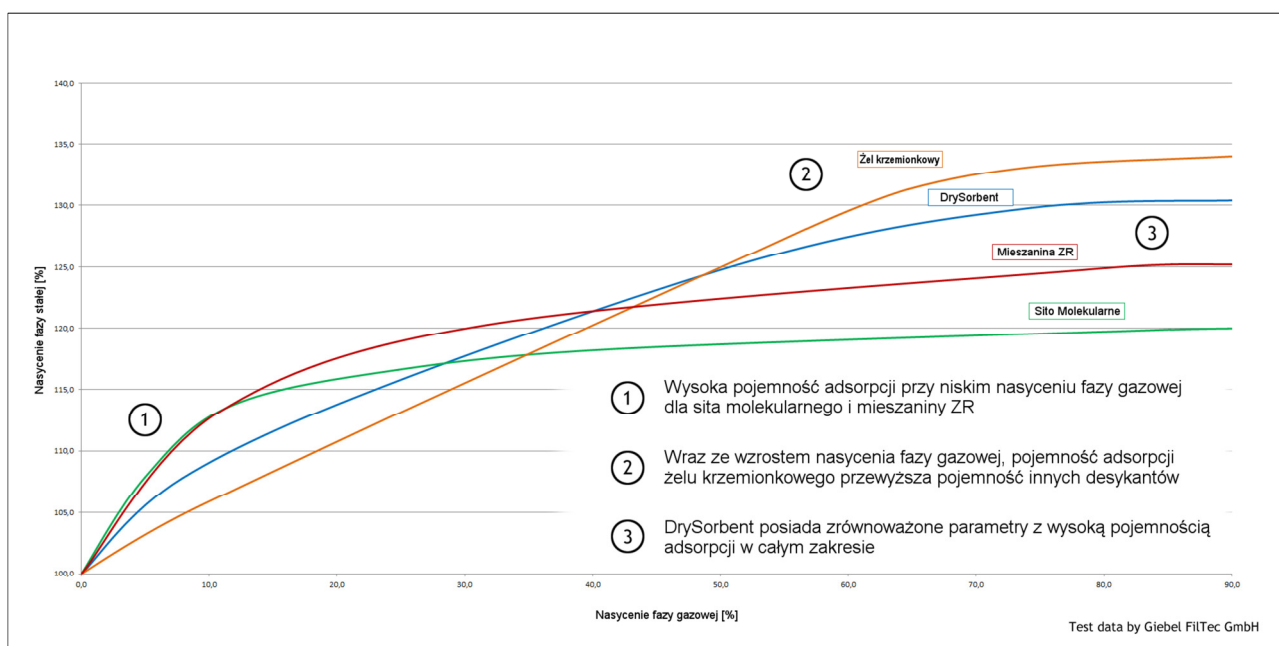
Zarówno warunki pracy, takie jak temperatura otoczenia, jak i skład chemiczny desykanta określają maksymalną ilość wody, jaką może przyjąć adsorbent. Adsorpcja zachodzi dzięki wyrównywaniu ciśnień cząstkowych w fazie stałej, jaką jest złożo desykanta, oraz w fazie gazowej którą stanowi strumień wilgotnego powietrza.

Zależność pomiędzy wielkością adsorpcji a ciśnieniem cząstkowym pary wodnej w fazie gazowej może być przedstawiona jako izoterma. Powstanie wówczas krzywa charakterystyczna dla danego adsorbenta i określająca jego maksymalną pojemność adsorpcji.

Żel krzemionkowy charakteryzuje się prawie liniową zależnością, z początkową niższą wartością adsorpcji niż sito molekularne lub mieszaniny zawierające sito molekularne. Maksymalna wartość adsorpcji (stosunek masy zaadsorbowanej wody do masy suchego adsorbentu) dla żelu silikonowego wynosi 37% i jest najwyższa wśród porównywanych desykantów.

Sito molekularne rozpoczyna wysokimi wartościami adsorpcji dla niskich wartości ciśnienia cząstkowego pary wodnej, co odpowiada niskim wartościom wilgotności szczątkowej osuszane go gazu. Dla wyższych wartości ciśnienia cząstkowego wartość adsorpcji jest jednak wyraźnie niższa niż dla pozostałych desykantów i osiąga maksymalną wartość na poziomie 22%.

Pomiędzy tymi skrajnymi krzywymi układają się wykresy dla mieszanin ZR i DrySorbent z tym, że DrySorbent ma wyraźnie wyższą maksymalną wartość adsorpcji, przekraczającą 30% i zbliżoną do jednorodnego żelu krzemionkowego.



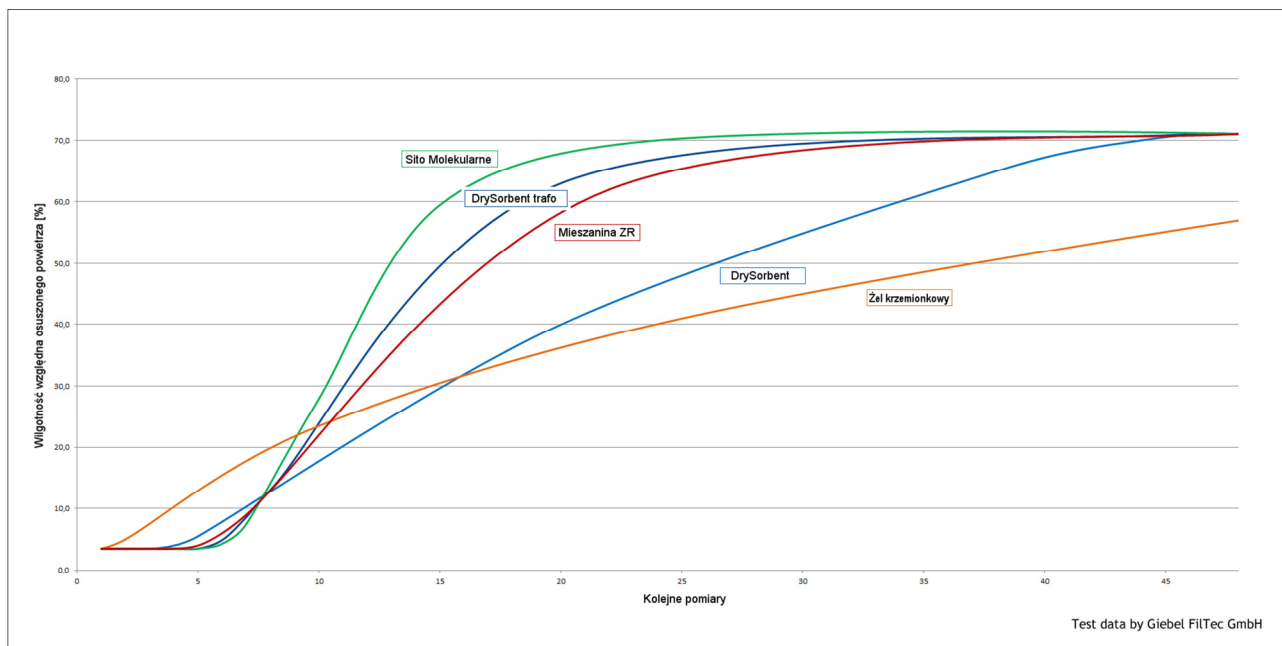
2.3. Wilgotność szczątkowa po osuszeniu

Wykres wilgotności szczątkowej po osuszeniu powietrza przez adsorbent tworzy krzywą charakterystyczną dla danego desykanta. Wszystkie badane materiały posiadają bardzo dużą powierzchnię właściwą, jednak różnice w wartości tej powierzchni oraz fizycznych właściwościach porów powodują różnice w kształcie charakterystyk.

W przypadku żelu krzemionkowego można zaobserwować dość szybki wzrost wartości wilgotności szczątkowej. Należy jednak zauważyć, że z upływem czasu pracy wartość ta pozostaje poniżej wartości dla wszystkich innych badanych desykantów. Ze względu na stosunkowo duże pory o lejkowatym kształcie, żel krzemionkowy adsorbuje cząsteczki wody w wielu warstwach. Właściwość ta jest jednym z powodów, dla których żel krzemionkowy jest powszechnie używany w odpowietrznikach odwilżających. Jego główne zalety uwidaczniają się jednak przy wartościach wilgotności szczątkowej powyżej 30%, zbyt dużych dla np. układów hydraulicznych. Z tego powodu, w zastosowaniach wymagających obniżenia wilgotności powietrza do bardzo niskiego poziomu, zaleca się użycie sita molekularnego lub mieszanek zawierających sita molekularne.

W porównaniu z żelem krzemionkowym, desykanty zawierające sita molekularne posiadają znacząco większą powierzchnię właściwą oraz charakterystyczne wielkości porów, utrudniające powstawanie wielu warstw adsorpcji. Z tego powodu substancje te wykazują bardzo niski poziom wilgotności szczątkowej przez długi okres od rozpoczęcia pracy, natomiast w okresie późniejszym wartość ta gwałtownie wzrasta.

Pomiędzy tymi dwiema skrajnościami znajduje się charakterystyka adsorbenta DrySorbent, pozwalająca na uzyskanie stosunkowo niskiej wartości wilgotności szczątkowej w ciągu całego okresu eksploatacji.



2.4. Kolorowy wskaźnik nasycenia

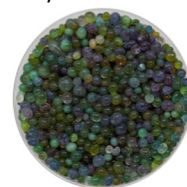
Wiele z powszechnie stosowanych desykantów posiada kolorowy wskaźnik nasycenia. Najpopularniejszy jest żel krzemionkowy, występujący w różnych wariantach. Barwnik zmienia kolor w zależności od poziomu nasycenia żelu wodą, począwszy od określonej, minimalnej wartości. Pozwala to na wizualną kontrolę stanu nasycenia adsorbenta, nie wymagając stosowania żadnych dodatkowych narzędzi. Zastosowanie barwnika nie ma wpływu na właściwości i parametry desykanta.

Dla zachowania właściwości barwnika, należy ściśle przestrzegać zalecanych temperatur regeneracji desykanta. W przypadku barwnego żelu krzemionkowego, temperatura regeneracji nie przekraczająca 120°C nie powoduje uszkodzenia barwnika i pozwala na pełne zachowanie jego parametrów nawet po wielu cyklach pracy.

Wybór kolorowego wskaźnika z wielu dostępnych na rynku powinien być świadomą decyzją użytkownika. Podstawowym kryterium jest łatwość i wiarygodność odczytu wskazania. Nie należy jednak zapominać o kwestiach bezpieczeństwa obsługi oraz środowiska. Niektóre wskaźniki zawierają chlorek kobaltu (II). Substancja ta jest uznawana za rakotwórczą i powinno się unikać jej stosowania jako kolorowego wskaźnika nasycenia.

Żel krzemionkowy zmieniający barwę z pomarańczowej na zieloną, spełnia wszystkie wymagania dotyczące desykanta z kolorowym wskaźnikiem. Wysoki kontrast barwy, nietoksyczny barwnik i Nielimitowana możliwość regeneracji powodują, że materiał ten stanowi optymalny wybór dla większości zastosowań.

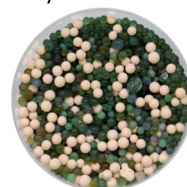
Kolorowy wskaźnik nasycenia
Nienasycony **Nasycony**
Żel krzemionkowy
pomarańczowy → zielony



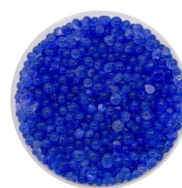
Żel krzemionkowy
pomarańczowy → biały



DrySorbent
pomarańczowy → zielony



Żel krzemionkowy
niebieski → różowy



Żel krzemionkowy
biały → bez zmian



Sito molekularne
beżowy → bez zmian



Tlenek glinu (Alumina)
biały → bez zmian



2.5. Sprawność w wyższych temperaturach

Zdolność adsorpcji desykantów zależy między innymi od temperatury pracy (osuszane powietrze). W niektórych przypadkach w wyższych temperaturach maksymalna pojemność adsorpcji jest znacząco niższa od tej, która jest osiągana przy 25°C. Żel krzemionkowy posiada dobre własności adsorpcyjne w różnych zastosowaniach i jest szczególnie efektywny w temperaturze poniżej 40°C.

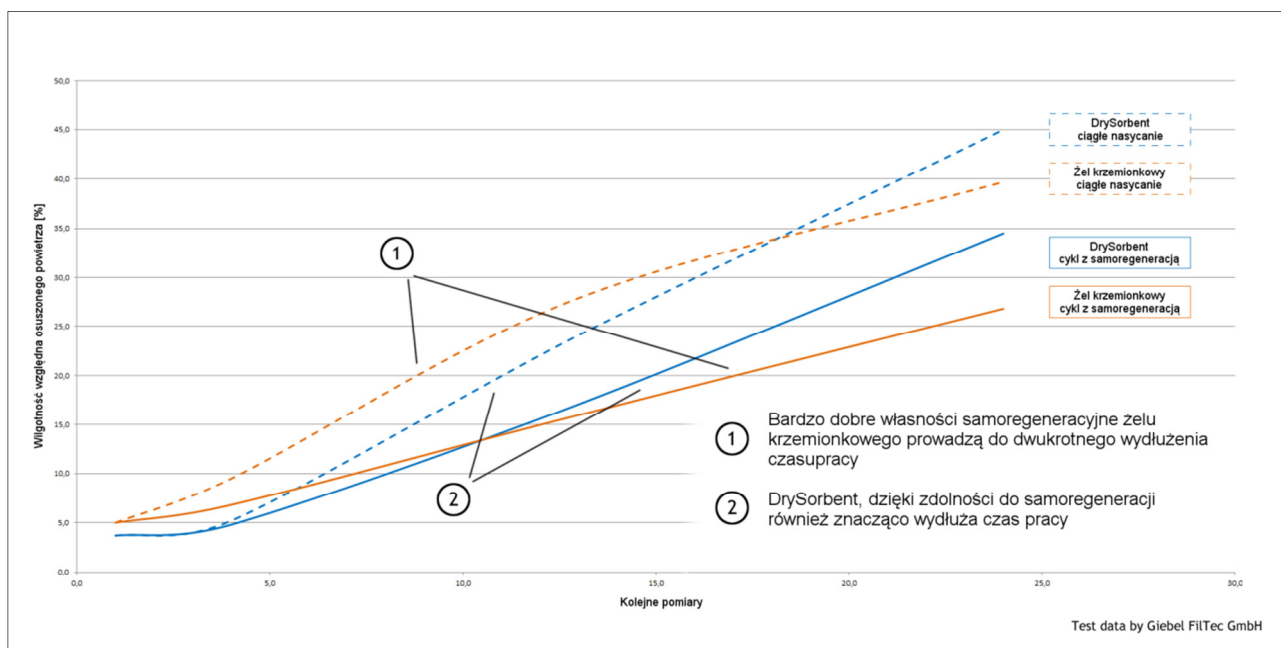
Jeśli temperatura osuszane powietrza przekracza często 40°C, zaleca się stosowanie sit molekularnych lub mieszanin, które zawierają sita molekularne. Są one skuteczne w pochłanianiu pary wodnej nawet w znacznie wyższej temperaturze. Ich parametry adsorpcyjne pozostają na tym samym poziomie w znacznie większym zakresie temperatur pracy, niż to jest w przypadku żelu krzemionkowego.

Jednorodne sita molekularne mogą pracować w temperaturze do około 80°C, jednak ich zdolności adsorpcyjne są niższe od innych desykantów przy pracy poniżej 25°C. Z tego powodu, dla uzyskania stabilnego zabezpieczenia przed wilgocią przedostającą się do systemu w różnych warunkach pracy, stosuje się mieszanki zawierające zarówno sita molekularne jak i żel krzemionkowy, takie jak DrySorbent.

2.6. Samoregeneracja

Samoregeneracją desykanta określa się zjawisko, polegające na desorpcji zgromadzonej wody bez doprowadzania zewnętrznej energii cieplnej do systemu oraz bez wykorzystania podciśnienia. Ten typ regeneracji dość często jest spotykany w przypadku odpowietrzników odwilżających, ze względu na ich cykliczną pracę przy napełnianiu i opróżnianiu zbiorników lub ze względu na dobowe różnice temperatur.

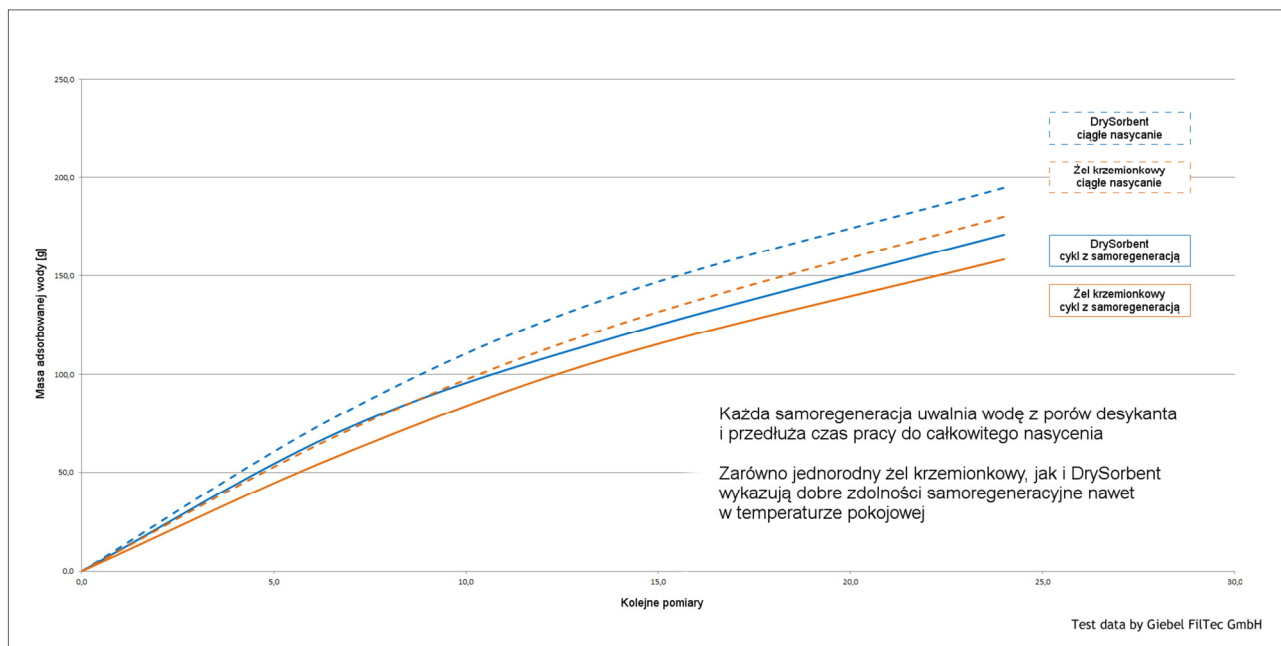
W przypadku cyklicznej pracy systemu, uprzednio osuszone (oraz zazwyczaj ogrzane) powietrze wydostające się z układu poprzez odpowietrznik zabiera ze sobą wodę zgromadzoną na złożu desykanta. Zjawisko to znacząco wydłuża czas pracy adsorbenta, obniżając całkowite koszty eksploatacji.



Aby zjawisko samoregeneracji mogło być wykorzystywane, adsorbent musi być zdolny do uwalniania pary wodnej w temperaturze typowej dla procesu, oraz wyłącznie z powodu różnicy w ciśnieniu cząstkowym pary wodnej pomiędzy częściowo nasyconą atmosferą w adsorberze a osuszonym powietrzem.

Dla sprawdzenia zdolności samoregeneracji oferowanych przez nas desykantów, przeprowadziliśmy pomiary w warunkach laboratoryjnych. Próbki były nasycone parą wodną przez określony czas, a następnie przedmuchane strumieniem powietrza o wilgotności względnej 10%, również w ciągu założonego okresu czasu. Uzyskane dane pokazują utratę masy desykanta jako rezultat zachodzącej desorpcji.

Zarówno DrySorbent jak i żel krzemionkowy są zdolne do oddawania w opisanych warunkach tak dużej ilości wody, że ich czas pracy może być dzięki temu zjawisku znacznie wydłużony. W przypadku jednorodnego żelu krzemionkowego, czas osiągnięcia określonego nasycenia wodą w cyklu wykorzystującym samoregenerację jest dwukrotnie dłuższy niż w przypadku ciągłego nasycania bez regeneracji. DrySorbent również wykazuje znaczne wydłużenie efektywnego czasu pracy dzięki swojej zdolności do samoregeneracji.

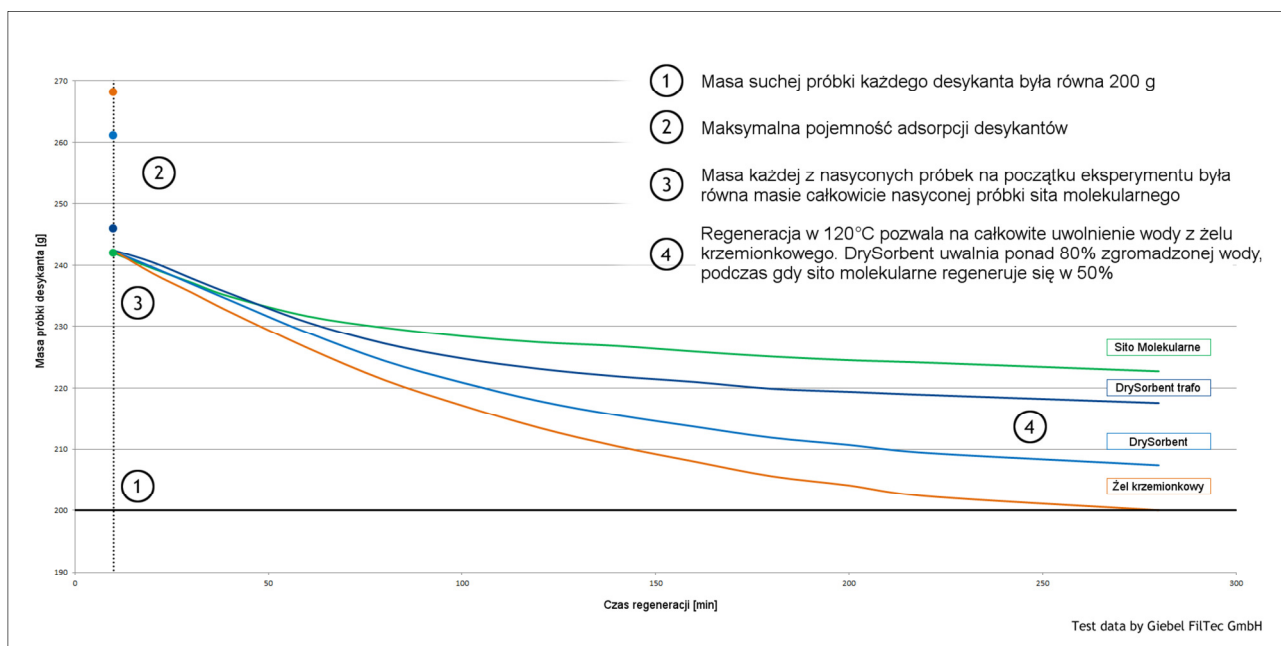


2.7. Regeneracja

Desykanty zawsze dążą do uzyskania stanu równowagi z ich otoczeniem. Jeśli nienasycony adsorbent znajdzie się w atmosferze o wysokiej wilgotności względnej, na skutek różnicy w ciśnieniach cząstkowych pary wodnej pobiera wodę z powietrza, w ten sposób się nasycając. Kiedy maksymalna ilość wody zostanie zadsorbowana (zostanie osiągnięta maksymalna pojemność adsorpcji), desykant nie jest w stanie dłużej osuszać powietrza. Aby zapobiec dostawianiu się wody do instalacji, należy wówczas wymienić lub zregenerować złoże adsorpcyjne.

W tym przypadku, regeneracja oznacza umożliwienie oddawania wody przez desykant, poprzez zmianę odpowiednich warunków zewnętrznych, takich jak ciśnienie lub temperatura. Najprostszym sposobem regeneracji adsorbentów jest ich wygrzewanie. Podniesienie temperatury powietrza powoduje spadek ciśnienia cząstkowego pary wodnej. Desykant uwalnia wówczas zgromadzoną wodę do otoczenia.

Do regeneracji żelu krzemionkowego wystarczy zwykły piekarnik. Żel należy rozłożyć równomiernie w cienkiej warstwie i podgrzewać powoli do 120°C. Powróci on do pierwotnego pomarańczowego koloru po około 2 godzinach. Jeśli zalecana temperatura nie zostanie przekroczona, zarówno sam żel jak i barwny wskaźnik zachowują w pełni swe właściwości i desykant może być ponownie użyty. Nie należy umieszczać żelu w nagrzanym piecu, ponieważ gwałtowna zmiana temperatury może doprowadzić do uszkodzenia granulek.



Dla porównania zdolności regeneracyjnych desykantów, próbki tych materiałów zostały nasycone identyczną ilością wody. Ponieważ pojemności adsorpcyjne poszczególnych substancji różnią się między sobą, ilość wody użytej do wstępnego nasycenia została dobrana tak, by mogła być przyjęta przez wszystkie badane próbki. Następnie adsorbenty zostały poddane regeneracji w piecu, w temperaturze 120°C, aż do momentu osiągnięcia przez żel krzemionkowy masy sprzed nasycenia wodą (czyli do całkowitej regeneracji żelu). Można zauważyć, że DrySorbent został również prawie całkowicie zregenerowany w tych warunkach, oddając ponad 80% zgromadzonej wody.

Regeneracja sita molekularnego może być przeprowadzona w takim samym procesie, z tym że wymagana temperatura na poziomie 300°C jest znacząco wyższa niż w przypadku żelu krzemionkowego i może być zazwyczaj osiągnięta tylko w specjalnych piecach. Z tego też powodu, eksperyment przeprowadzony przy 120°C wykazał desorpcję sita molekularnego na poziomie jedynie 50%.

2.8. Bezpieczeństwo

Zgodnie z prawodawstwem Unii Europejskiej, czysty żel krzemionkowy, sito molekularne i tlenek glinu nie są klasyfikowane jako substancje niebezpieczne. Co więcej, są one niepalne i stabilne chemicznie. Przy prawidłowym przechowywaniu i użytkowaniu tych substancji nie występują żadne zagrożenia ekologiczne.

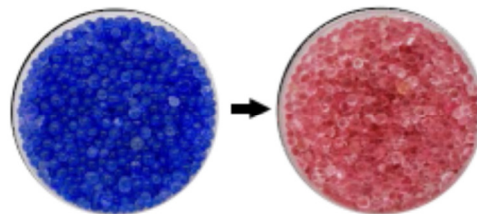
W odpowietrznikach odwilżających, zamiast czystych adsorbentów często stosuje się adsorbenty powlekane kolorowymi wskaźnikami nasycenia. W szczególności żel krzemionkowy dostępny jest na rynku z różnymi wskaźnikami nasycenia, pokazującymi zawartość wody powyżej pewnego

str. 16

poziomu. Pozwala to na wizualną ocenę stanu nasycenia desykanta bez konieczności stosowania dodatkowych narzędzi.

Niebieski żel krzemionkowy z chlorkiem kobaltu (II)

Chlorek kobaltu (II) (CoCl_2) był w przeszłości powszechnie używany jako kolorowy wskaźnik nasycenia. Gdy żel krzemionkowy adsorbuje wodę, wskaźnik zmienia kolor z niebieskiego na różowy. Powstaje wówczas uwodniony kompleks $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_2$. Proces ten jest odwracalny w trakcie suszenia.

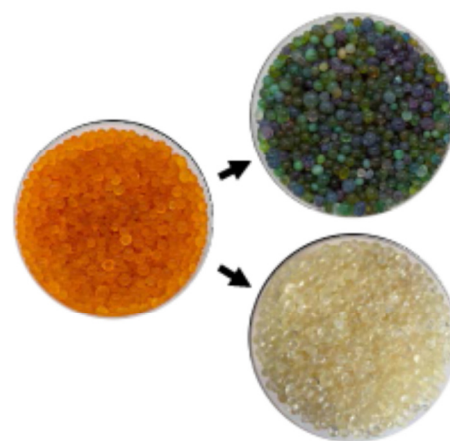


Do dzisiaj w niektórych odpowietrznikach odwilżających stosuje się „niebieski żel krzemionkowy”. Dzieje się tak pomimo faktu, że chlorek kobaltu (II) jest substancją rakotwórczą, teratogenną, mutageną i wykazującą ostrą i przewlekłą toksyczność dla środowiska wodnego.¹ Związek ten został umieszczony przez ECHA (European Chemicals Agency) na liście kandydackiej substancji stanowiących bardzo duże zagrożenie.²



Pomarańczowy żel krzemionkowy z organicznym wskaźnikiem nasycenia

Żel krzemionkowy ze wskaźnikami nasycenia nie posiadającymi w swoim składzie metali ciężkich są dostępne na rynku od wielu lat. Jako kolorowe wskaźniki często używane są wskaźniki pH, należące do barwników organicznych. Są to słabe kwasy i zasady, przy czym kwas różni się od odpowiadającej mu zasady kolorem. Przy zwiększającej się zawartości wody w żelu krzemionkowym, zmienia się pH oraz kolor wskaźnika, najczęściej z pomarańczowego na zielony lub biały. Proces ten jest odwracalny i może być wielokrotnie powtarzany.



Używając pomarańczowego żelu krzemionkowego należy zwrócić uwagę na rodzaj i zawartość wskaźnika nasycenia.

¹ Źródło: karta charakterystyki produktu „Chlorek kobaltu (II)”, Sigma-Aldrich www.sigmaaldrich.com

² www.echa.europa.eu

Dostępny na rynku jest przykładowo pomarańczowy żel z 2,5% zawartością fioletu metylowego³. Taka zawartość barwnika jest niepokojąca i uznawana za toksyczną.

Ze względu na fakt, że rodzaj zastosowanego barwnika ma kluczowe znaczenie zarówno dla jakości i trwałości żelu krzemionkowego, lecz również dla bezpieczeństwa użytkowników i dla ochrony środowiska, należy zawsze żądać od producenta Karty Charakterystyki Produktu zgodnej z Rozporządzeniem WE 1907/2006.

	niebieski żel krzemionkowy⁴ „Blue gel”	pomarańczowy żel krzemionkowy⁵ „Caldicgel Oranje B”	pomarańczowy żel krzemionkowy „wersja oferowana”
Substancje podlegające oznaczeniu jako niebezpieczne wg REACH	Chlorek kobaltu (II)	Fiolet metylowy	Brak
Niebezpieczeństwo	Rakotwórczy poprzez wdychanie. Ostra i przewlekła toksyczność.	Niebezpieczny dla organizmów wodnych, może powodować długoterminowe negatywne efekty dla środowiska	Nie zaliczany do substancji niebezpiecznych.
Postępowanie	Używać jedynie w dobrze wentylowanych pomieszczeniach. Nie wdychać oparów i pyłu.	Przechowywać w szczelnie zamkniętych pojemnikach. Pojemniki otwierać ze szczególną ostrożnością.	Unikać powstawania pyłu i aerozoli.
Informacje toksykologiczne	Produkt rakotwórczy.	Należy przestrzegać zwykłych środków ostrożności jak przy postępowaniu z chemikaliami.	Należy przestrzegać zwykłych środków ostrożności jak przy postępowaniu z chemikaliami.
Wpływ na środowisko	Może powodować długoterminowe negatywne efekty. Unikać przedostawania do wód powierzchniowych oraz kanalizacji.	Toksyczny dla organizmów wodnych. Może powodować długoterminowe negatywne efekty. Substancja szkodliwa dla środowiska.	Brak znanych lub przypuszczalnych negatywnych efektów.
Klasyfikacja	R22 – Szkodliwy po połknięciu R42/43 – Powoduje uczulenia wziewne i kontaktowe R49 – Rakotwórczy po wdychaniu R50/53 – Bardzo toksyczny dla organizmów wodnych, może powodować długotrwałe negatywne efekty	R22 – Szkodliwy po połknięciu R40 – Zaobserwowano działanie rakotwórcze R41 – Niebezpieczeństwo poważnego uszkodzenia oczu R50/53 – Bardzo toksyczny dla organizmów wodnych, może powodować długotrwałe negatywne efekty	Brak

³ źródło: karta produktu CALDIC Germany – Caldicgel Oranje B.

⁴ źródło: karta produktu Merck - Blaugel

⁵ źródło: karta produktu CALDIC Germany – Caldicgel Oranje B

3. Wyniki badań

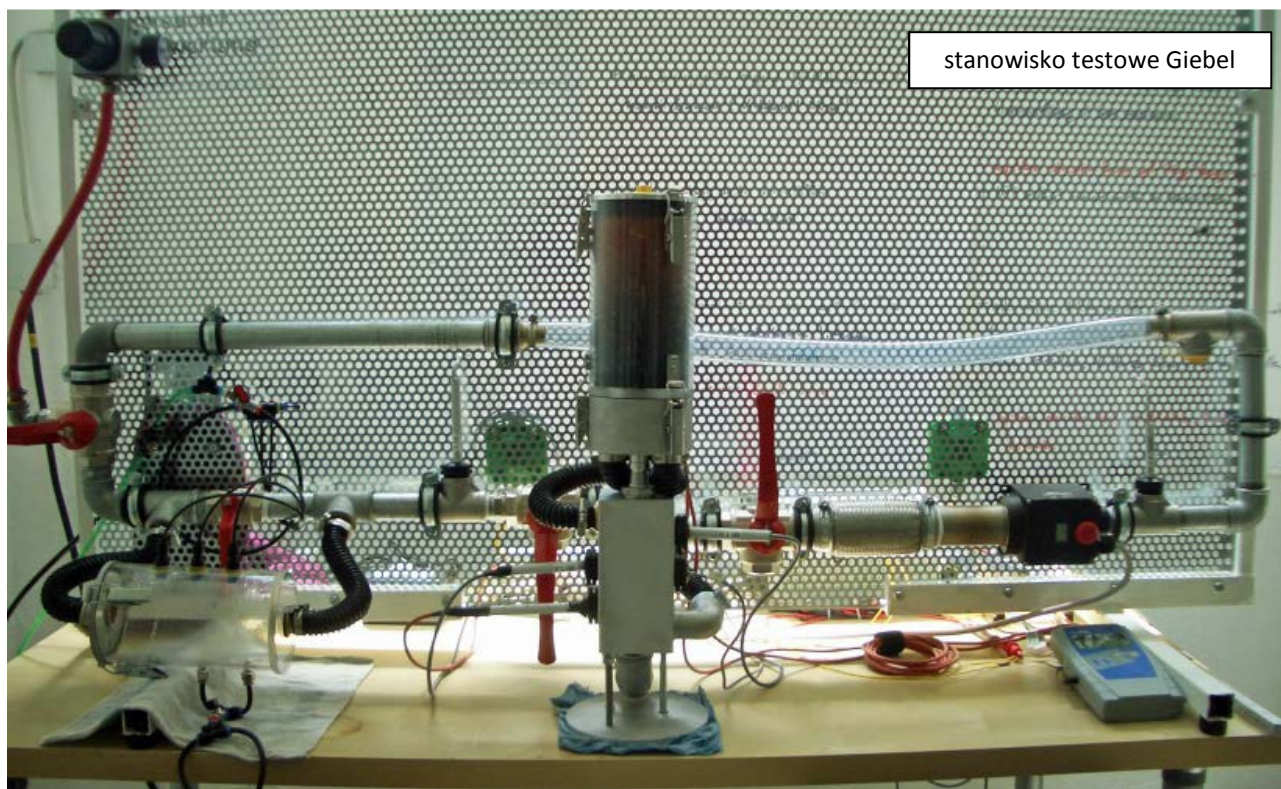
3.1. Metodologia i warunki badań

W rozdziale tym zawarte jest podsumowanie wyników badań oferowanych przez nas desykantów. Przedstawiamy je, by ułatwić porównanie najważniejszych cech tych adsorbentów i umożliwić podjęcie przemysłanej decyzji o wyborze jednego z nich.

Wszystkie adsorbenty są badane w odpowietrzniku odwilżającym, w naszym fabrycznym stanowisku testowym odwzorowującym typowe zastosowanie odpowietrznika. Warunki badań są stałe, dla umożliwienia obiektywnego porównania różnych właściwości desykantów. Określona masa adsorbenta jest poddawana działaniu ustalonego strumienia powietrza o wilgotności względnej 80%.

Przebieg adsorpcji oraz maksymalna pojemność adsorpcji jest określana poprzez nasycanie próbki parą wodną przez odpowiedni okres czasu, tak aby osiągnąć całkowite nasycenie desykanta.

Dodatkowo badana jest zdolność adsorbentów do samoregeneracji. W tym celu próbka desykanta jest na przemian nasycana i regenerowana suchym powietrzem, co symuluje cykl pracy instalacji w warunkach rzeczywistych. Do regeneracji używane jest powietrze uprzednio osuszone w adsorberze, bez dodatkowego podgrzewania. Wilgotność względna tego powietrza jest mniejsza niż 10%. Różnica w ciśnieniach cząstkowych pary wodnej pomiędzy desykantem a fazą gazową powoduje częściowe uwalnianie zgromadzonej wcześniej wody. Ilość uwalnianej wody oraz przebieg samoregeneracji zależą od rodzaju adsorbenta.



3.2. Natężenie przepływu powietrza – wpływ na czas eksploatacji odpowietrznika oraz efektywność osuszania powietrza

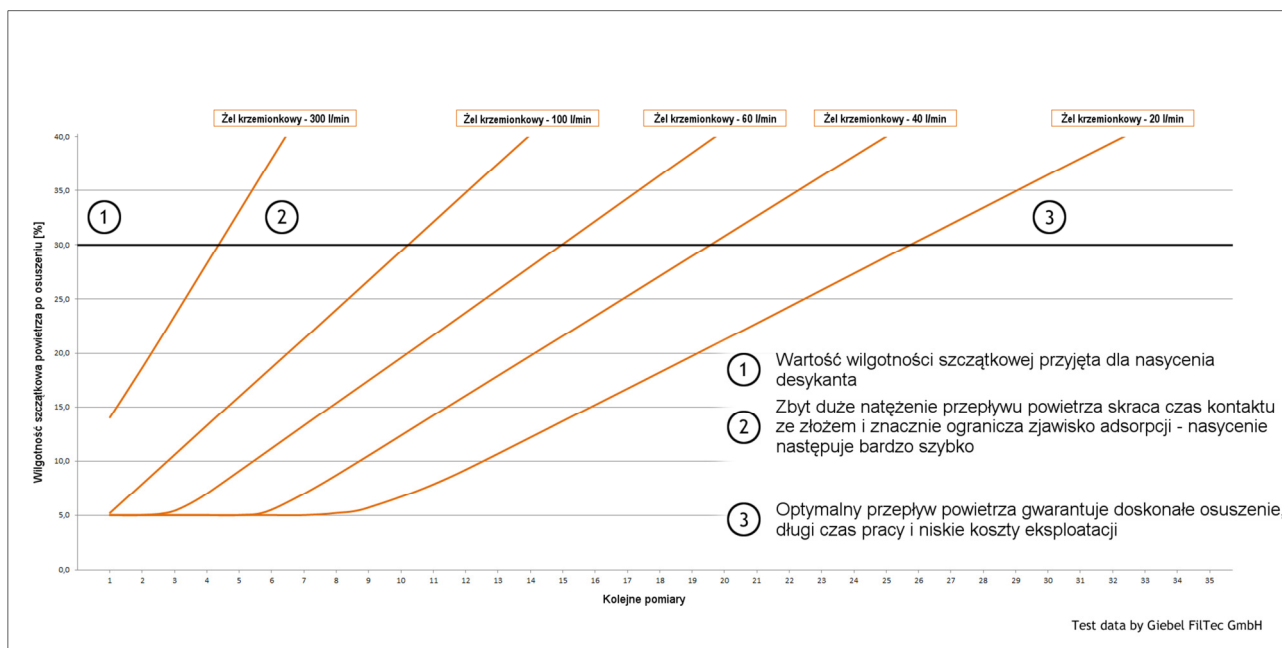
W zastosowaniach adsorberów można napotkać różne, często bardzo wysokie zalecane wartości natężenia przepływu powietrza. W naszym fabrycznym stanowisku testowym zbadaliśmy różne wartości przepływu dla typowego odpowietrznika odwilżającego, zawierającego 0,8 kg desykanta. Natężenie przepływu powietrza było regulowane pomiędzy 10 a 300 l/min, ze stałą wilgotnością względną wynoszącą 80% na wlocie do adsorbera. Analiza zgromadzonych danych pokazuje, że jeśli natężenie przepływu powietrza jest zbyt wysokie, czas pracy złoża adsorpcyjnego oraz związany z tym czas ochrony instalacji przed wilgocią mogą być znacząco skrócone.

Poziom wilgotności szczątkowej pozostałej w osuszonym powietrzu jest wprost proporcjonalny do natężenia przepływu powietrza. Oznacza to przede wszystkim, że wyższe natężenie przepływu wymagać będzie wcześniejszej wymiany lub regeneracji złoża desykanta. Gdy natężenie przepływu jest znacznie wyższe niż zalecane, adsorber jest przeciążony i nie jest w stanie efektywnie usuwać pary wodnej z powietrza, nawet gdy złoże desykanta jest całkiem nowe. Przyczyną tego jest zbyt krótki czas kontaktu powietrza ze złożem, uniemożliwiający efektywny proces adsorpcji.

Badane złoże żelu krzemionkowego może osuszyć przepływające powietrze przy 20°C do około 5% wilgotności względnej i utrzymać ten poziom przez dłuższy czas. Krótkie skoki natężenia przepływu do 60 l/min są na granicy akceptacji, ponieważ desykant, pomimo początkowej zdolności do

str. 20

utrzymania poziomu wilgotności szczątkowej na podobnym poziomie, wykazuje już znacząco krótszy efektywny czas pracy. Jeśli natężenie przepływu osiągnie 300 l/min, adsorber nasyci się całkowicie w bardzo krótkim czasie i wilgotność szczątkowa w osuszonym powietrzu osiąga 10% wilgotności względnej w ciągu kilku minut.



Wnioski:

- Zbyt wysokie wartości natężenia przepływu powietrza znacząco zakłócają pracę adsorbera
- Ciągłe przeciążanie adsorbera doprowadza do przedostania się wody do systemu
- Wysokie natężenia przepływu skracają proporcjonalnie czas efektywnej pracy adsorbera
- Wilgotność szczątkowa w osuszonym powietrzu może być na stałe obniżona do poziomu 5% wilgotności względnej przy zastosowaniu żelu krzemionkowego, jeśli przestrzegane jest zalecane natężenie przepływu powietrza

Należy zawsze przestrzegać zalecanych wartości natężenia przepływu powietrza!

3.3. DrySorbent – idealny desykant do odpowietrzników odwilżających

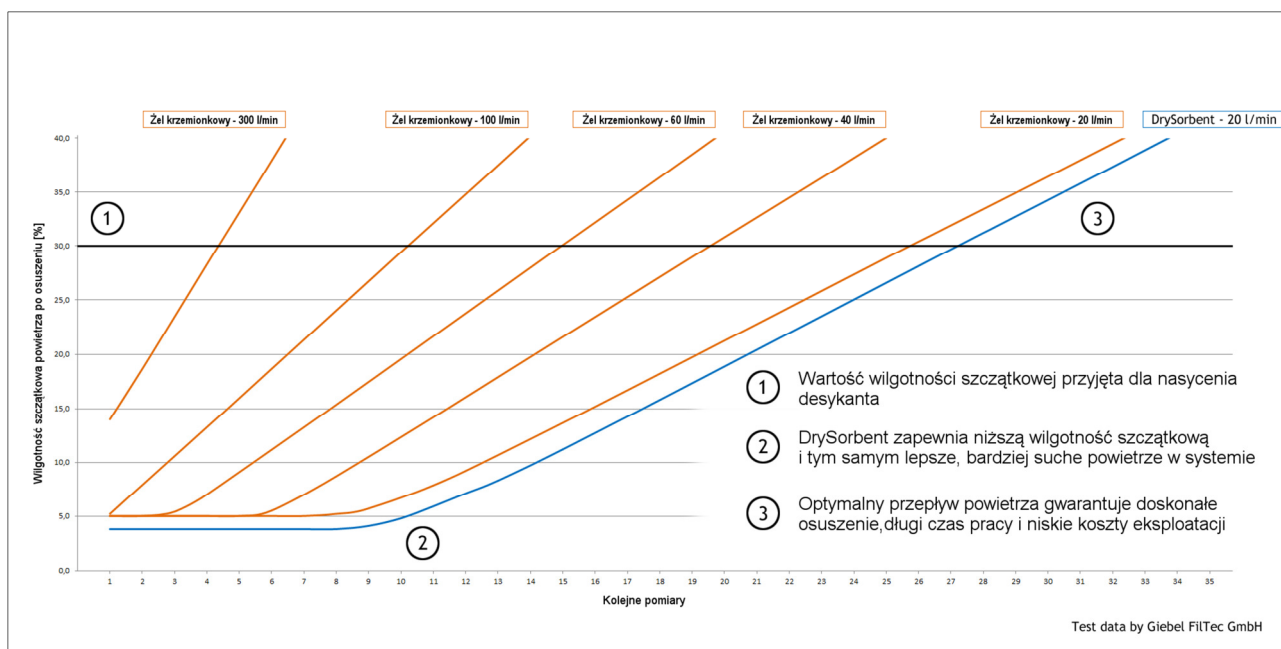
DrySorbent jest desykantem do zastosowań profesjonalnych, o wyjątkowych właściwościach. Ta mieszanina została specjalnie opracowana i przebadana dla osiągnięcia połączonych zalet żelu krzemionkowego z kolorowym wskaźnikiem nasycenia oraz sita molekularnego.

Niezależnie czy przy niskich, czy przy wysokich wartościach wilgotności względnej, DrySorbent wykazuje wysoką aktywność adsorpcyjną w stosunku do pary wodnej, umożliwiając tym samym

str. 21

szeroki wachlarz zastosowań. Poniżej 5% wilgotności względnej DrySorbent może osuszyć powietrze w większym stopniu niż powszechnie używany jednorodny żel krzemionkowy. Kolorowy wskaźnik nasycenia, zmieniający barwę z pomarańczowego na zielony, jest pozbawiony metali ciężkich i nie stwarza zagrożenia dla zdrowia.

Podczas typowego procesu adsorpcji, DrySorbent zapewnia znaczące zmniejszenie ilości pary wodnej przedostającej się do systemu. Aż do osiągnięcia pełnego nasycenia i punktu przebicia złoża adsorpcyjnego (co jest sygnalizowane całkowitą zmianą koloru na zielony), DrySorbent zapewnia znacząco niższy poziom wilgotności względnej niż zwykły żel krzemionkowy. Zapewnione jest dalsze obniżenie temperatury punktu rosy, przy zachowaniu maksymalnej pojemności adsorpcji porównywalnej z żel krzemionkowym.



Podsumowanie:

- Wysoka hydrofilowość, zarówno przy niskich jak i wysokich wartościach wilgotności względnej
- Zmiana koloru wskazuje na nasycenie
- Niższy poziom wilgotności na wyjściu niż w przypadku jednorodnego żelu krzemionkowego
- Zachodząca samoregeneracja

Lepszy desykant do wszystkich zastosowań!

3.4. Nasycenie i poziomy wilgotności w adsorberze

Wilgotne powietrze wpływa do adsorbera od dołu. Dolne warstwy desykanta, dzięki swym higroskopijnym właściwościom, pochłaniają wodę i nasycają się do maksimum. Górne warstwy złoża pozostają w tym czasie suche. Gdy dolne warstwy osiągną stan nasycenia, wilgotne powietrze przepływa przez nie, dochodząc do suchej warstwy, gdzie adsorbowana jest pozostała para wodna. Obszar, w którym następuje osuszanie jest nazywany Strefą Transferu Masy (MTZ – Mass Transfer Zone). Poniższy wykres pokazuje przebieg procesu osuszania w MTZ. Powierzchnia poniżej poszczególnymi krzywymi pokazuje sprawność adsorbera.

Używany przez nas żel krzemionkowy zmienia kolor z pomarańczowego na zielony, gdy przyjmie ilość wody odpowiadającą 6% masy żelu. Mimo iż żel jest zielony, jego maksymalna pojemność adsorpcji nie została jeszcze osiągnięta.

