



DOŚWIADCZALNE SPRAWDZENIE CHŁONNOŚCI POCHŁANIACZY WILGOCI W RÓŻNYCH WARUNKACH KLIMATYCZNYCH

EXPERIMENTAL CHECKING OF ABSORPTION OF MOISTURE ABSORBERS IN VARIOUS CLIMATE CONDITIONS

Janusz KORZENIOWSKI

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka
Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszyński St., 05-220 Zielonka, Poland
Author's e-mail address: korzeniowski@witu.mil.pl.; ORCID: 0000-0002-5955-8485

DOI 10.5604/01.3001.00140.2725

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań dostępnych na rynku i aktualnie eksploatowanych pochłaniaczy wilgoci. Doświadczalnie sprawdzono parametry dwóch typów żeli krzemionkowych, glinki bentonitowej i dwóch typów sit molekularnych dostępnych na rynku oraz aktualnie eksploatowanego w sprzęcie uzbrojenia wielokrotnie regenerowanego silikażelu. W ramach pracy określono maksymalną chłonność pochłaniaczy wilgoci dla różnych warunków klimatycznych, minimalny poziom wilgotności względnej (RH) w osuszanej komorze pomiarowej dla różnych ilości absorbentu oraz trwałości wiązania wody w zmiennych warunkach temperaturowych. Analiza otrzymanych wyników pozwoliła porównać rodzaje absorbentów określić ich zalety i wady oraz pozwoliła ocenić stopień zużycia aktualnie eksploatowanego absorbentu wilgoci w sprzęcie uzbrojenia.

Słowa kluczowe: absorbent, pochłaniacz wilgoci, silikażel, żel krzemionkowy, glinka bentonitowa, sita molekularne, maksymalna chłonność pochłaniaczy, trwałość wiązania wody, minimalny poziom wilgotności względnej

1. Wstęp

Większość szkód powstałych podczas długotrwałego przechowywania ładunków, w tym

Abstract: The article presents results of tests for moisture absorbers currently used and available on the market. Experimental investigations were carried out for two types of silica gels, the bentonite clay and two types of molecular sieves available on the market, as well as for the re-used silica gel currently deployed in weapon systems. As part of the work, the maximum absorbency of moisture absorbers for various climatic conditions, the minimum relative humidity (RH) in the drying measuring chamber for various amounts of absorbent, and the durability of water binding at variable temperature conditions were determined. Analysis of results allowed both to compare advantages and disadvantages of various absorbents, and to assess a degree of the wear for moisture absorbents currently used in armament equipment.

Keywords: absorbent, moisture absorber, silica gel, bentonite clay, molecular sieves, maximum absorbency of moisture absorbers, water binding durability, minimum relative humidity (RH)

1. Introduction

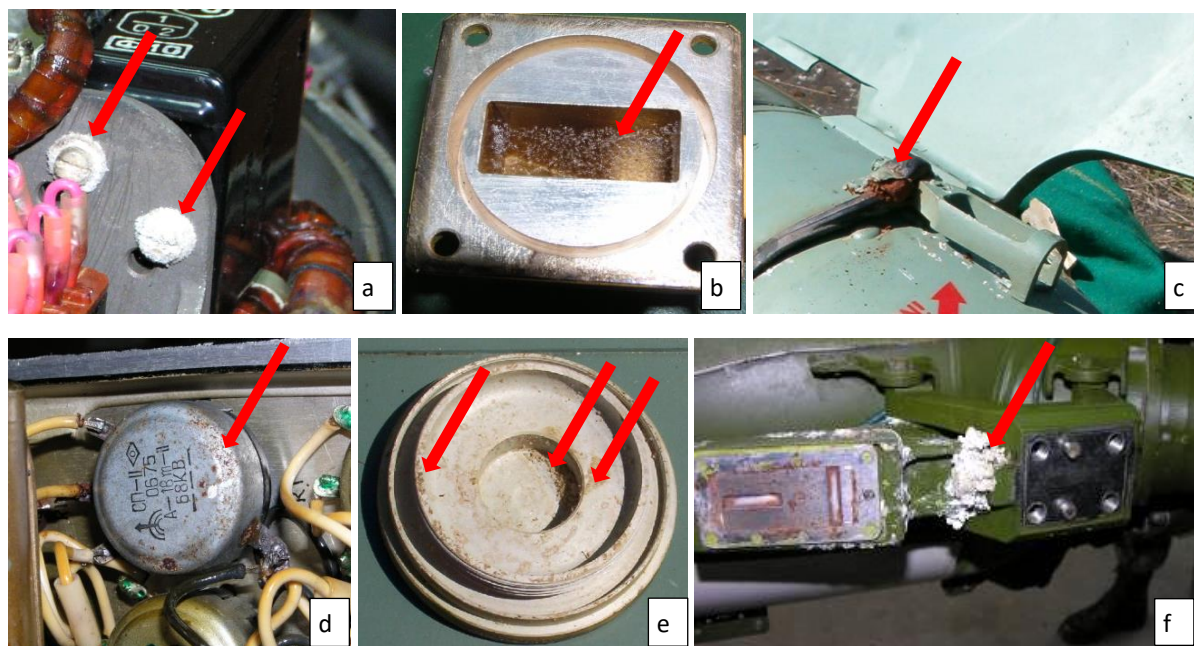
Most defects occurring at long time storing of articles including electronics,

elektroniki, pneumatyki i materiałów wybuchowych spowodowana jest przez wilgoć zamkniętą we wnętrzu opakowań magazynowych (Ciekot, 2017). Pod wpływem zmiennych warunków temperaturowych wilgotne powietrze w zamkniętej przestrzeni ulega kondensacji, która często może spowodować nieodwracalne uszkodzenia w przechowywanych przedmiotach (Woźniak, 2018). Zastosowanie pochłaniaczy wilgotności pomaga wyeliminować korozję, utlenianie oraz uchronić przechowywane przedmioty przed pleśnią, grzybami i nieprzyjemnym zapachem.

Odpowiednie zabezpieczenie przechowywanych zapasów materiałów eksploatacyjnych i środków bojowych przed degradującym wpływem środowiska jest priorytetowym celem każdej służby w warunkach pokoju (MON, 2013; Kukielka, Ciekot, Woźniak, 2016).

pneumatics, and explosive materials is caused by moisture contained inside the storing packings (Ciekot, 2017). Changeable temperatures make the wet air in constrained space condensate, what may cause irreversible damages in stored goods (Woźniak, 2018). Application of moisture absorbers helps to eliminate the rust, corrosion, oxidation, and protect the stored goods against the mould, fungi, and unpleasant scent.

Suitable protection of stored resources of maintenance materials and ordnance against damaging influence of the environment is a priority of each service at peacetime (Kukielka, Ciekot, Woźniak, 2016).



Rys. 1. Zmiany spowodowane nadmierną wilgotnością powietrza w opakowaniach magazynowych przechowywanych w niewłaściwych warunkach (strzałkami zaznaczono miejsca korozji)

Fig. 1. Changes made by excessive moisture inside the storing containers kept at improper conditions (the arrows show the places of corrosion)

W wieloletnich badaniach przedłużających okres przydatności technicznej środków bojowych zauważalna jest niepokojąca ten-

The tests conducted over many years on prolongation of technical serviceability for the ordnance show that there is a noticeable

dencja wzrostu ilości zmian spowodowanych nadmierną wilgotnością powietrza w opakowaniach magazynowych (rys.1).

Analizując możliwe przyczyny pogarszającej się jakości powietrza w opakowaniach magazynowych należy zastanowić się nad stanem technicznym i prawidłowością działania stosowanych już od ponad pół wieku pochłaniaczy wilgoci oraz sprawdzić parametry aktualnie stosowanych nowoczesnych absorbentów.

W niniejszej pracy przedstawiono doświadczalnie sprawdzone parametry absorpcyjne nowych i aktualnie stosowanych pochłaniaczy wilgotności powietrza.

2. Ogólne informacje o pochłaniaczach wilgoci

Pochłaniacze (absorbenty) wilgoci są to higroskopijne substancje, które mają za zadanie zmniejszyć lub usunąć niepożądaną zawartość wody w powietrzu wewnątrz opakowania ochronnego. Ich głównym celem jest redukcja lub spowolnienie agresywnego wpływu wody na przechowywane produkty i zapewnienie im najwyższej jakości.

Najczęściej stosowanymi pochłaniaczami wilgoci są:

- żel krzemionkowy,
- glina bentonitowa,
- sita molekularne.

2.1. Żel krzemionkowy

Żel krzemionkowy mimo swojej nazwy nie jest żelazem (nie należy go mylić z żelazem silikonowym). Jest bezpostaciową, porowatą formą tlenku krzemu (krzemionki) syntetycznie wytworzoną z krzemianu sodu. Składa się z nieregularnego trójwymiarowego szkieletu przemiennych atomów krzemu i tlenu z lukami i porami o skali nanometrowej. Żel krzemionkowy przyciąga i zatrzymuje wilgoć przez absorpcję i kondensację kapilarną.

tendency on growing number of changes caused by excessive air dampness inside the storing containers (Fig.1).

Both technical status and correctness of operation of moisture absorbers which have been used over half of a century, and the parameters of currently used modern absorbers, have to be investigated to analyse possible reasons of deterioration of air quality inside storing containers.

The paper presents results of experimental investigations on absorbing parameters of the new and currently used air moisture absorbers.

2. General Performance of Moisture Absorbers

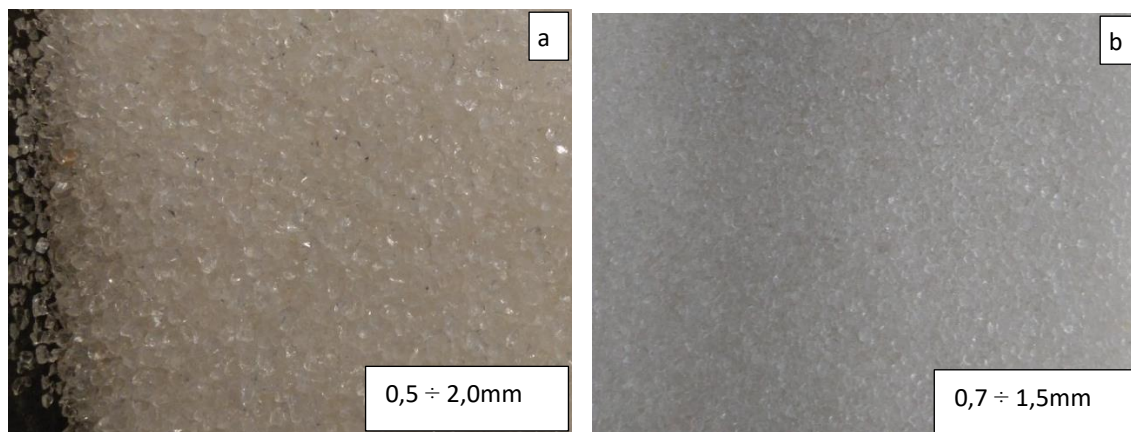
Absorbers (absorbents) of moisture are the hygroscopic substances used for reduction or removal of unwanted percentage of water contained in the air inside a protecting packing. They are dedicated in general to reduce an aggressive impact of water into the stored goods and to provide a possibly high quality for them.

Following moisture absorbers are most frequently used:

- Silica gel,
- Bentonite clay,
- Molecular sieves.

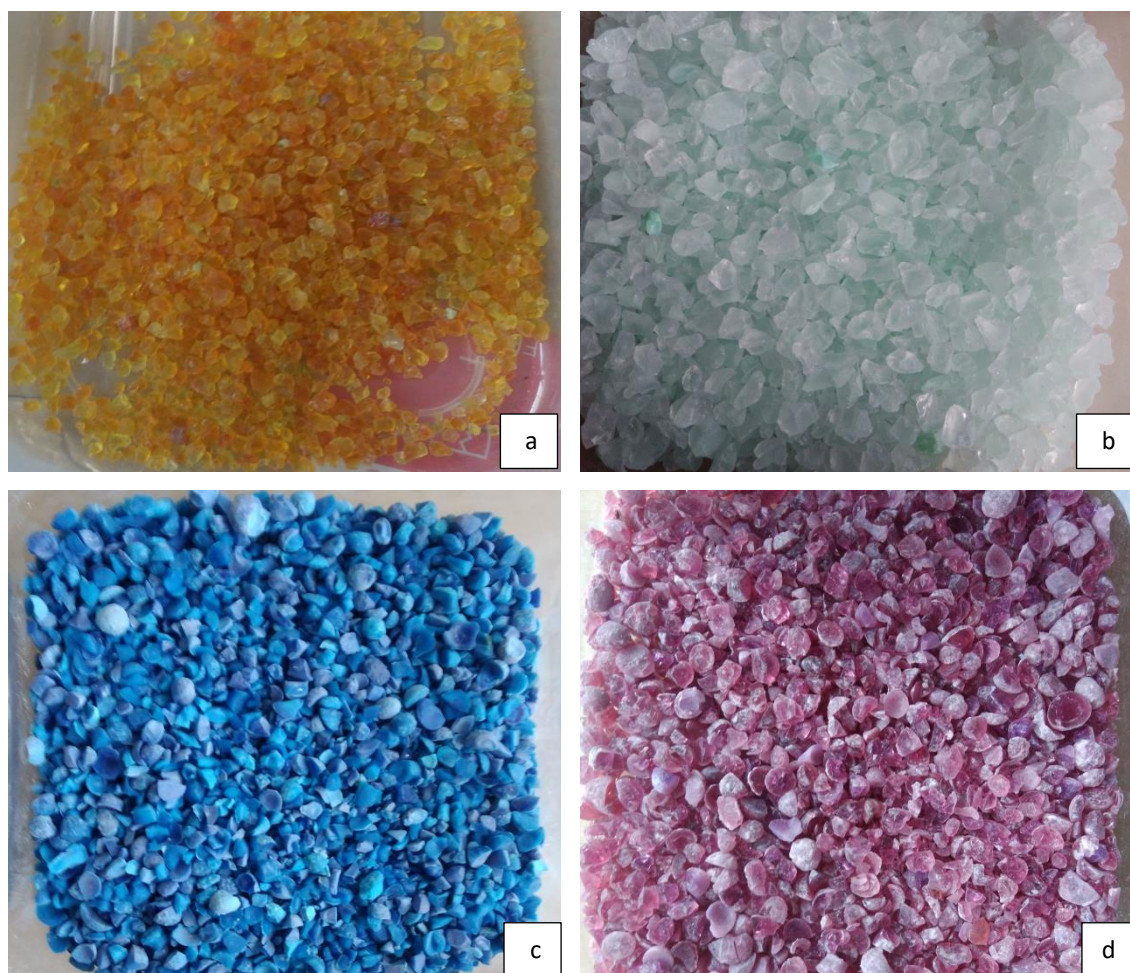
2.1. Silica Gel

Just contrary to its name the silica gel is merely not a gel (it has not to be mistaken with the silicone gel) and it is a shapeless, porous form of silicone oxide (silica) which is fabricated synthetically from the sodium silicate. It has the structure of three dimensional irregular frame of alternating silicone and oxygen atoms with the arcs and pores of nanometric scale. The silica gel attracts and arrests the moisture due to the absorption and capillary condensation.



Rys. 2. Żel krzemionkowy biały: a) o granulacji $0,5 \div 2,0$ mm; b) o granulacji $0,7 \div 1,5$ mm

Fig. 2. White silica gel: a) granulation $0.5 \div 2.0$ mm; b) granulation $0.7 \div 1.5$ mm



Rys. 3. Żel krzemionkowy barwiony (wskaźnikowy): a) brązowy żel krzemionkowy - suchy; b) brązowy żel krzemionkowy - po nasyceniu wodą; c) niebieski żel krzemionkowy - suchy; d) niebieski żel krzemionkowy - po nasyceniu wodą

Fig. 3. Coloured silica gel (indicating): a) brown silica gel - dry; b) brown silica gel - saturated with water; c) blue silica gel - dry; d) blue silica gel - saturated with water

Jest obojętny chemicznie, nietoksyczny, niepalny i bezpieczny w użyciu (Gwadera, 2013). Może chronić żywność, leki, elektronikę, wrażliwe materiały i wiele innych. Stosowany w pochłaniaczach wilgoci żel krzemionkowy ma postać kulek lub drobnych kryształków o rozmiarze 0,2 – 8,5 mm.

Na rys 2 ÷ 4 przedstawiono różne rodzaje żelu krzemionkowego.



It is neutral chemically, nontoxic, inflammable and safe in use (Gwadera, 2013). It may protect the food, drugs, electronics, and sensitive materials, and other goods. When used for moisture absorbers the silica gel has a form of pellets or tiny crystals with dimensions of 0.2 – 8.5 mm.

Fig. 2 ÷ 4 shows different types of the silica gel.

Rys. 4. Losowo wybrany żel krzemionkowy z aktualnie eksploatowanego sprzętu uzbrojenia (wielokrotnie regenerowany)

Fig. 4. Silica gel randomly taken from currently used equipment (after multiple regenerations)

2.2. Glinka bentonitowa

Glinka bentonitowa ma pochodzenie naturalne. Powstaje z pyłu wulkanicznego w wyniku oddziaływania warunków atmosferycznych. Nazwa bentonit wzięła się od Fortu Bentona w stanie Wyoming w Stanach Zjednoczonych, gdzie odkryto ogromne złoża tego surowca.

Glinka bentonitowa ma postać drobnego szarego proszku. Jest bardzo delikatna. Można powiedzieć, że jest aksamitna w dotyku. Charakteryzuje się także brakiem zapachu oraz tym, że nie barwi.

Ze względu na swoje właściwości absorpcyjne glinka bentonitowa jest wykorzystywana do produkcji pochłaniaczy wilgoci. Posiada ona niesamowitą zdolność wchłaniania wody. Po kontakcie z wodą nie rozpuszcza się, tylko pęcznieje i przybiera postać gąbki. Stosowana w pochłaniaczach wilgoci glinka bentonitowa ma kształt drobnych ziaren o wymiarze 0,25 – 6,3 mm.

2.2. Bentonite Clay

The bentonite clay is of a natural origin. It is created from the volcanic dust in effect of action of atmospheric conditions. The name of bentonite comes from the Benton Fort in the Wyoming State of the United States where huge deposits of the stuff was discovered.

The bentonite clay has a form of a tiny grey powder. It is very soft. It remembers a velvet at touching. It is also scentless and resistant to colouring.

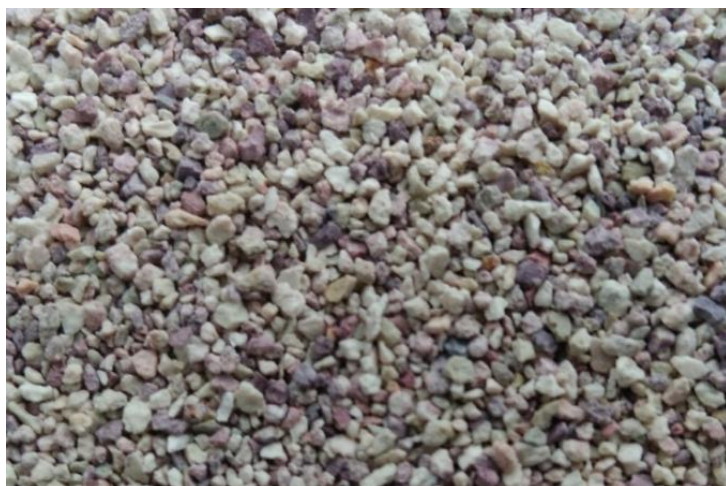
Due to its absorbing properties the bentonite clay is used for fabrication of moisture absorbers. It is incredibly efficient at water absorption. After contacting the water it does not dissolve, but swells and becomes a sponge. The bentonite clay used for moisture absorbers has a form of tiny grains with dimensions of 0.25 – 6.3 mm.

Aktywny bentonit nie jest substancją szkodliwą i niebezpieczną dla środowiska, nie ma konieczności jego utylizacji. Jest na tyle bezpieczny, że stosowany jest w wielu branżach. Wykorzystuje się go na przykład w przemyśle kosmetycznym, a nawet farmaceutycznym.

Na rys. 5 pokazano glinę bentonitową.

The active bentonite is not harmful or dangerous for the environment, so there is no need of its utilisation. Due to its safety it is used in many branches. It is used for instance in the cosmetic, and even in pharmaceutical, industries.

The bentonite clay is shown in Fig. 5.



Rys. 5. Glinka bentonitowa

Fig. 5. Bentonite clay

2.3. Sita molekularne

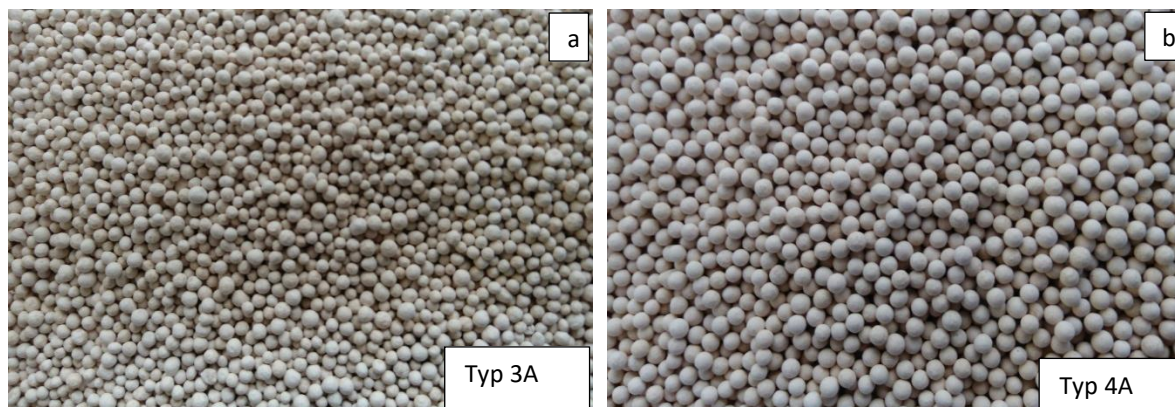
Sita molekularne to bardzo porowate granulki wykonane najczęściej z syntetycznych materiałów podobnych do zeolitów (naturalnych minerałów o różnym składzie chemicznym określanych nazwą glino-krzemiany). W swojej strukturze posiadają pory i kanały o wielkości zależnej od typu sita, które pozwalają wnikać w głąb materiału cząstkom odpowiednio małym, zatrzymując cząsteczki duże (Minerals Adsorbents...).

Sita o odpowiednio dobranym składzie są często wykorzystywane jako pochłaniacze wilgoci w opakowaniach leków, żywności i elektroniki. Na rys. 6 przedstawiono dwa rodzaje sit molekularnych.

2.3. Molecular Sieves

The molecular sieves are made of highly porous granules of synthetic materials similar to zeolites (natural minerals of different chemical composition named as aluminium silicates). Their structure contains the pores and channels of various sizes depending on the type of the sieve and providing the penetration of respectively small particles inside the material, but barring the large particles (Minerals Adsorbents...).

The sieves with a suitably matched composition are often used as the moisture absorbers in packings of drugs, food and electronics. Fig. 6 shows two types of molecular sieves.



Rys. 6. Sita molekularne: a) typu 3A; b) typu 4A

Fig. 6. Molecular sieves: a) type 3A; b) type 4A

3. Zakres badań

W celu sprawdzenia i porównania podstawowych parametrów absorbentów wykonano pomiary mające za zadanie:

- określenie maksymalnej chłonności pochłaniaczy wilgoci;
- określenie minimalnego poziomu wilgotności względnej (RH) w osuszanej komorze pomiarowej;
- określenie trwałości wiązania wody w zmiennych warunkach temperaturowych.

3.1. Określenie maksymalnej chłonności pochłaniaczy wilgoci

Celem niniejszego badania było sprawdzenie chłonności pochłaniaczy wilgoci i określenie ich maksymalnej chłonności w różnych warunkach klimatycznych.

Badania wykonano w sześciu punktach pomiarowych:

- temperaturze 50°C i wilgotności względnej 95%;
- temperaturze 50°C i wilgotności względnej 50%;
- temperaturze 50°C i wilgotności względnej 20%;
- temperaturze 10°C i wilgotności względnej 95%;

3. Scope of Investigations

The measurements were carried out to examine and compare following basic parameters of absorbents:

- Maximal absorption power of moisture absorbers;
- Minimal level of relative humidity (RH) inside a drying measurement chamber;
- Durability of water binding at changeable temperatures.

3.1. Determination of Maximal Absorption of Moisture Absorbers

The investigation is aimed to check the absorption of moisture absorbers and determine their maximal saturation at different climatic conditions.

Tests were carried out for six measurement points:

- temperature 50°C and relative humidity 95%;
- temperature 50°C and relative humidity 50%;
- temperature 50°C and relative humidity 20%;
- temperature 10°C and relative humidity 95%;

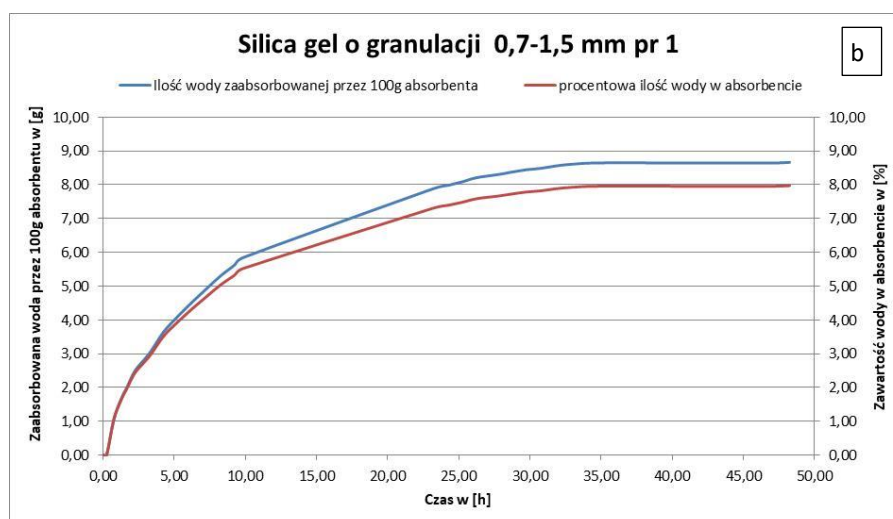
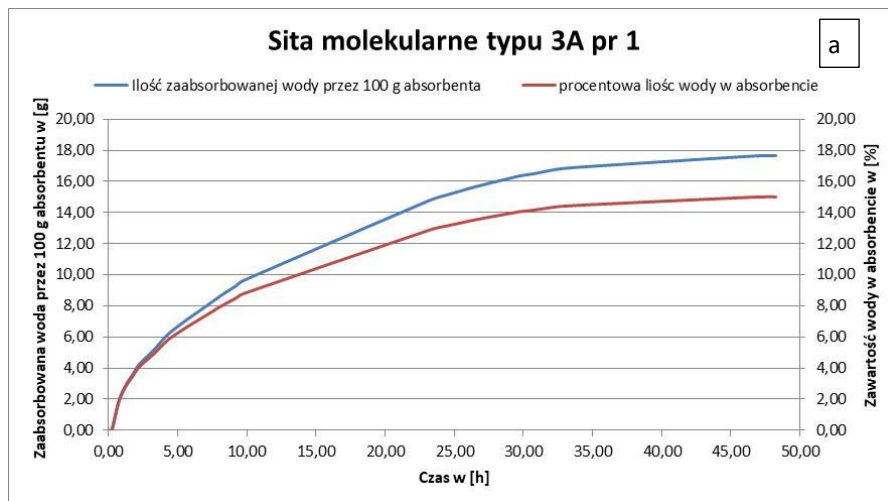
- temperaturze 10°C i wilgotności względnej 50%;
- temperaturze 10°C i wilgotności względnej 20%.

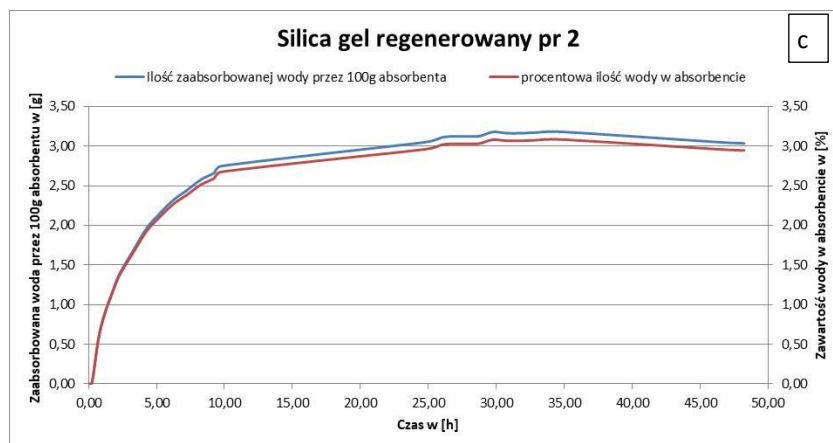
- temperature 10°C and relative humidity 50%;
- temperature 10°C and relative humidity 20%.



Rys. 7. Próbki materiałów absorpcyjnych w trakcie badania w komorze klimatycznej

Fig. 7. Samples of absorbing materials tested in climatic chamber



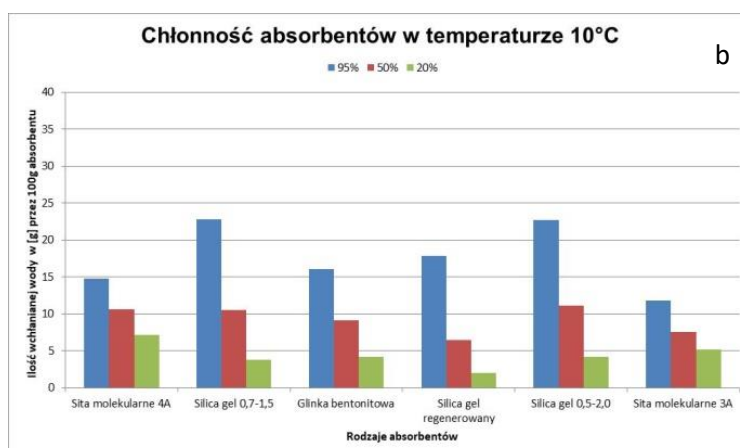
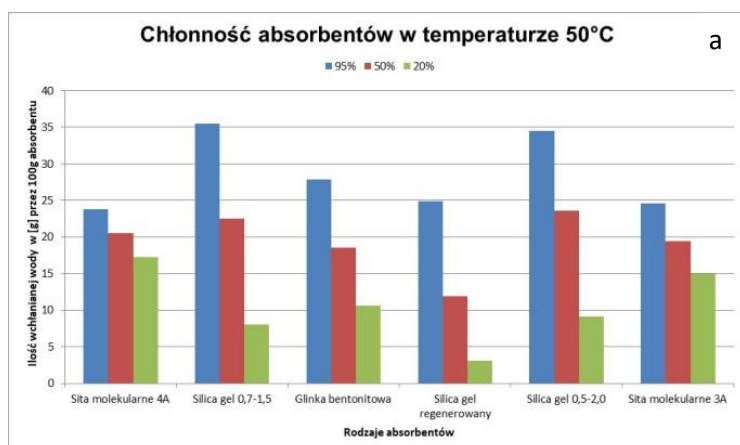


Rys. 8. Przykładowe wykresy zmiany zawartości wody w badanych absorbentach:
 a,b,c – badania wykonane w temperaturze 50°C i wilgotności względnej 20%

Fig. 8. Exemplary graphs of water contents for tested absorbents:
 a,b,c – tests carried out at temperature 50°C and relative humidity 20%

Wyniki chłonności absorbentów dla stałej temperatury otoczenia przedstawiono na rys. 9 i 10, natomiast dla stałej wilgotności względnej (RH) przedstawiono na rys. 11 i 12.

Results of absorption power for desiccants at constant ambient temperature are shown in Fig. 9 and 10, and at constant relative humidity (RH) in Fig. 11 and 12.

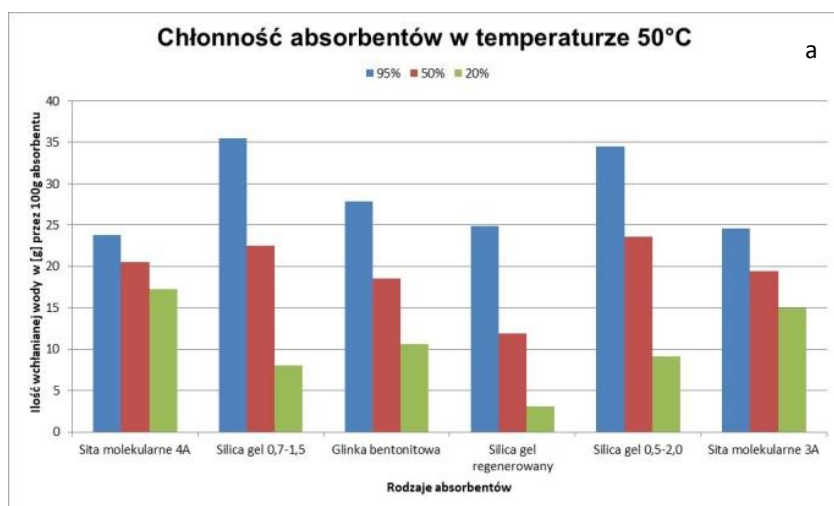


Rys. 9. Maksymalna chłonność absorbentów po 24h:

- a) chłonność 100 g absorbentów w temperaturze 50°C dla RH 95%, 50% i 20%;
 b) chłonność 100g absorbentów w temperaturze 10°C dla RH 95%, 50% i 20%

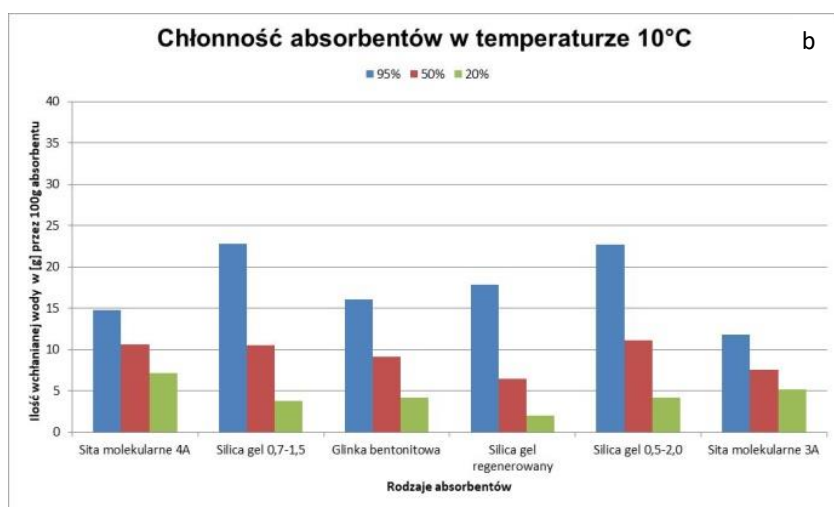
Fig. 9. Maximal absorption power for absorbents after 24 hours.

- a) absorption for 100g of absorbents at temperature 50°C for RH 95%, 50%, 20%;
 b) absorption for 100g of absorbents at temperature 10°C for RH 95%, 50%, 20%.



Chłonność 100g adsorbentów w temperaturze 50°C dla RH 95%, 50% i 20%

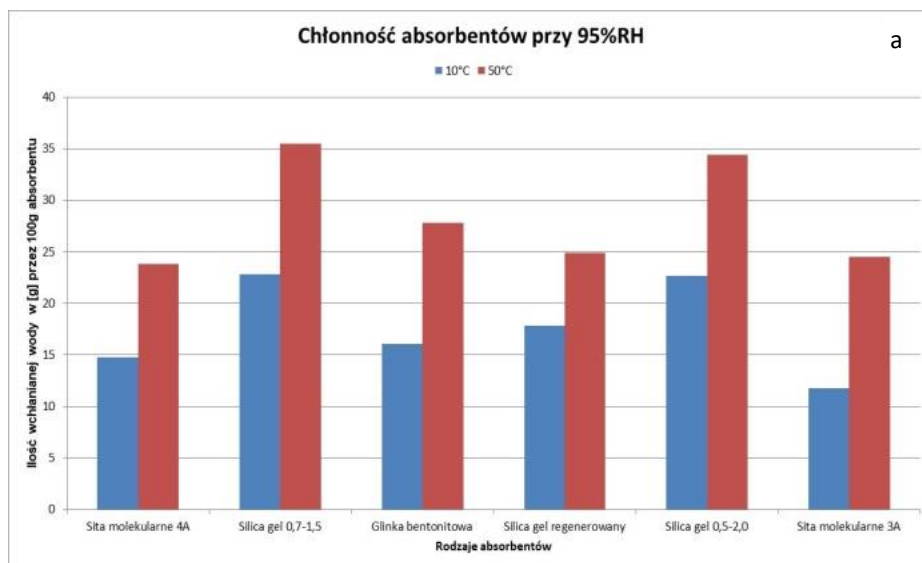
Absorption power for 100g of adsorbents at temperature 50°C for RH 95%, 50%, 20%



Chłonność 100g adsorbentów w temperaturze 10°C dla RH 95%, 50% i 20%

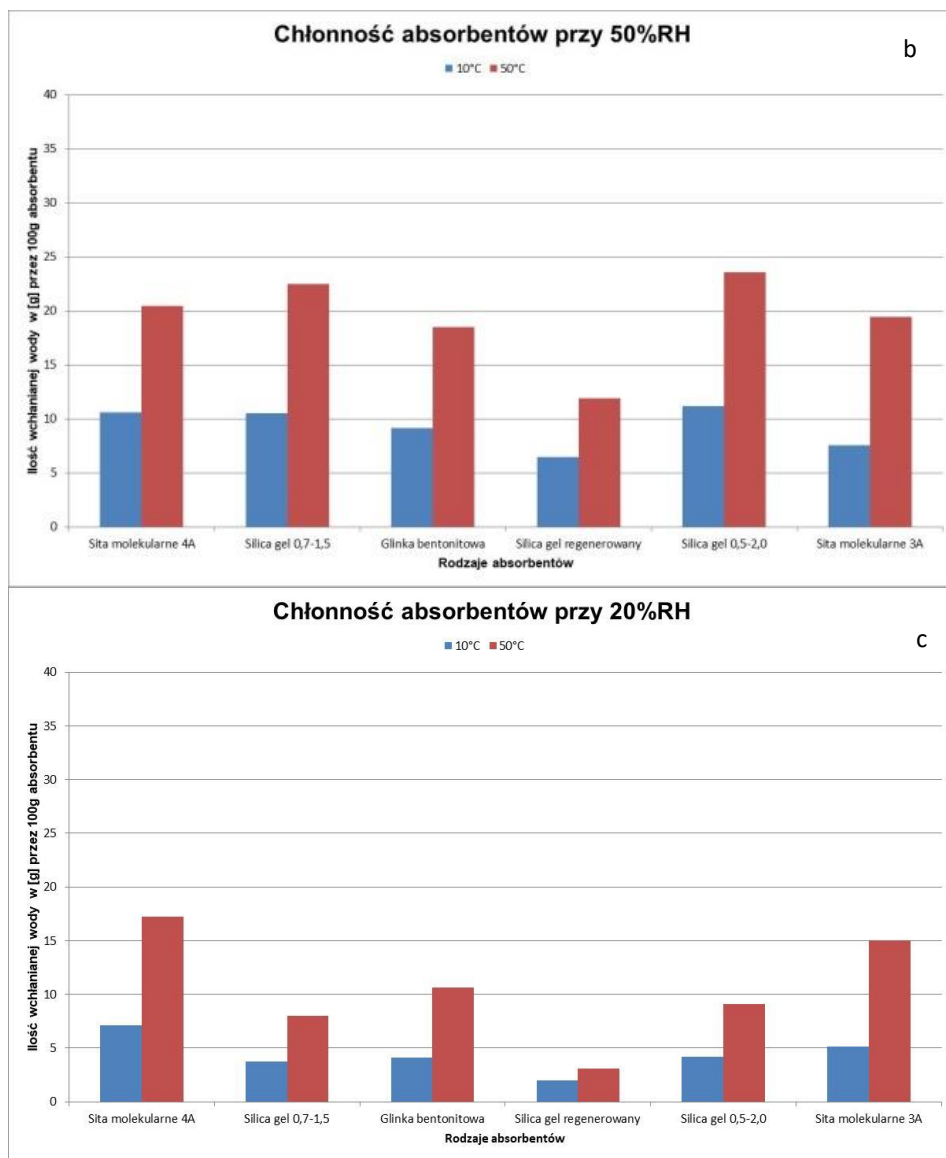
Absorption power for 100g of adsorbents at temperature 10°C for RH 95%, 50%, 20%

Rys. 10. Maksymalna chłonność adsorbentów po 48h
Fig. 10. Maximal absorption power after 48 hours



Chłonność 100 g adsorbentów przy RH 95% w temperaturze 50°C i 10°C

Absorption power for 100 g of adsorbents at RH 95% and temperature 50°C and 10°C



Chłonność 100 g adsorbentów przy RH 50% w temperaturze 50°C i 10°C

Absorption power for 100g of adsorbents at RH 50% and temperature 50°C and 10°C

Chłonność 100 g adsorbentów przy RH 20% w temperaturze 50°C i 10°C

Absorption power for 100 g of adsorbents at RH 20% and temperature 50°C and 10°C

Rys. 11. Maksymalna chłonność adsorbentów po 24h

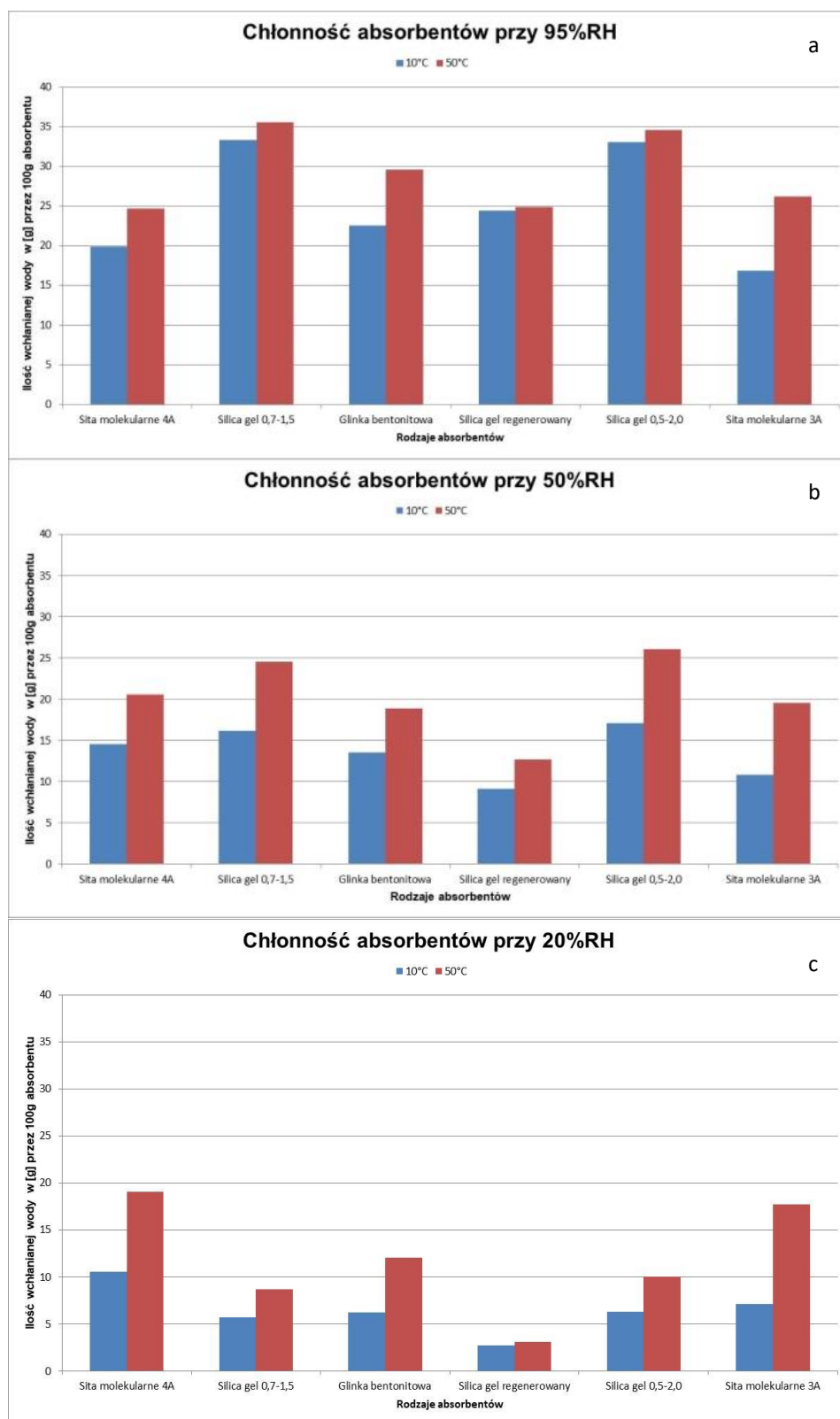
Fig. 11. Maximal absorption power after 24 hours

Na podstawie przeprowadzonych badań określających maksymalną chłonność można zauważyć, że możliwości absorpcyjne adsorbentów zależą od wilgotności i temperatury otaczającego powietrza.

Maksymalną ilość wchłanianej wody uzyskuje się, gdy otaczające powietrze charakteryzuje się wysoką temperaturą i wilgotnością natomiast minimalne wartości występują dla niskiej temperatury i wilgotności.

On the grounds of performed tests on the maximal absorbency it may be noted that absorbing capacities of desiccants depend on the humidity and temperature of the surrounding air.

Maximal volumes of absorbed water are received when the surrounding air has high temperature and humidity, whereas the minimal values occur at low temperature and humidity.



Chłonność 100 g adsorbentów przy RH 95% w temperaturze 50°C i 10°C

Absorption power for 100 g of adsorbents at RH 95% and temperature 50°C and 10°C

Chłonność 100 g adsorbentów przy RH 50% w temperaturze 50°C i 10°C

Absorption power for 100 g of adsorbents at RH 50% and temperature 50°C and 10°C

Chłonność 100 g adsorbentów przy RH 20% w temperaturze 50°C i 10°C

Absorption power for 100 g of adsorbents at RH 20% and temperature 50°C and 10°C

Rys. 12. Maksymalna chłonność adsorbentów po 48h

Fig. 12. Maximal absorption power after 48 hours

Przeliczając otrzymane wyniki – 1 kg absorbentu w ciągu 48 godzin zaabsorbował:

a) dla temperatury 50°C i wilgotności względnej (RH) 95%:

- ok. 352 g wody dla żelu krzemionkowego;
- ok. 248 g wody dla żelu krzemionkowego regenerowanego;
- ok. 295 g wody dla glinki bentonitowej;
- ok. 254 g wody dla sita molekularnego.

b) dla temperatury 10°C i wilgotności względnej (RH) 20%:

- ok. 60 g wody dla żelu krzemionkowego;
- ok. 28 g wody dla żelu krzemionkowego regenerowanego;
- ok. 62 g wody dla glinki bentonitowej;
- ok. 88 g wody dla sita molekularnego.

3.2. Określenie minimalnego poziomu wilgotności względnej (RH) w osuszanej komorze pomiarowej.

Celem niniejszego badania było sprawdzenie czasu osuszania i minimalnego poziomu wilgotności względnej (RH) do jakiego może zostać osuszona zamknięta przestrzeń pomiarowa (użytkowa).

Pomiary wykonano dla trzech ilości absorbentu (100 g, 200 g i 500 g) przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 14.

After recalculation of the results – 1 kg of absorbent has accepted within 48 hours:

a) for temperature 50°C and relative humidity (RH) 95%:

- ca. 352 g of water for silica gel;
- ca. 248 g of water for regenerated silica gel;
- ca. 295 g of water for bentonite clay;
- ca. 254 g of water for molecular sieve.

b) for temperature 10°C and relative humidity (RH) 20%:

- ca. 60 g of water for silica gel;
- ca. 28 g of water for regenerated silica gel;
- ca. 62 g of water for bentonite clay;
- ca. 88 g of water for molecular sieve.

3.2. Determination of Minimal Relative Humidity (RH) in Drying Testing Chamber

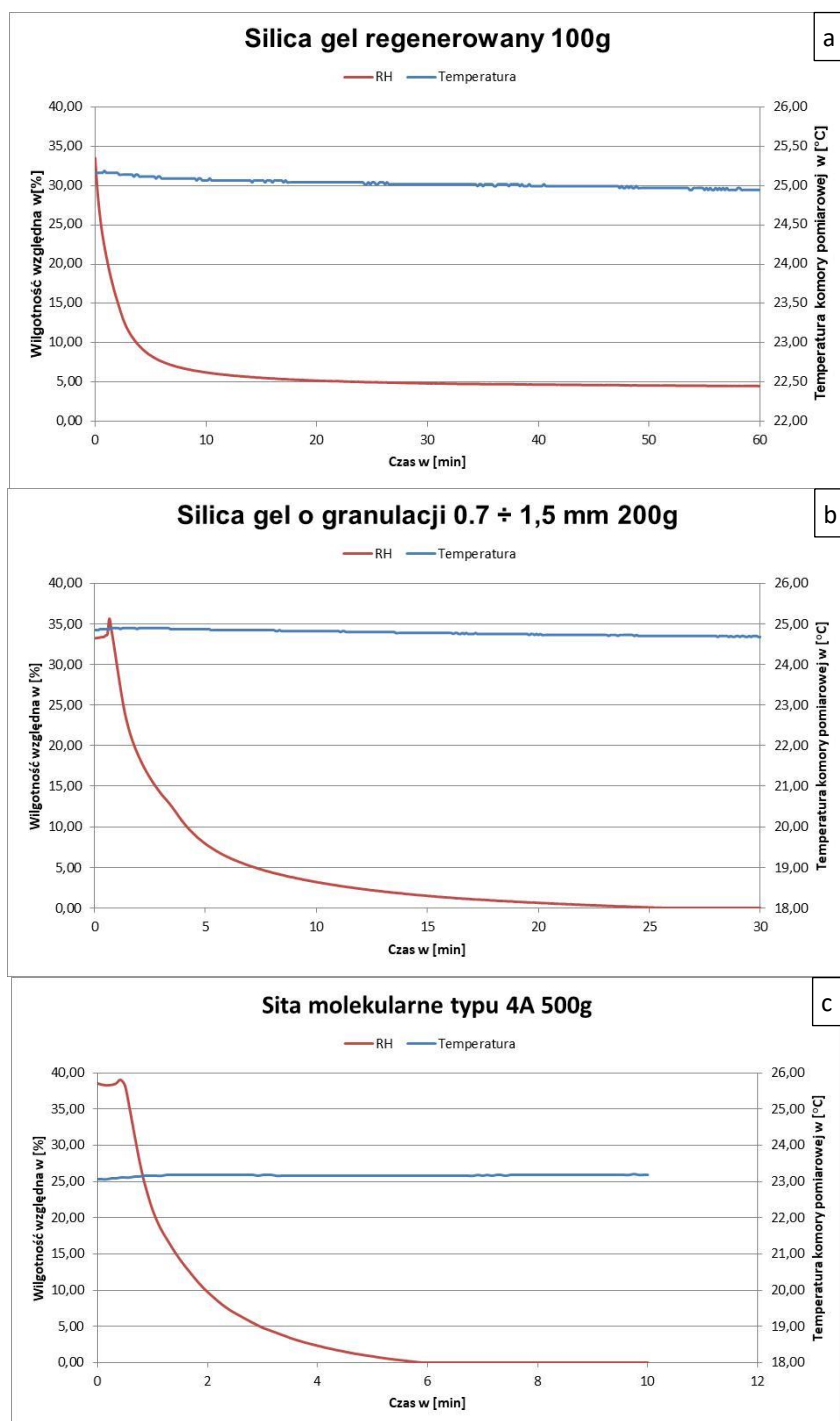
This test was aimed to check the drying time and the minimal level of relative humidity (RH) which may be achieved within a closed measurement (useful) space.

Measurements were made for three absorbent volumes (100 g, 200 g and 500 g) and exemplary results are shown in Fig. 14.



Rys. 13. Określenie minimalnego poziomu wilgotności względnej (RH). Umieszczenie absorbentu i termohigrometru w hermetycznym pojemniku

Fig. 13. Determination of the minimal level of relative humidity (RH). The absorbent and a thermo-hygrometer placed in a tight container



Rys. 14. Zmiany poziomu wilgotności względnej (RH) w komorze pomiarowej:

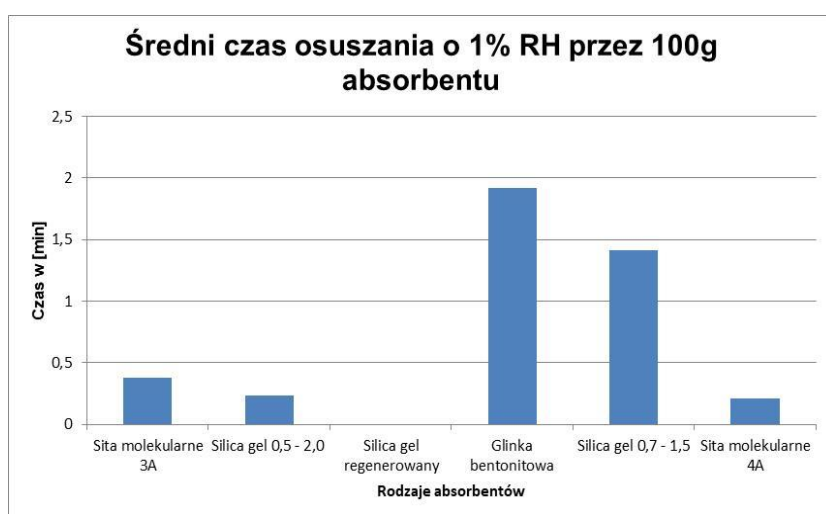
- przebieg i czas osuszania komory pomiarowej przez 100 g silica gelu regenerowanego;
- przebieg i czas osuszania komory pomiarowej przez 200 g silica gelu o granulacji $0,7 \div 1,5$ mm;
- przebieg i czas osuszania komory pomiarowej przez 500 g sita molekularnego typu 4A

Fig. 14. Relative humidity (RH) inside the measurement chamber:

- course and time of drying the measurement chamber by 100 g of regenerated silica gel;
- course and time of drying the measurement chamber by 200 g of silica gel with grains $0,7 \div 1,5$ mm;
- course and time of drying the measurement chamber by 500 g of 4A type molecular sieve.

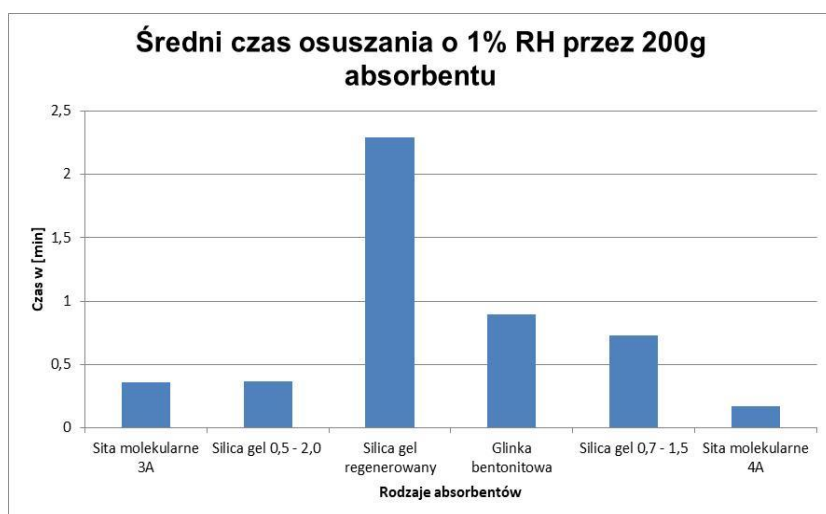
Wiarygodna ocena prędkości osuszania w związku ze zmieniającymi się warunkami początkowymi (zmienna wartość wilgotności otaczającego powietrza w momencie zamykania pojemnika z absorbentem) wymusiła potrzebę zastosowania uniwersalnego współczynnika, który można wykorzystać jako obiektywny parametr każdego absorbentu. Jako wartość charakteryzującą poszczególne absorbenty przyjęto średni czas osuszania o 1% wilgotności względnej (RH). Wyniki prób przedstawiono na rys. 15÷17.

A need for reliable evaluation of the drying rate concerning the changeable initial conditions (changeable humidity of surrounding air in the moment of closing the container with the absorbent) has enforced the use of an universal parameter characterising each absorbent indifferently. It was accepted that the mean time of drying by 1% of relative humidity (RH) could be the value characterising particular absorbents. Results of tests are shown in Fig. 15÷17.



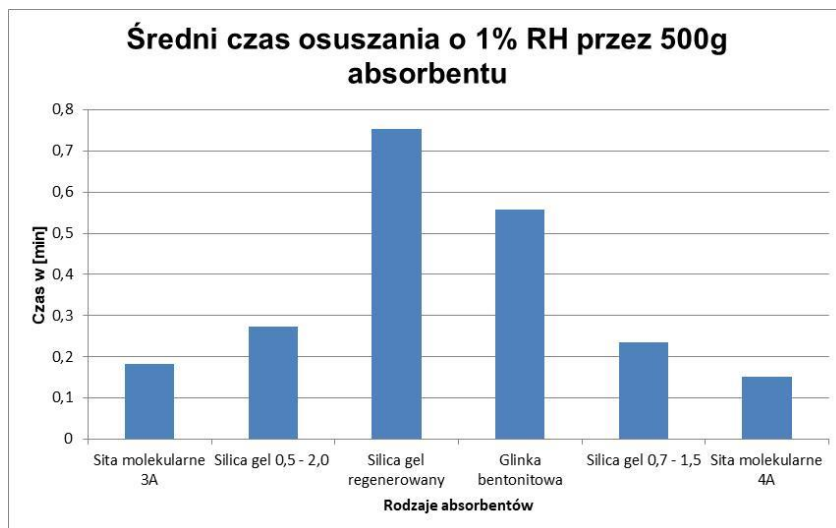
Rys. 15. Porównanie średniego czasu osuszania komory pomiarowej o 1% RH przez 100 g absorbentu do wartości 0% RH (100 g silica gelu regenerowanego w ciągu 24h nie wysuszyło wnętrza komory pomiarowej)

Fig. 15. Comparison of average times for drying the measurement chamber by 1% RH for 100 g of absorbent to the level of 0% RH (100 g of regenerated silica gel cannot dry the inside of the measurement chamber within 24h)



Rys. 16. Porównanie średniego czasu osuszania komory pomiarowej o 1% RH przez 200 g absorbentu

Fig. 16. Comparison of average times for drying the measurement chamber by 1% RH for 200 g of absorbent



Rys. 17. Porównanie średniego czasu osuszania komory pomiarowej o 1% RH przez 500 g absorbentu

Fig. 17. Comparison of average times for drying the measurement chamber by 1% RH for 500 g of absorbent

Analizując otrzymane wyniki należy zauważyć, że:

- w przypadku próby ze 100 g żelu krzemionkowego regenerowanego nie osiągnięto wilgotności względnej na poziomie 0%, a minimalna wartość wilgotności względnej do jakiej osuszono badaną komorę w trakcie próby wyniosła 4,2%;
- w pozostałych przypadkach wilgotność względna osiągnęła 0%;
- najszybszą absorpcją charakteryzują się sita molekularne 4A;
- najwolniejszą absorpcją charakteryzuje się żel krzemionkowy regenerowany.

3.3. Określenie trwałości wiązania wody przez absorbent w zmiennych warunkach temperaturowych.

Celem niniejszego badania było sprawdzenie trwałości wiązania wody.

Próbki wstępnie nawilżonych absorbentów (średnio ok. 50% chłonności) o masie 200 g poddano w komorach klimatycznych (rys. 18) intensywnym zmianom temperatury. Program 20 godzinnych zmian temperatury przedstawiony na rys. 20. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 22 ÷ 24. W celach porównawczych wykonano także próbę dla po-

Analysis of received results leads to following conclusions:

- In the case of testing sample of 100 g of regenerated silica gel the level of 0% of relative humidity has not been achieved and the minimal level of the relative humidity to which the investigated chamber was dried was 4.2%;
- For the remaining cases the relative humidity has reached 0%;
- The molecular sieves 4A have the highest rate of absorption;
- The slowest rate of absorption has the regenerated silica gel.

3.3. Determination of Absorbent Water Binding Durability at Changeable Temperature Conditions

Objective of this test is to check the durability of binding the water.

The samples of prewetted absorbents (averagely to ca. 50% of absorption power) with the mass of 200g were subjected to intense changes of temperature in the climatic chambers (Fig. 18). The schedule of 20-hours temperature changes is shown in Fig. 20. Exemplary results are shown in Fig. 22 ÷ 24. For the referential reasons a trial was

jemnika pustego pozbawionego absorbentu
rys. 21.

also made for the empty container without
any absorbent, Fig. 21.



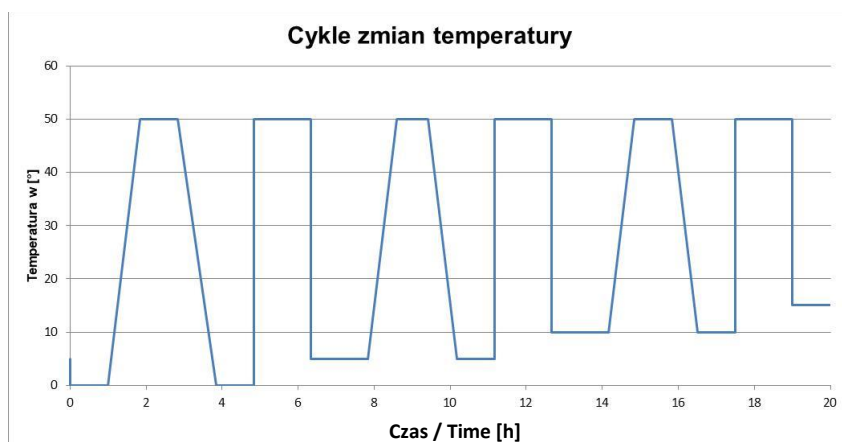
Rys. 18. Komory klimatyczne służące do symulacji gwałtownych zmian temperatury

Fig. 18. Climatic chambers simulating rapid changes of temperature



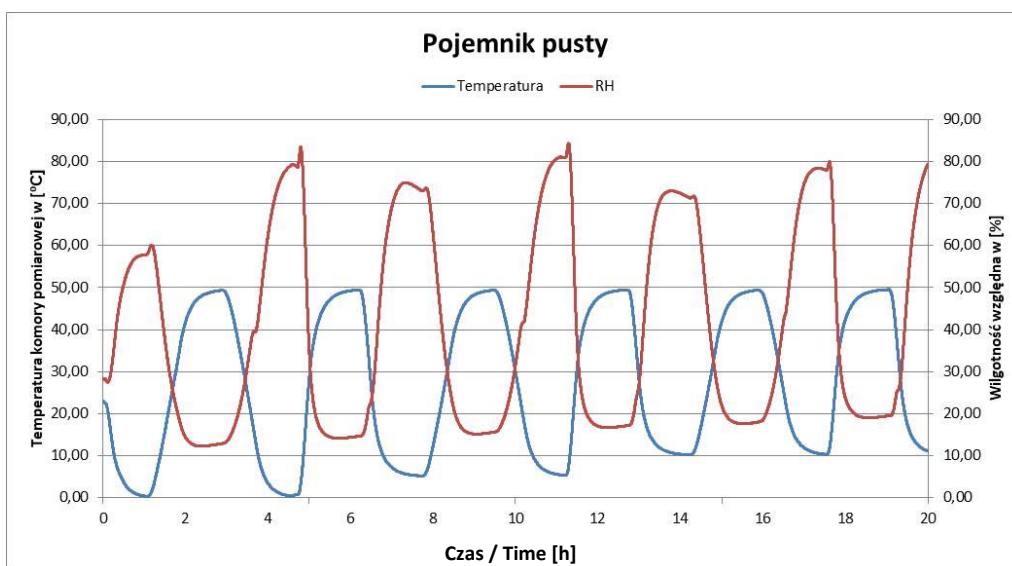
Rys. 19. Próbkę absorbentów umieszczone w pojemnikach hermetycznych

Fig. 19. Samples of absorbents placed inside the tight containers



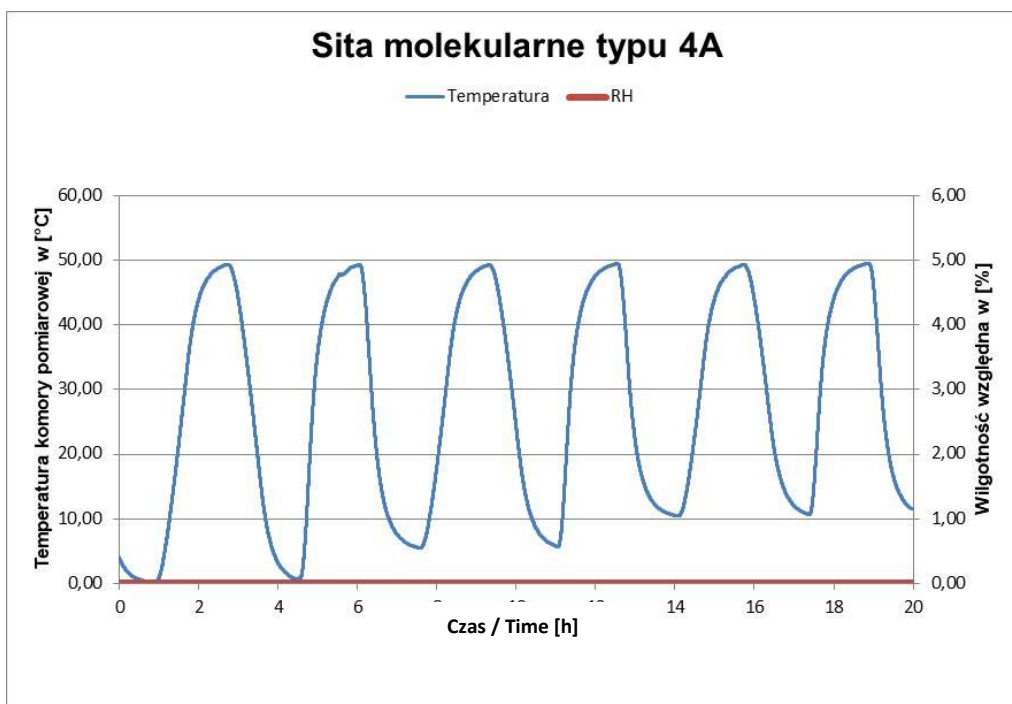
Rys. 20. Program zadawanych zmian temperatury oraz czasu trwania poszczególnych cykli

Fig. 20. Schedule of enforced time cycles of temperature changes



Rys. 21. Zmiany temperatury i wilgotności względnej podczas próby bez absorbentu osuszającego

Fig. 21. Changes of temperature and relative humidity for the trial without any drying absorbent



Rys. 22. Zmiany temperatury i wilgotności względnej w pojemniku hermetycznym osuszonym sitem molekularnym typu 4A

Fig. 22. Changes of temperature and relative humidity inside the tight container dried by molecular sieve of 4A type

W trakcie badań zaobserwowano, że:

- dla pojemnika bez absorbentu maksymalna wartość wilgotności względnej

It was observed at investigations that:

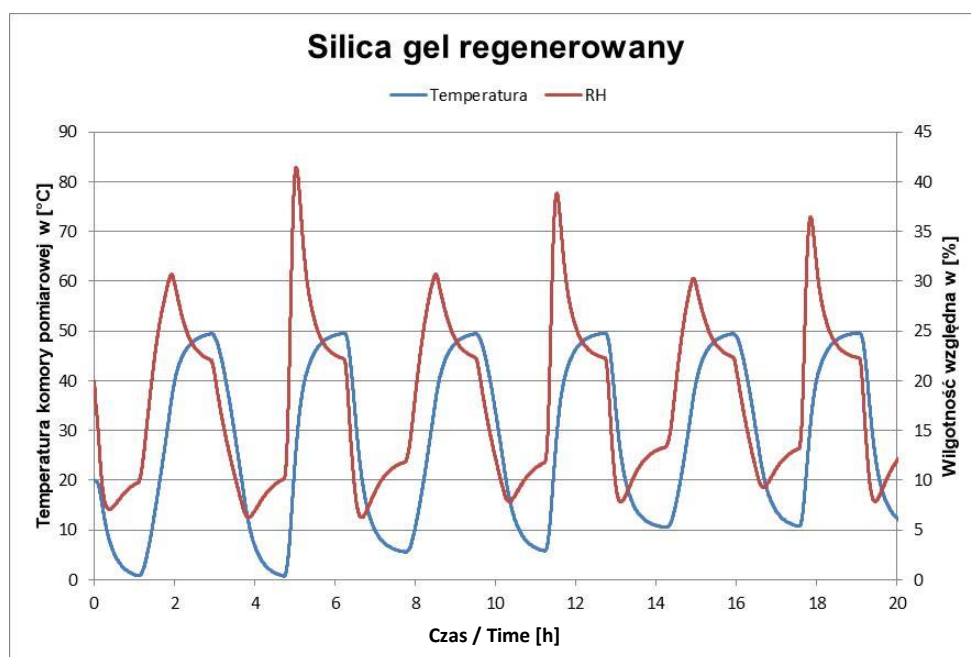
- For the container without any absorbent the maximal value of relative hu-

dochodzi do 84% RH. (w momencie zamknięcia pojemnika wilgotność względna na poziomie 28%) czyli chwilowa wilgotność względna prawie trzykrotnie przekracza wilgotność w chwili zamknięcia pojemnika;

- dla sit molekularnych typu 3A i 4A mimo ekstremalnych zmian temperatury wilgotność względną jest stała i wynosi 0% RH (w momencie zamknięcia pojemnika wilgotność względna na poziomie 10%);
- dla pozostałych absorbentów w trakcie zmian temperatury wilgotność względna osiąga wartości maksymalne w przedziale pomiędzy 18 a 41,5% RH (w momencie zamknięcia pojemnika wilgotność względna w przedziale pomiędzy 10 a 22,3%) czyli chwilowa wilgotność względna prawie dwukrotnie przekracza wilgotność w chwili zamknięcia pojemnika.

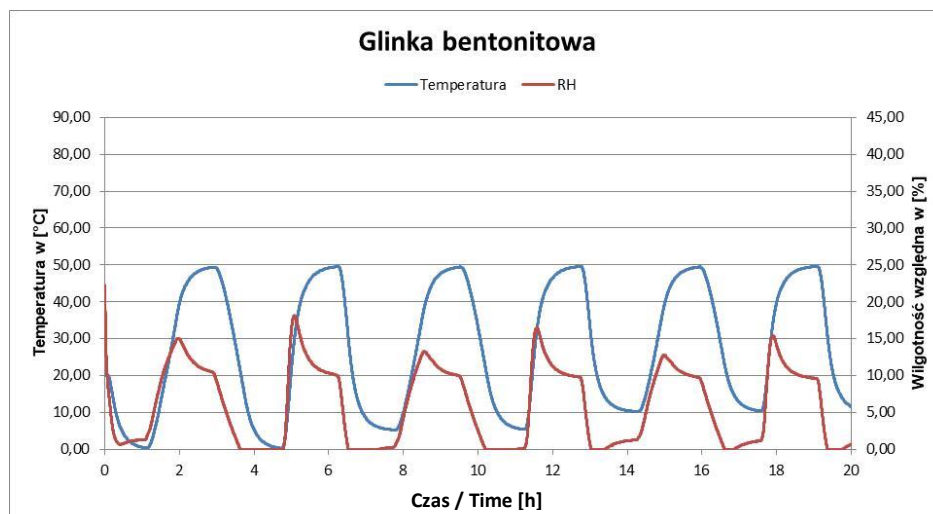
midity reaches 84% RH. (at the time when the container is closed the relative humidity is 28%) what means that the momentary relative humidity is almost three times greater than at the time of closing the container;

- For the molecular sieves of 3A and 4A types the relative humidity is constant despite extreme changes of temperature and equals to 0% RH (when the container is closed the relative humidity is 10%);
- For remaining absorbents the relative humidity reaches the maximal values in the range of 18.0 and 41.5% RH during the changes of temperature (when the container is closed the relative humidity is in the range 10.0 and 22.3%), then the instantaneous relative humidity is almost two times greater than the humidity at the moment of closing the container.



Rys. 23. Zmiany temperatury i wilgotności względnej w pojemniku hermetycznym osuszonym żel krzemionkowym regenerowanym

Fig. 23. Changes of temperature and relative humidity inside the tight container dried by regenerated silica gel



Rys. 24. Zmiany temperatury i wilgotności względnej w pojemniku hermetycznym osuszonym gliną bentonitową

Fig. 24. Changes of temperature and relative humidity inside the tight container dried by bentonite clay

4. Wnioski i spostrzeżenia

W trakcie badań zaobserwowano, że:

- sita molekularne typu 3A i 4A wiążą wilgoć trwale i mimo ekstremalnych zmian temperaturowych nie wykazują ryzyka niekontrolowanego zawilgocenia przechowywanych ładunków;
- pozostałe badane absorbenty, przy większym nasyceniu wilgocią, mogą wprowadzać zawilgocenie przechowywanych ładunków.

Podsumowując wszystkie przeprowadzone próby, należy stwierdzić, że:

- a) najbardziej uniwersalnymi absorbentami są sita molekularne ponieważ:
 - posiadają największą trwałość wiązania wody, nie wykazują ryzyka niekontrolowanego zawilgocenia przechowywanych ładunków, a w związku z tym nie mają ograniczeń w stosunku do warunków pracy i powinny być stosowane przy ładunkach nieodpornych na wilgoć;
 - posiadają największą chłonność w

4. Conclusions and Notes

Following notes were made at the investigations:

- The molecular sieves of 3A and 4A types bind the wet in a permanent way and despite extreme temperature changes there is no risk of uncontrolled wetting for stored goods;
- The remaining tested absorbents may wet the stored goods at higher level of saturation by the wet.

Summing up all conducted trials, following statements may be made:

- a) The molecular sieves are the most universal absorbents as they:
 - Have the greatest durability of binding the water, and do not represent a risk of uncontrolled wetting the stored goods, what means that they have no limitations regarding the conditions of operation and have to be used for goods sensitive to the wet,
 - Have the highest absorption

niskiej wilgotności;

- posiadają największą prędkość osuszania przestrzeni użytkowych;

b) pozostałe badane absorbenty tj. glina bentonitowa i żele krzemionkowe pomimo większej chłonności powinny się stosować w miejscach, w których zmiany temperaturowe nie są duże (np. w magazynach ogrzewanych).

Na podstawie przeprowadzonych badań można także ocenić sprawność aktualnie eksploatowanych w sprzęcie uzbrojenia osuszaczy (żel krzemionkowy regenerowany) w stosunku do żeli krzemionkowych fabrycznie nowych (przyjęto wartość średnią z badanych żeli krzemionkowych o różnej granulacji):

- chłonność dla wysokich temperatur i wilgotności - sprawność na poziomie - 70,4%;
- chłonność dla niskich temperatur i wilgotności - sprawność na poziomie - 47,7%;
- prędkość osuszania:
 - dla masy próbek 100 g – brak możliwości porównania, ponieważ żel krzemionkowy regenerowany w trakcie próby uzyskał minimalną wilgotność na poziomie 4,2% RH (nie osuszył w pełni komory pomiarowej);
 - dla masy próbek 200 g – osuszenie komory pomiarowej nastąpiło 4 krotnie wolniej niż przez żele krzemionkowe fabrycznie nowe;
 - dla masy próbek 500 g – osuszenie komory pomiarowej nastąpiło 3 krotnie wolniej niż przez żele krzemionkowe fabrycznie nowe;
 - trwałość wiązania wody – przedział wilgotności względnej zarejestrowanej w trakcie cyklu zmiennotemperaturowego:
 - 6,3 ÷ 41,5% RH dla silica gelu regenerowanego;
 - 1,5 ÷ 29,2% RH dla silica geli fabrycznie nowych.

power at low humidity,

- Have the highest rate of drying the usable spaces.

b) The remaining investigated absorbents i.e. the bentonite clay and silica gels have to be used in places of limited temperature changes (e.g. in heated storing rooms).

The conducted investigations can be also used to evaluate an efficiency relation between the desiccants currently used in the military equipment (regenerated silica gel) and the brand new silica gels (the average value was accepted for tested silica gels with different granulation):

- Absorption power at high temperatures and humidity - efficiency - 70.4%;
- Absorption power at low temperatures and humidity – efficiency - 47.7%;
- Rate of drying:
 - For the samples of 100 g – the comparison is not possible as the regenerated silica gel provided the minimal humidity of 4.2% RH during the test (the measurement chamber was not dried completely);
 - For samples of 200 g – the measurement chamber is dried 4 times slower than by the brand new silica gels;
 - For samples of 500 g – the measurement chamber is dried 3 times slower than by the brand new silica gels;
 - Durability of binding the water – range of the relative humidity recorded during the temperature-changeable cycle:
 - 6.3 ÷ 41.5% RH for regenerated silica gel;
 - 1.5 ÷ 29.2% RH for brand new silica gels.

The analysis of the received results

Analizując otrzymane wyniki widać, że parametry aktualnie eksploatowanych, wielokrotnie regenerowanych żeli krzemionkowych utraciły już ponad połowę swoich zdolności absorpcyjnych i kolejne regeneracje nie przywrócą już ich zdolności absorpcyjnych.

Należy rozważyć potrzebę użycia nowych pochłaniaczy wilgoci, które zapewnią odpowiednią absorpcję wilgoci podczas dalszego długoletniego przechowywania.

shows that currently used silica gels which were regenerated for many times have already lost more than a half of their absorptive capacities, and any consecutive regenerations cannot bring back their original absorptive capabilities.

The use of new moisture absorbers which could provide a suitable absorption of wet at further long time storing has to be considered.

Literatura / Literature

- Ciekot, Z. (2017). Ochrona sprzętu technicznego czasowo wyłączzonego z użytkownika przed działaniem korozji. *Autobusy*, Nr 7-8, 316-320.
- Gwadera, M. (2013). Adsorpcja wody na silikażelu w adsorpcyjnych urządzeniach chłodniczych. *Inżynieria i aparatura chemiczna*, Nr 4, 317-318.
- Kukielka, L., Ciekot, Z., Woźniak, D. (2016). Skuteczność zastosowanych metod ochrony sprzętu technicznego przed korozją. *Autobusy*, Nr 7, 112-116.
- Laas, H., (2013). Odpowietrzniki odwilżające i adsorbenty. Warszawa: IPB Consulting. Pobrane 24.05.2020 r. z www.ipbconsulting.pl/wp-content/uploads/2015/11/GIEBEL_Information20folder_PL.pdf.
- Minerals Adsorbents, Filter Agents and Drying Agents, Technical Information Bulletin AL-143. Pobrane 24.05.2020 z www.sigmaaldrich.com/chemistry/chemical-synthesis/learning-center/technical-bulletins/al-1430/molecular-sieves.html.
- Ministerstwo Obrony Narodowej (MON). (2013). *Instrukcja o zasadach i organizacji przechowywania oraz konserwacji sprzętu wojskowego DD/4.22.8*. Bydgoszcz: Inspektorat Wsparcia Sił Zbrojnych.
- Syntetyczne sorbenty cząsteczkowe. Norma branżowa BN-85 6069-11.
- Woźniak, D. (2018). Starzenie się i korozja elementów niemetalowych. *Przegląd Sił Zbrojnych*, Nr 2, 45-53.
- Materiały udostępnione przez firmę Maverick.

