

kpt. dr Tomasz Węsierski^{a)*}, mł. kpt. mgr inż. Oliwer Eszer^{a)}

^{a)}Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service

*Autor korespondencyjny / Corresponding author: twesierski@sgsp.edu.pl

Określanie składników środków pianotwórczych mogących mieć decydujący wpływ na zmniejszenie chłonności odpadów sztywnej pianki poliuretanowej względem odpadów poakcyjnych pian

Determining the Components of Foaming Agents That Can Have a Decisive Impact On Reducing the Absorption Properties of Rigid Polyurethane Foam Waste in Relation to Post-Foaming Waste

Определение компонентов пенообразователей, которые могут оказать решающее влияние на снижение абсорбирующей способности отходов твердого пенополиуретана по сравнению с отходами после применения пены

ABSTRAKT

Cel: Celem publikacji jest eksperymentalne określenie składników środków pianotwórczych mogących wpływać na zmniejszenie chłonności odpadów sztywnej pianki poliuretanowej względem odpadów poakcyjnych piany. Pozwoli to na określenie mechanizmu procesu powodującego ograniczenie skuteczności sorbentu w działaniach ratowniczych.

Metoda: Wykorzystano zmodyfikowaną metodę Westinghousa oraz autorską metodę analizy wyników uwzględniającą ubytek masy powstający na skutek parowania sorbatu z przestrzeni sorbentu. W badaniach użyto jednolitego proszku sztywnej pianki poliuretanowej. Badaniu poddano wybrane kombinacje składników stanowiących koncentraty środków pianotwórczych: dodecylosiarczan sodu, 2-butanol i 1-undekanol.

Wyniki i dyskusja: Wykreślono zależność masy sorbatu znajdującego się w porach sorbentu w funkcji czasu ociekania oraz wyznaczono maksymalną masę teoretyczną dla wszystkich badanych układów przez ekstrapolację prostej parowania do osi OY. Określenie wpływu wybranych składników środka pianotwórczego na sorpcję odniesiono do sorpcji wody. W tym celu porównywano przeciętne maksymalne masy teoretyczne otrzymane dla poszczególnych układów o różnych stężeniach i zbadano ich zgodność względem przeciętnej wartości otrzymanej dla wody. W tym celu skorzystano z kryterium porównawczego na poziomie istotności $\alpha = 0,1$.

Wnioski: Podczas badań wstępnych zauważono zdecydowanie mniejszą chłonność odpadów sztywnej pianki poliuretanowej względem roztworów środków pianotwórczych niż w przypadku wody. Badania wyraźnie wykazały, że czynnikiem odpowiedzialnym za pogorszenie się właściwości pochłaniających pumeksu jest obecność 1-undekanolu w środku pianotwórczym, który jest wykorzystywany jako stabilizator piany. Jest to oczywiście działanie synergiczne z dodecylosiarczaniem sodu. O ile sam dodecylosiarczan sodu powodował niewielką zmianę w zasorbowanej masie sorbatu (ok. 2%), o tyle dodatek 1-undekanolu przyczynił się do zmiany aż w 43%. Dodatek rozpuszczalnika (2-butanolu) powodował już niewielką zmianę właściwości chłonnych, przy czym chłonność niezależnie od kombinacji nieznacznie się zwiększała. Otrzymane wyniki pokazują, że czynnikiem odpowiedzialnym za zmniejszenie się chłonności może być niskie napięcie powierzchniowe, które jest cechą charakterystyczną środków pianotwórczych zawierających anionowe środki powierzchniowo czynne. Spadek napięcia powierzchniowego powoduje zmniejszenie się wielkości sił kapilarnych, a co za tym idzie – ułatwia wyciek cieczy z porów sorbentu.

Badania wskazują na pewne ograniczenia wykorzystania sztywnej pianki poliuretanowej w działaniach ratowniczych mających na celu usuwanie resztek roztworów środków pianotwórczych lub też roztworów wodnych zawierających ich ślady.

Słowa kluczowe: odpady środków pianotwórczych, działania ratownicze, usuwanie zanieczyszczeń, ścieki popożarowe, chłonność sorbentów

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 11.04.2018; Zrecenzowany: 19.06.2018; Zatwierdzony: 05.07.2018;

Procentowy wkład merytoryczny: T. Węsierski – 75%; O. Eszer – 25%;

Identyfikatory ORCID autorów: T. Węsierski – 0000-0002-9849-6539; O. Eszer – 0000-0002-3659-1952;

Proszę cytować: BiTP Vol. 50 Issue 2, 2018, pp. 50–62, doi: 10.12845/bitp.50.2.2018.4;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRACT

Aim: The aim of this publication is to experimentally identify the components of foaming agents that may have an impact on reducing the absorbency of rigid polyurethane foam waste in relation to post-foaming waste. This will allow to determine the mechanism behind the process which limits the sorbent's effectiveness in rescue operations.

Method: The research methods used were a modified Westinghouse test and a proprietary method of analysis of results taking into account the loss of mass following the evaporation of sorbate from the sorbent space. The tests used rigid polyurethane foam in the form of a solid powder. The tests examined selected combinations of ingredients that concentrate foaming agents, including sodium dodecyl sulphate, 2-butanol, 1-undecanol.

Results and discussion: The dependence of the mass of sorbate solution absorbed in the pores of the sorbent as a function of dripping time and the maximum theoretical mass was determined for all tested systems by extrapolation of evaporation line to the OY axis. The determination of the influence of chosen ingredients of foaming agents on sorption was related to water sorption. To this end, the average maximum theoretical masses obtained for individual systems with different concentrations were compared and their compatibility with the average value obtained for water was examined. For this purpose, the comparative criterion was used at the level of significance $\alpha = 0.1$.

Conclusions: During the preliminary tests, the sorptivity of rigid polyurethane foam was noticeably lower in the presence of foaming agents, as compared to water. The tests clearly show that the factor responsible for the deterioration of pumice absorption properties is the presence of 1-undecanol in the foam concentrate, which is used as a foam stabiliser. This is of course synergistic with sodium dodecyl sulphate. While sodium dodecyl sulphate alone caused a small change in the absorbed mass of sorbate (about 2%), the addition of undecan-1-ol caused as much as 43% change. The addition of a solvent (2-butanol), in turn, caused only a slight change in absorptive properties, with the absorbency being slightly increased irrespective of the combination. The obtained results indicate that the factor responsible for the drop in sorptivity may be the low value of surface tension, which is typical of foaming agents solutions containing anionic surfactants. The decrease in surface tension causes a reduction in the capillary force and, as a result, facilitates the leakage of liquid from sorbent pores. The results indicate some limitations in the use of rigid polyurethane foam in rescue operations aimed at removing residuals of foaming agent solutions or water solutions containing traces of such agents.

Keywords: firefighting foam waste, rescue operations, contamination removal, post-fire sewage, sorbent sorptivity

Type of article: original scientific article

Received: 11.04.2018; Reviewed: 19.06.2018; Accepted: 05.07.2018;

Percentage contribution: T. Węsierski – 75%; O. Eszer – 25%;

Authors' ORCID IDs: T. Węsierski – 0000-0002-9849-6539; O. Eszer – 0000-0002-3659-1952;

Please cite as: BiTP Vol. 50 Issue 2, 2018, pp. 50–62, doi: 10.12845/bitp.50.2.2018.4;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель публикации заключается в экспериментальном определении компонентов пенных концентратов, которые могут уменьшить впитываемость твердых отходов пенополиуретана по сравнению с отходами после использования пены. Это позволит определить механизм процесса, который ограничивает эффективность сорбента в спасательных операциях.

Метод: Использовали модифицированный метод Вестингхауса и оригинальный метод анализа результатов, включая потерю массы в результате испарения сорбата из пространства сорбента. В испытаниях использовался твердый пенополиуретан. Были испытаны выбранные комбинации ингредиентов пенного концентрата: додецилсульфат натрия, 2-бутанол и 1-ундеканол.

Результаты и обсуждение: Определена зависимость массы сорбата в порах сорбента от времени капания и определена максимальная теоретическая масса для всех исследованных систем путем экстраполяции прямой испарения к оси OY. Определение влияния отдельных компонентов пенного концентрата на сорбцию было связано с сорбцией воды. С этой целью сравнивались средние максимальные теоретические массы, полученные для отдельных систем с различными концентрациями, и их совместимость со средним значением, полученным для воды. Для этой цели использовался сравнительный критерий на уровне значимости $\alpha = 0,1$.

Выводы: Во время предварительных испытаний наблюдалась значительно более низкая абсорбционная способность твердых отходов пенополиуретана в отношении пеноконцентратов, чем в случае воды. Исследования ясно показали, что фактором, ответственным за ухудшение свойств поглощения пемзы, является присутствие 1-ундеканола в пеноконцентрате, который используется в качестве стабилизатора пены. Этот эффект, конечно, синергичен с эффектом натрия додецилсульфата. В то время как натрия додецилсульфат вызывал небольшое изменение в сорбированной массе сорбата (около 2%), добавление 1-ундеканола способствовало изменению на 43%. Добавление растворителя (2-бутанола) уже вызывало небольшое изменение абсорбирующих свойств, причем впитывающая способность, независимо от комбинации, несколько возрастала. Полученные результаты показывают, что фактором, ответственным за снижение впитывающей способности может быть низкое поверхностное натяжение, что является отличительной чертой пенообразователей, содержащих анионные поверхностно-активные вещества. Уменьшение поверхностного натяжения приводит к уменьшению капиллярной силы, и, следовательно, облегчает утечку жидкостей из пор сорбента. Исследования показывают некоторые ограничения в использовании твердой полиуретановой пены во время спасательных операций, направленные на удаление остаточных растворов пены или водных растворов, содержащих их следовые количества.

Ключевые слова: отходы пенообразующих веществ, спасательные действия, ликвидация загрязнений, пожарные сточные воды, абсорбция сорбентов

Тип статьи: оригинальная научная статья

Принята: 11.04.2018; Рецензирована: 19.06.2018; Одобрена: 05.07.2018;

Процентное соотношение участия в статье: T. Węsierski – 75%; O. Eszer – 25%;

Идентификаторы ORCID авторов: T. Węsierski – 0000-0002-9849-6539; O. Eszer – 0000-0002-3659-1952;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 50 Issue 2, 2018, pp. 50–62, doi: 10.12845/bitp.50.2.2018.4;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wprowadzenie

Obecnie panujący trend w nauce i zagrożenia środowiskowe powodują, że dużo uwagi poświęca się problemom związanym z poakcyjnymi odpadami środków pianotwórczych [1–18]. Dotyczy to przede wszystkim ich trwałości środowiskowej oraz badań w zakresie otrzymywania coraz to nowych kompozycji składników aktywnych o lepszej biodegradowalności. Zdecydowanie mniej uwagi poświęca się praktycznym aspektom usuwania pozostałości środków pianotwórczych podczas zdarzeń [14, 19]. Tylko w 2017 roku w trakcie działań wykorzystano ponad 427 m³ środków pianotwórczych, przy czym większość interwencji stanowiły zdarzenia o niewielkiej skali [20].

Jednym z rozwiązań umożliwiających bezpieczne, tanie i intuicyjne zbieranie rozlewisk jest wykorzystanie sorbentów, które – w zależności od ich gęstości nasypowej – można wykorzystać zarówno w działaniach na powierzchni lądu, jak i wody [21]. Ich bierność chemiczna względem chłoniętych substancji, łatwość i intuicyjność zastosowania, a także możliwość późniejszej kontrolowanej utylizacji umożliwiają wykorzystanie ich jako taniego i bezpiecznego środka doczyszczania na miejscu zdarzenia. Niemiejsze ich właściwości powodują, że w 2017 roku w trakcie działań realizowanych tylko przez Państwową Straż Pożarną (PSP) wykorzystano prawie 797 ton sorbentów [20]. Niestety, obecnie ich użycie ogranicza się jedynie do zbierania rozlewisk substancji niebezpiecznych. Praktycznie nie wykorzystuje się sorbentów do sorbowania odpadów środków pianotwórczych oraz ścieków popożarowych. Niemniej jest to możliwe w przyszłości, zwłaszcza w przypadku doczyszczania miejsca zdarzenia oraz zwiększającej się świadomości ekologicznej ratowników.

Badania wstępne przeprowadzone w laboratorium fizyki i chemii Szkoły Głównej Służby Pożarniczej (SGSP) wykazały wyraźnie mniejszą chłonność odpadów sztywnej pianki poliuretanej względem roztworów środków pianotwórczych. To pokazuje, że część porów sorbentu jest niedostępna, czego przyczyną może być między innymi powstawanie pęcherzyków piany w przestrzeni chłonnej lub obniżenie napięcia powierzchniowego ułatwiającego wykapywanie sorbatu.

Mając na celu przeanalizowanie czynnika wpływającego na ograniczenie przestrzeni chłonnej sorbentu, należy wziąć pod uwagę skład chemiczny poszczególnych koncentratów środków pianotwórczych. W przypadku związków typu S, klasy A oraz AFFF głównymi składnikami są związki powierzchniowo czynne, rozpuszczalniki organiczne, stabilizatory piany, inhibitory korozji. Związki powierzchniowo czynne stanowią do 20% masy koncentratu środka, natomiast rozpuszczalniki organiczne oraz substancje przeciwdziałające zamarzaniu mogą sumarycznie stanowić aż do 60% tej masy. W przypadku związków klasy P, FP, FFFP głównymi składnikami są hydrolizaty proteinowe (10–50%) oraz glikole stanowiące razem nie więcej niż 20% [2]. Stąd też w badaniach postanowiono zbadać wpływ popularnych związków będących składnikami środków pianotwórczych i pełniących w nich różne funkcje. Związkami tymi są: dodecylosiarczan sodu (SDS) – popularny surfaktant anionowy, 2-butanol – rozpuszczalnik organiczny zwłaszcza w starszych typach środków pianotwórczych, 1-undekanol – mogący być stabilizatorem piany.

Introduction

Recent trends in science, coupled with environmental risks, have caused a lot of attention to be given to issues related to foaming agent waste produced during rescue operations [1–18]. The focus is especially on their environmental safety and the development of new active ingredients with enhanced biodegradability. Practical aspects of foaming agent residual removal tend to receive significantly less attention [14, 19]. In 2017 alone, more than 427 m³ of foaming agents was used during rescue operations, most of which during small-scale interventions [20].

One of the solutions to contain a spillage in a safe, cost-effective and user-friendly way is to use sorbents, which – depending on their bulk density – can be used on both land and water surfaces. Their chemical neutrality in relation to any absorbed substances, easy and intuitive use, and subsequent controlled neutralisation make them cost-effective and safe agents for cleaning accident sites. Because of these properties, in 2017 the State Fire Service (PSP) alone used nearly 797 tonnes of sorbents in its operations [20]. Unfortunately, their use is now limited to containing dangerous substance spills. Sorbents are hardly ever used to absorb foaming agent residue or post-fire sewage. But this could be the case in the future, especially given the need for cleaning accident sites and the growing environmental awareness of rescue professionals.

Preliminary research conducted in the Physics and Chemistry Lab at the Main School of Fire Service (SGSP), has shown that rigid polyurethane foam has a significantly lower sorptivity in relation to foaming agent solutions. This suggests that some sorbent pores are inaccessible, which could be caused, e.g., by foam bubbles in the sorptive space or by reduced surface tension which facilitates sorbate dripping.

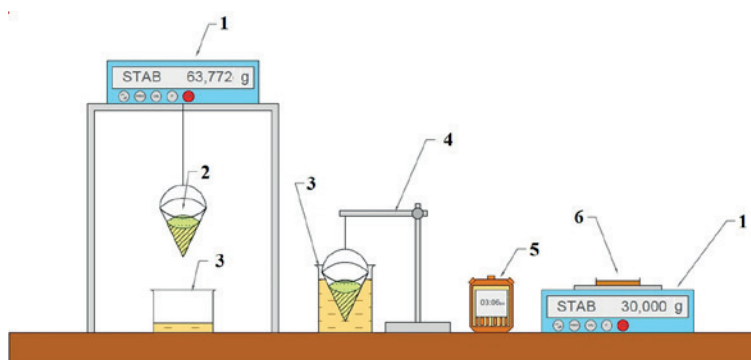
In order to identify factors that reduce sorbents' sorptive area, it is important to consider the chemical composition of each foaming agent concentrate. In type S, class A and AFFF compounds, their main ingredients are surface active agents, organic solvents, foam stabilisers, and corrosion inhibitors. Surface active agents, or surfactants, constitute up to 20% of the concentrate mass, and organic solvents and antifreeze substances combined can account for up to 60% of the mass. In class P, FP, and FFFP compounds, their main ingredients are protein hydrolysates (10–50%) and glycols which together make up no more than 20% [2]. This is why in this study we decided to examine the impact of popular ingredients of foaming agents and their various functions. These ingredients are sodium dodecyl sulphate (SDS), a popular anionic surfactant; 2-Butanol, an organic solvent used especially in older types of foaming agents; and 1-undecanol, which can be used as foam stabiliser.

Metodyka badań Stanowisko badawcze

Badania chłonności maksymalnej wykonano modyfikowaną metodą Westinghousea. Metodę podstawową będącą elementem badań kwalifikacyjnych sorbentów przeznaczonych do wykorzystania przez PSP zawarto w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Dz. U. r. Nr 143, poz. 1002). Przedstawiona w niniejszym artykule modyfikacja jest autorską koncepcją interpretacji wyników. Stanowisko badawcze przedstawiono na ryc. 1.

Study methodology Test stand

Maximum sorptivity tests were carried out using a modified Westinghouse method. The primary method for testing sorbents to be used by PSP was described in the Regulation of the Minister of the Interior and Administration of 20 June 2007 on the list of products used for public security and health, life, and property protection, and the rules for authorising the use of such products (Journal of Laws No. 143, item 1002). The modification described in this paper is our own approach to result interpretation. The test stand is shown in Fig. 1.



Rycina 1. Schemat stanowiska badawczego. 1) waga analityczna 2) stożkowa siatka z pumeksem 3) zlewka na środkiem badanym 4) statyw 5) stoper 6) szalka Petriego z pumeksem

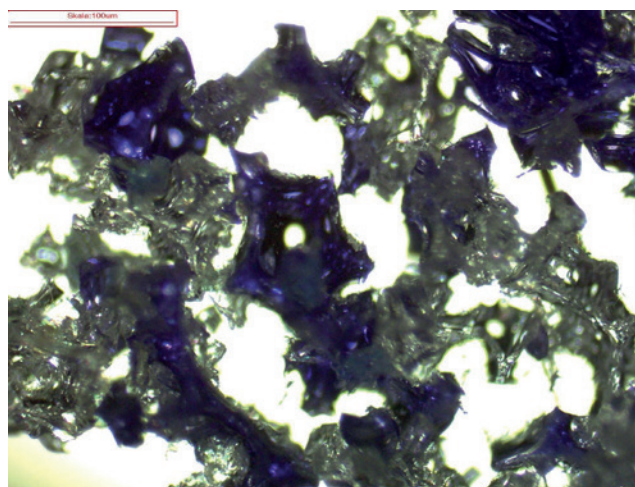
Figure 1. A schematic representation of the test stand. 1) an analytical balance 2) a cone-shaped mesh with pumice 3) a beaker with the tested compound 4) a support 5) a stopwatch 6) a Petri dish with pumice

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Przed przystąpieniem do badań właściwych przesiano odpad sztywnej pianki poliuretanowej w celu otrzymania jednolitego proszku o granulacji $\varnothing \leq 1$ mm. Zdjęcie mikroskopowe pianki poliuretanowej wykorzystanej w badaniach przedstawiono na ryc. 2.

Before proceeding to the tests proper, we sifted rigid polyurethane foam waste to obtain a homogeneous powder with grain size $\varnothing \leq 1$ mm. A microscopic photo of polyurethane foam used in the study is shown in Fig. 2.



Rycina 2. Zdjęcie mikroskopowe sztywnej pianki poliuretanowej użytej w badaniach

Figure 2. A microscopic photo of rigid polyurethane foam used in the study

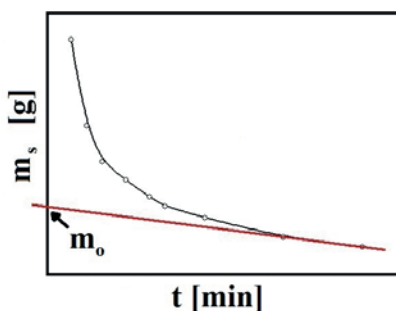
Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

RESEARCH AND DEVELOPMENT

Badaniu poddano wybrane kombinacje składników mogących wchodzić w skład koncentratów środków pianotwórczych: dodecylosiarczan sodu (SDS), 2-butanol i 1-undekanol. Zbadano 10 g wcześniej przesianego odpadu pianki poliuretanowej, po czym proszek umieszczono w stożkowym, metalowym sitku ze stali nierdzewnej o średnicy 70 cm, wysokości 7,5 cm i oczkach 0,25 mm. Tak przygotowaną próbkę zanurzono w roztworze sorbatu. Sorbent zanurzano w sorbacie na 10 minut aż do czasu całkowitego zwilżenia, przy czym tak długi czas był konieczny jedynie w przypadku wody jako odnośnika. Następnie próbkę wieszano na wcześniej wytarowanej wadze i uruchamiano pomiar czasu. W trakcie pomiaru zapisywano masę pumeksu wraz z sorbatem w funkcji czasu przez 40 minut. Po odjęciu masy sitka i sorbentu obliczano masę sorbatu m_s . Na podstawie otrzymanych wyników sporządzono wykresy zależności masy sorbatu w funkcji czasu przebywania na siatce. Na początkowym etapie zawieszenia w sitku następuje wyciek, a następnie wykapywanie sorbatu z przestrzeni sorbentu. Na późniejszym etapie proces kapania ustaje. Ubytek masy następuje poprzez parowanie sorbatu. Wartość maksymalnej masy sorbatu m_0 zasorbowanej w przestrzeni sorbentu uzyskiwano przez ekstrapolację prostej parowania do osi OY. Jako prostą parowania zdefiniowano prostą związaną z ubytkiem masy sorbatu z przestrzeni sorbentu na skutek procesu parowania. Wykreślano ją, łącząc punkty pomiarowe, dla których nie obserwowano już procesu wykapywania sorbatu z przestrzeni sorbentu, przez co ubytek masy mógł powstawać jedynie poprzez parowanie. Ekstrapolacja prostej do osi OY pozwoliła na uwzględnienie całkowitej masy sorbatu parującego z przestrzeni sorbentu, przez co otrzymano maksymalną masę sorbatu pochłoniętego w czasie $t = 0$. Metodę wyznaczania m_0 przedstawiono na ryc. 3. Standardowa metoda Westinghousa w obliczeniach uwzględniała jedynie zasorbowaną masę sorbatu po 40 min ociekania bez pomiaru i analizy masy sorbatu w funkcji czasu.

We tested selected combinations of ingredients that can be found in foaming agent concentrates, namely sodium dodecyl sulphate (SDS), 2-Butanol, and 1-undecanol. We examined 10 g of pre-sifted polyurethane foam waste, with the powder placed inside a cone-shaped, stainless-steel sieve with a diameter of 70 cm, height of 7.5 cm, and mesh of 0.25 mm. The sample was submerged in a sorbate solution. The sorbent was submerged in a sorbate for 10 minutes until it became completely moist, but such a long time was necessary only for water as a reference. Next, the sample was suspended on a pre-tared balance and the stopwatch was started. During time measurement, pumice and sorbate mass was recorded as a function of time for 40 minutes. Having subtracted the masses of the sieve and the sorbent, we calculated the mass of the sorbate, m_s . On the basis of the results, we drew diagrams representing correlations between sorbate mass as a function of time on the mesh. During the initial stages of suspension in the mesh, the sorbate leaks, and then drips from the sorbent. At a later point, the dripping stops. The mass is reduced by sorbate evaporation. The maximum sorbate mass, m_0 , absorbed within the sorbent, was calculated by extrapolating the evaporation line to the OY axis. The evaporation line was defined as a line related to the sorbate mass reduction within the sorbent as a result of evaporation. It was drawn by connecting measurement points for which no sorbate dripping was observed in the sorbent, i.e., mass reduction could only take place through evaporation. The extrapolation of the line to the OY axis helped account for the total mass of the sorbate evaporated from the sorbent, thus producing the maximum mass of sorbate absorbed over time $t = 0$. The method for calculating m_0 is shown in Fig. 3. In the calculations, the standard Westinghouse method accounted only for the absorbed mass of the sorbate after 40 minutes of leaking, without measuring or assessing the mass of the sorbate as a function of time.



Rycina 3. Wyznaczanie maksymalnej masy sorbatu zasorbowanej w przestrzeni sorbentu m_0 uzyskiwanej przez ekstrapolację prostej parowania do osi OY. Oznaczenie: m_s – masa sorbatu

Figure 3. Determining the maximum mass of absorbed solution in the sorbent space m_0 by extrapolating the evaporation line to the OY axis.

Key: m_s – sorbate mass

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Materiały użyte w badaniach

Odpad sztywny pianki poliuretanowej

W badaniach wykorzystano proszek pumekсовy firmy PUMICE I.M.P.A. S.C., który jest sproszkowanym odpadem sztywnej pianki poliuretanowej. Użyty w badaniach proszek

Materials used in the study

Rigid polyurethane foam waste

The study used a pumice powder by PUMICE I.M.P.A. S.C., which is a powdered rigid polyurethane foam waste. The pumice powder used in the study is flammable, with

pumekxowy jest łatwopalny – jego temperatura zapłonu wynosi 200°C. W tabeli 1. przedstawiono jego podstawowe właściwości fizykochemiczne.

a flash point at 200°C. Table 1 presents its key physicochemical properties.

Tabela 1. Podstawowe właściwości fizykochemiczne odpadu sztywnej pianki poliuretanowej

Table 1. Key physicochemical properties of rigid polyurethane foam waste

Stan fizyczny/State	proszek o granulacji $\varnothing \leq 1$ mm/powder with grain size $\varnothing \leq 1$ mm
Barwa/Colour	różnokolorowy/Variou colours
Zapach/Smell	brak/none
Temperatura zapłonu/Flash point	200°C
Gęstość nasypowa/Bulk density	0,188 kg/dm ³
Stabilność i reaktywność/Stability and reactivity	produkt stabilny/stable
Pływalność/Buoyancy	unosi się na powierzchni wód/floats on water surfaces
Magazynowanie/Storage	szczelnie zamknięte opakowanie/tight container
Termin ważności/Expiry date	bezterminowo/indefinite

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Dodecylosiarczan sodu

W badaniach użyto odczynnika firmy FLUKA AG zawierającego co najmniej 99% SDS. Przy produkcji środków pianotwórczych dodecylosiarczan sodowy jest często wykorzystywany jako surfaktant anionowy obniżający napięcie powierzchniowe. Jego właściwości przedstawiono w tabeli 2:

Sodium dodecyl sulphate

The study used a reagent by FLIKA AG containing at least 99% of SDS. Sodium dodecyl sulphate is often used in the production of foaming agents as an anionic surfactant to reduce surface tension. Its properties are described in Table 2 below.

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne dodecylosiarczanu sodu

Table 2. Physicochemical properties of sodium dodecyl sulphate

Wzór chemiczny/Chemical formula	C ₁₂ H ₂₅ SO ₄ Na
Masa cząsteczkowa/Particle mass	288,38 g/mol
Forma/State	ciało stałe
pH	7,5–9,0
Temperatura topnienia/Melting point	204–207°C
Temperatura wrzenia/Boiling point	380°C
Temperatura zapłonu/Flash point	>150°C
Gęstość/Density	1.1 kg/dm ³ (20°C)
Gęstość nasypowa/Bulk density	0,49–0,56 kg/dm ³
Rozpuszczalność w wodzie/Water solubility	0,15 kg/dm ³ (20°C)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

2-Butanol

W badaniach użyto alkoholu 2-butanolu (minimalna zawartości 99,5%) firmy CHEMPUR. Jest to rozpuszczalnik organiczny zapewniający rozpuszczalność surfaktantów w środku pianotwórczym. Jego właściwości fizykochemiczne przedstawiono w tabeli 3:

2-Butanol

The study used 2-butanol by CHEMPUR (minimum alcohol content 99.5%). It is an organic solvent for dissolving surfactants in foaming agents. Its physicochemical properties are presented in Table 3 below.

BADANIA I ROZWÓJ

Tabela 3. Właściwości fizykochemiczne 2-butanolu

Table 3. Physicochemical properties of 2-butanol

Wzór chemiczny/Chemical formula	C ₄ H ₉ OH
Stan fizyczny/State	Ciecz/ liquid
Kolor/Colour	Bezbarwny/ Colourless
Zapach/Smell	łagodny, podobny do alkoholu/ mild, similar to alcohol
Temperatura krzepnięcia/Freezing temperature	-115°C
Temperatura wrzenia/Boiling point	101°C
Temperatura zapłonu/Flash point	tygla zamkniętego: 24°C/ closed-cup: 24°C
Granica palności lub wybuchowości/Flammability limit	dolny: 1,4%; lower: 1.4% górny: 9,8%; upper: 9.8%
Prężność pary/Vapour pressure	17 hPa (w 20°C)/17 hPa (at 20°C)
Gęstość/Density	0,81 kg/dm ³
Temperatura samozapłonu/Autoignition temperature	390°C
Masa cząsteczkowa/Particle mass	74,14 g/mol

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

1-Undekanol

W badaniach użyto 1-undekanolu (minimalna zawartości 99,5%) firmy SERVA. Standardowo jest to związek wykorzystywany w przemyśle spożywczym jako substancja zapachowa. W środkach pianotwórczych jednowodorotlenowe, długo-łańcuchowe alkohole alifatyczne pełnią funkcję stabilizatora powstałej piany. Właściwości fizykochemiczne 1-undekanolu podano w tabeli 4:

1-Undecanol

The study used 1-undecanol by SERVA (minimum content 99.5%). This compound is normally used in the food industry as a flavouring and fragrance ingredient. In foaming agents, monohydroxy long-chain aliphatic alcohols serve to stabilise the foam. The physicochemical properties of 1-undecanol are presented in Table 4 below.

Tabela 4. Właściwości fizykochemiczne 1-undekanolu

Table 4. Physicochemical properties of 1-undecanol

Wzór cząsteczkowy/Chemical formula	C ₁₁ H ₂₃ OH
Stan fizyczny/State	Ciekły/liquid
Kolor/Colour	Bezbarwny/Colourless
Zapach/Smell	Owocowy/Fruity
Temperatura krzepnięcia/Freezing temperature	11–16°C
Temperatura wrzenia/Boiling point	243°C
Temperatura zapłonu/Flash point	113°C
Gęstość/Density	0,83 kg/dm ³ (w 20°C)/0.83 kg/dm ³ (at 20°C)
Rozpuszczalność w wodzie/Water solubility	5,7 · 10 ⁻⁶ kg/dm ³ (w 20°C)/5.7 · 10 ⁻⁶ kg/dm ³ (at 20°C)
Temperatura samozapłonu/Autoignition temperature	253°C
Masa cząsteczkowa/Particle mass	172,3 g/mol
Lepkość kinematyczna/Kinematic viscosity	przy 20°C 20 mm ² /s /at 20°C 20 mm ² /s przy 40°C 10 mm ² /s /at 40°C 10 mm ² /s

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Przygotowywanie roztworów wzorcowych w celu określenia wpływu poszczególnych składników na chłonność

Na podstawie zakresów stężeń poszczególnych składników oryginalnych koncentratów pianotwórczych oraz wzięwszy pod uwagę zarówno to, że w działaniach ratowniczych najczęściej wykorzystuje się roztwór koncentratu środka pianotwórczego o stężeniu 3%, jak i cel polegający na wykazaniu, który ze składników ma decydujący wpływ na obniżenie chłonności, przebadano roztwory o następującym składzie masowym:

Preparation of model solutions to determine the impact of each ingredient on sorptivity

Based on the concentration ranges of each ingredient across original foaming agent concentrates, and given the fact that rescue operations usually use 3% concentrates, and that our goal was to determine which ingredient had the greatest impact on reducing sorptivity, we tested solutions with the following mass compositions:

- 0.3% of mass – sodium dodecyl sulphate;

- 0,3% mas. dodecylosiarczanu sodu;
- 0,3% mas. dodecylosiarczanu sodu oraz 0,729% mas. 2-butanolu;
- 0,3% mas. dodecylosiarczanu sodu oraz 0,028% mas. 1-undekanolu;
- 0,3% mas. dodecylosiarczanu sodu; 0,729% mas. 2-butanolu oraz 0,028% mas. 1-undekanolu.
- 0.3% of mass – sodium dodecyl sulphate and 0.729% of mass – 2-butanol;
- 0.3% of mass – sodium dodecyl sulphate and 0.028% of mass – 1-undecanol;
- 0.3% of mass – sodium dodecyl sulphate; 0.729% of mass – 2-butanol and 0.028% of mass – 1-undecanol.

W dalszej części artykułu stężenia będą podawane w postaci procentu masowego.

From this point forward in the article, concentrations shall be given as mass percentages.

Wyniki badań

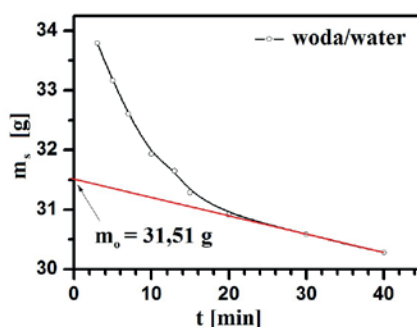
Zależność masy sorbatu znajdującego się w porach sorbentu w funkcji czasu ociekania dla wszystkich badanych układów przedstawiono na ryc. 4-8. Badania danych próbek wykonywano kilkakrotnie w celu sprawdzenia i uzyskania odtwarzalnych wyników pomiarów.

Test results

The correlations between the mass of sorbate in the sorbent's pores as a function of dripping time for each tested composition are presented in Figs. 4-8. The samples were tested several times to verify the results and ensure measurement result reproducibility.

Woda

Water



Rycina 4. Wykres zależności masy wody znajdującej się w porach sorbentu w funkcji czasu ociekania. Sorbent – odpad sztywnej pianki poliuretanowej. Proszek o granulacji $\varnothing \leq 1$ mm

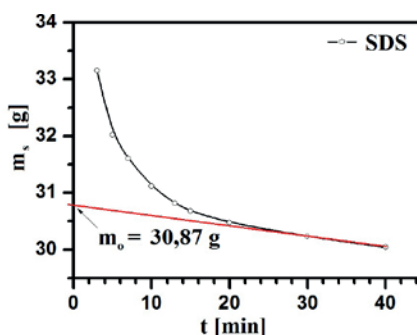
Figure 4. Correlation between the mass of water in the sorbent's pores as a function of dripping time. Sorbent – rigid polyurethane foam waste. Powder with grain size $\varnothing \leq 1$ mm

Source: Opracowanie własne.

Źródło: Own elaboration.

Dodecylosiarczan sodu

Sodium dodecyl sulphate



Rycina 5. Wykres zależności masy 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodu (SDS) znajdującego się w porach sorbentu w funkcji czasu ociekania. Sorbent – odpad sztywnej pianki poliuretanowej. Proszek o granulacji $\varnothing \leq 1$ mm

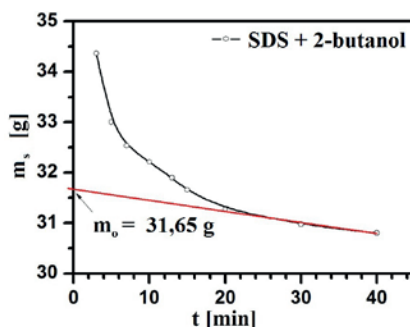
Figure 5. Correlation between the mass of 0.3% sodium dodecyl sulphate (SDS) solution in the sorbent's pores as a function of dripping time. Sorbent – rigid polyurethane foam waste. Powder with grain size $\varnothing \leq 1$ mm

Source: Opracowanie własne.

Źródło: Own elaboration.

Dodecylosiarczan sodu + 2-butanol

Sodium dodecyl sulphate + 2-butanol



Rycina 6. Wykres zależności masy 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodu (SDS) + 0,729-procentowego 2-butanolu znajdujących się w porach sorbentu w funkcji czasu ociekania. Sorbent – pumeks. Proszek o granulacji $\varnothing \leq 1$ mm

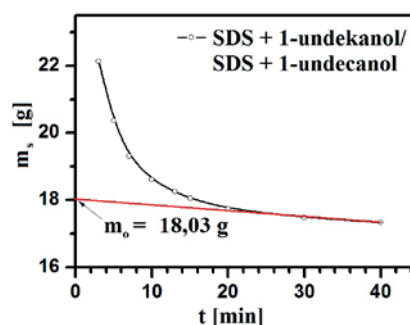
Figure 6. Correlation between the mass of 0.3% sodium dodecyl sulphate (SDS) + 0.729% 2-butanol solution in the sorbent's pores as a function of dripping time. Sorbent – pumice. Powder with grain size $\varnothing \leq 1$ mm

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Dodecylosiarczan sodu + 1-undekanol

Sodium dodecyl sulphate + 1-undecanol



Rycina 7. Wykres zależności masy 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodu (SDS)+ 0,028-procentowego 1-undekanolu znajdujących się w porach sorbentu w funkcji czasu ociekania. Sorbent – odpad sztywnej pianki poliuretanowej. Proszek o granulacji $\varnothing \leq 1$ mm.

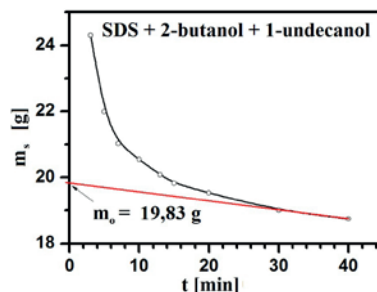
Figure 7. Correlation between the mass of 0.3% sodium dodecyl sulphate (SDS) + 0.028% 1-undecanol solution in the sorbent's pores as a function of dripping time. Sorbent – rigid polyurethane foam waste. Powder with grain size $\varnothing \leq 1$ mm

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Dodecylosiarczan sodu + 2-butanol + 1-undekanol

Sodium dodecyl sulphate + 2-butanol + 1-undecanol



Rycina 8. Wykres zależności masy 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodu (SDS) + 0,729-procentowego 2-butanolu + 0,028-procentowego 1-undekanolu znajdujących się w porach sorbentu w funkcji czasu ociekania. Sorbent – odpad sztywnej pianki poliuretanowej. Proszek o granulacji $\varnothing \leq 1$ mm

Figure 8. Correlation between the mass of 0.3% sodium dodecyl sulphate (SDS) + 0.729% 2-butanol + 0.028% 1-undecanol solution in the sorbent's pores as a function of dripping time. Sorbent – rigid polyurethane foam waste. Powder with grain size $\varnothing \leq 1$ mm

Source: Opracowanie własne.

Źródło: Own elaboration.

Dyskusja

Określenie wpływu środka pianotwórczego na sorpcję odniesiono do sorpcji wody. W tym celu porównywano przeciętne maksymalne masy teoretyczne otrzymane dla poszczególnych układów i zbadano ich zgodność względem przeciętnej wartości otrzymanej dla wody. Zbiórce wyniki porównania przedstawiono w tabeli 5. W analizie skorzystano z kryterium porównawczego na poziomie istotności $\alpha = 0,1$.

Woda

Wartość średnia maksymalnej masy wody zasorbowanej dla trzech serii pomiarowych na 10 g pumeksu wynosi:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = 31,51 \text{ g}$$

Otrzymane odchylenie standardowe od wartości średniej wynosi natomiast:

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}} = 0,59$$

gdzie:

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 = (X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_3 - \bar{X})^2 = 6,88$$

jest sumą kwadratów odchylenia od wartości średniej.

Na poziomie istotności $\alpha = 0,1$ i dla współczynnika t-Studenta $t_{\alpha} = 2,92$ niepewność pomiaru sorpcji wynosi:

$$\Delta X = S_{\bar{X}} \times t_{\alpha} = 1,71$$

Czyli współczynnik zmienności V_x pomiaru maksymalnej masy teoretycznej dla wody na 10 g pumeksu wynosi $(1,71/30,2) \times 100\% = 5,7\%$. Otrzymany wynik wskazuje na akceptowalny rozrzut wyników pomiarów, a zatem na właściwą odtwarzalność.

0,3-procentowy dodecylosiarczan sodu

Wartość przeciętna i niepewność pomiaru wyliczone dla pięciu pomiarów maksymalnej masy teoretycznej dla 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodowego na poziomie istotności $\alpha = 0,1$ wynosi $30,87 \pm 1,38$ g.

Szacowanie zgodności wartości średnich (wody oraz 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodu) na zadanym poziomie istotności przeprowadzono za pomocą kryterium porównawczego według wzoru przedstawionego poniżej:

$$\begin{aligned} |\bar{X}_{\text{wody}} - \bar{X}_{\text{związku}}| &\leq \Delta X_{\text{wody}} + \Delta X_{\text{związku}} \\ 0,64 &\leq 3,09 \\ &\text{zgodność} \end{aligned}$$

Średnie pochłonięte maksymalne masy teoretyczne wody i 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodowego można uznać za zgodne na mocy kryterium porównawczego. Zatem można stwierdzić, że dodatek dodecylosiarczanu sodu o tym stężeniu nie wpływa istotnie na chłonność pumeksu na zadanym poziomie istotności.

0,3-procentowy dodecylosiarczan sodu + 0,729-procentowy 2-butanol

Wartość przeciętna i niepewność pomiaru wyliczone dla pięciu pomiarów maksymalnej masy teoretycznej dla 0,3-procentowe-

Discussion

The determination of the impact of foaming agents on sorption was compared with water sorption. For this purpose, we compared average maximum theoretical masses for each composition with the average results for water. All comparison results are presented in Table 5. In our analysis, we used a comparison criterion at significance level $\alpha = 0.1$.

Water

The average maximum mass of water absorbed per 10 g of pumice across three measurements is

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = 31.51 \text{ g}$$

Standard deviation from the average is

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}} = 0.59$$

where

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 = (X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_3 - \bar{X})^2 = 6.88$$

is a sum of squared deviations from the average.

At significance level $\alpha = 0.1$ for Student's t-test $t_{\alpha} = 2.92$ sorption measurement uncertainty is

$$\Delta X = S_{\bar{X}} \times t_{\alpha} = 1.71$$

So variability V_x for the measurement of the maximum theoretical mass for water per 10 g of pumice is $(1.71/30.2) \times 100\% = 5.7\%$. This suggests an acceptable distribution of measurement results, hence satisfactory reproducibility.

0.3% sodium dodecyl sulphate

The average and measurement uncertainty calculated for five maximum theoretical mass measurements for 0.3% sodium dodecyl sulphate solutions at significance level $\alpha = 0.1$ is 30.87 ± 1.38 g.

The averages (water and 0.3% sodium dodecyl sulphate solution) were compared for compatibility at the assumed significance level using a comparative criterion based on the formula presented below.

$$\begin{aligned} |\bar{X}_{\text{wody}} - \bar{X}_{\text{związku}}| &\leq \Delta X_{\text{wody}} + \Delta X_{\text{związku}} \\ 0.64 &\leq 3.09 \\ &\text{compatibility} \end{aligned}$$

Average maximum absorbed theoretical masses of water and 0.3% sodium dodecyl sulphate solution can be considered compatible on the basis of the comparative criterion. Therefore, it can be concluded that this concentration of sodium dodecyl sulphate does not have any significant impact on pumice sorptivity at the assumed significance level.

0.3% sodium dodecyl sulphate + 0.729% 2-butanol

The average and measurement uncertainty calculated for five maximum theoretical mass measurements for 0.3% sodium

RESEARCH AND DEVELOPMENT

go roztworu dodecylosiarczanu sodowego + 0,729-procentowego 2-butanolu na poziomie istotności $\alpha = 0,1$ wynosi 31,65+/-1,94 g.

Szacowanie zgodności wartości średnich na zadanym poziomie istotności przeprowadzono za pomocą kryterium porównawczego według wzoru przedstawionego poniżej:

$$\begin{aligned} \left| \bar{X}_{wody} - \bar{X}_{związku} \right| &\leq \Delta X_{wody} + \Delta X_{związku} \\ 0,14 &\leq 3,65 \\ \text{zgodność} & \end{aligned}$$

Średnie pochłonięte maksymalne masy teoretyczne wody i 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodowego + 0,729-procentowego 2-butanolu można uznać za zgodne na mocy kryterium porównawczego. Zatem można stwierdzić, że zarówno badany układ, jak i dodatek 1-butanolu do dodecylosiarczanu sodowego nie wpływa istotnie na chłonność pumeksu na zadanym poziomie istotności w odniesieniu do badań wody.

0,3-procentowy dodecylosiarczan sodu + 0,028-procentowy 1-undekanol

Wartość przeciętna i niepewność pomiaru wyliczone dla pięciu pomiarów maksymalnej masy teoretycznej dla 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodowego + 0,028-procentowego 1-undekanolu na poziomie istotności $\alpha = 0,1$ wynosi 18,03+/-1,54 g.

Szacowanie zgodności wartości średnich na zadanym poziomie istotności przeprowadzono za pomocą kryterium porównawczego według wzoru przedstawionego poniżej:

$$\begin{aligned} \left| \bar{X}_{wody} - \bar{X}_{związku} \right| &\leq \Delta X_{wody} + \Delta X_{związku} \\ 13,48 &\leq 3,25 \\ \text{sprzeczność} & \end{aligned}$$

Średnie pochłonięte maksymalne masy teoretyczne wody i 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodowego + 0,028-procentowego 1-undekanolu nie można uznać za zgodne na mocy kryterium porównawczego. Zatem można stwierdzić, że na zadanym poziomie istotności badana mieszanina chłonie się istotnie słabiej w przestrzeni chłonnej pumeksu niż woda. Można również wysnuć wniosek, że dodatek 1-undekanolu do dodecylosiarczanu sodowego decydująco wpływa na chłonność pumeksu.

0,3-procentowy dodecylosiarczan sodu + 0,729-procentowy 2-butanol + 0,028-procentowy 1-undekanol

Wartość przeciętna i niepewność pomiaru wyliczone dla pięciu pomiarów maksymalnej masy teoretycznej dla 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodowego + 0,729-procentowego 2-butanolu + 0,028-procentowego 1-undekanolu na poziomie istotności $\alpha = 0,1$ wynosi 19,83+/-1,39 g. Szacowanie zgodności wartości średnich na zadanym poziomie istotności przeprowadzono za pomocą kryterium porównawczego według wzoru przedstawionego poniżej:

$$\begin{aligned} \left| \bar{X}_{wody} - \bar{X}_{związku} \right| &\leq \Delta X_{wody} + \Delta X_{związku} \\ 11,68 &\leq 3,10 \\ \text{sprzeczność} & \end{aligned}$$

Średnie pochłonięte maksymalne masy teoretyczne wody i 0,3-procentowego roztworu dodecylosiarczanu sodowego + 0,729-procentowego 2-butanolu + 0,028-procentowego 1-undekanolu nie można uznać za zgodne na mocy kryterium

dodecyl sulphate solution + 0.729% 2-butanol at significance level $\alpha = 0.1$ is 31.65+/-1.94 g..

The averages were compared for compatibility at the assumed significance level using a comparative criterion based on the formula presented below.

$$\begin{aligned} \left| \bar{X}_{wody} - \bar{X}_{związku} \right| &\leq \Delta X_{wody} + \Delta X_{związku} \\ 0.14 &\leq 3.65 \\ \text{compatibility} & \end{aligned}$$

Average maximum absorbed theoretical masses of water and 0.3% sodium dodecyl sulphate solution + 0.729% 2-butanol can be considered compatible on the basis of the comparative criterion. Therefore, it can be concluded that neither the tested composition nor the addition of 1-butanol to sodium dodecyl sulphate have any significant impact on pumice sorptivity at the assumed significance level in relation to water.

0.3% sodium dodecyl sulphate + 0.028% 1-undecanol

The average and measurement uncertainty calculated for five maximum theoretical mass measurements for 0.3% sodium dodecyl sulphate solution + 0.028% 1-undecanol at significance level $\alpha = 0.1$ is 18.03+/-1.54 g.

The averages were compared for compatibility at the assumed significance level using a comparative criterion based on the formula presented below.

$$\begin{aligned} \left| \bar{X}_{wody} - \bar{X}_{związku} \right| &\leq \Delta X_{wody} + \Delta X_{związku} \\ 13.48 &\leq 3.25 \\ \text{non-compatibility} & \end{aligned}$$

Average maximum absorbed theoretical masses of water and 0.3% sodium dodecyl sulphate solution + 0.028% 1-undecanol cannot be considered compatible on the basis of the comparative criterion. Therefore, it can be concluded that at the assumed significance level the mixture is absorbed much poorer in the absorbent space of pumice compared to water. It can be further argued that the addition of 1-undecanol to sodium dodecyl sulphate strongly affects pumice sorptivity.

0.3% sodium dodecyl sulphate + 0.729% 2-butanol + 0.028% 1-undecanol

The average and measurement uncertainty calculated for five maximum theoretical mass measurements for 0.3% sodium dodecyl sulphate solution + 0.729% 2-butanol + 0.028% 1-undecanol at significance level $\alpha = 0.1$ is 19.83+/-1.39 g. The averages were compared for compatibility at the assumed significance level using a comparative criterion based on the formula presented below.

$$\begin{aligned} \left| \bar{X}_{wody} - \bar{X}_{związku} \right| &\leq \Delta X_{wody} + \Delta X_{związku} \\ 11.68 &\leq 3.10 \\ \text{non-compatibility} & \end{aligned}$$

Average maximum absorbed theoretical masses of water and 0.3% sodium dodecyl sulphate solution + 0.729% 2-butanol + 0.028% 1-undecanol cannot be considered compatible on the basis of the comparative criterion. Therefore, it can be

porównawczego. Zatem można stwierdzić, że na zadanym poziomie istotności badana mieszanina chłonie się istotnie słabiej w przestrzeni chłonnej pumeksu niż woda.

concluded that at the assumed significance level the mixture is absorbed much poorer in the absorbent space of pumice compared to water.

Tabela 5. Wyniki kryterium porównawczego maksymalnych mas teoretycznych otrzymanych dla poszczególnych kompozycji względem przeciętnej wartości otrzymanej dla wody. Poziom istotności $\alpha = 0,1$

Table 5. Comparison results for maximum theoretical masses for each composition and the average values for water. Significance level $\alpha = 0.1$

Kompozycja porównywana względem wody/Composition compared to water	Wynik kryterium porównawczego/Comparison result
0,3-procentowy dodecylosiarczan sodu/0.3% sodium dodecyl sulphate	zgodność/ compatibility
0,3-procentowy dodecylosiarczan sodu + 0,729-procentowy 2-butanol/ 0.3% sodium dodecyl sulphate + 0.729% 2-butanol	zgodność/compatibility
0,3-procentowy dodecylosiarczan sodu + 0,028-procentowy 1-undekanol/ 0.3% sodium dodecyl sulphate + 0.028% 1-undecanol	sprzeczność/ non-compatibility
0,3-procentowy dodecylosiarczan sodu + 0,729-procentowy 2-butanol + 0,028-procentowy 1-undekanol/ 0.3% sodium dodecyl sulphate + 0.729% 2-butanol + 0.028% 1-undecanol	sprzeczność/ non-compatibility

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Podsumowując, można stwierdzić, że analiza za pomocą kryterium porównawczego maksymalnych mas teoretycznych otrzymanych dla poszczególnych kompozycji względem przeciętnej wartości otrzymanej dla wody wyraźnie wykazała, że czynnikiem odpowiedzialnym za pogorszenie właściwości pochłaniających pumeksu jest obecność 1-undekanolu w środku pianotwórczym.

To sum up, the comparison of the maximum theoretical masses for each composition and the average results for water clearly showed that the factor responsible for the deterioration of the absorptive properties of pumice is the presence of 1-undecanol in the foaming agent.

Wnioski

Podczas badań wstępnych zauważono wyraźnie mniejszą chłonność odpadów sztywnej pianki poliuretanowej względem roztworów środków pianotwórczych. W celu określenia, który ze składników może mieć istotny wpływ na obniżenie chłonności pumeksu (odpadów sztywnej pianki poliuretanowej), przygotowano i zbadano roztwory dodecylosiarczanu sodu, dodecylosiarczanu sodu z 2-butanolem, dodecylosiarczanu sodu z 1-undekanołem oraz dodecylosiarczanu sodu z 1-undekanołem i 2-butanolem.

Badania wyraźnie wykazały, że czynnikiem odpowiedzialnym za pogorszenie się właściwości pochłaniających pumeksu jest obecność 1-undekanolu w środku pianotwórczym, który jest wykorzystywany jako stabilizator piany. O ile sam dodecylosiarczan sodowy powodował niewielką zmianę w zasorbowanej masie sorbatu (ok. 2%), o tyle dodatek 1-undekanolu był przyczyną zmiany aż w 43%. Dodatek rozpuszczalnika (2-butanolu) powodował już niewielką zmianę właściwości chłonnych, przy czym chłonność niezależnie od kombinacji nieznacznie wzrosła. Otrzymane wyniki pokazują, że czynnikiem odpowiedzialnym za zmniejszenie się chłonności może być niskie napięcie powierzchniowe, które jest cechą charakterystyczną środków pianotwórczych zawierających anionowe środki powierzchniowo czynne [14]. Spadek napięcia powierzchniowego powoduje zmniejszenie się wielkości sił kapilarnych, a co za tym idzie – ułatwia wyciek cieczy z porów sorbentu [22].

Badania wskazują na pewne ograniczenia wykorzystania sztywnej pianki poliuretanowej w działaniach ratowniczych mających na celu usuwanie resztek roztworów środków pianotwórczych lub roztworów wodnych zawierających ich ślady. Biorąc pod uwagę proponowany mechanizm, nie można wykluczone,

Conclusions

During the preliminary tests we noticed that rigid polyurethane foam had a significantly lower sorptivity in relation to foaming agent solutions. In order to determine which of the ingredients significantly affects the reduction of pumice (rigid polyurethane foam waste) sorption, we prepared and tested solutions of sodium dodecyl sulphate, sodium dodecyl sulphate with 2-butanol, sodium dodecyl sulphate with 1-undecanol, and sodium dodecyl sulphate with 1-undecanol and 2-butanol.

The tests clearly showed that the ingredient responsible for the deterioration of the absorptive properties of pumice was the presence of 1-undecanol in the foaming agent, which is used for foam stabilisation. While sodium dodecyl sulphate alone caused only a slight change in the absorbed sorbate mass (approx. 2%), the addition of 1-undecanol caused a change by as much as 43%. The addition of a solvent (2-butanol) caused a slight change in absorptive properties, with sorption increasing slightly regardless of the combination. These results show that the factor responsible for reducing sorption can be low surface tension, which is typical of foaming agents with anionic surfactants [14]. The decrease in surface tension reduces capillary forces, and, consequently, supports the leaking of the liquid from sorbent pores [22].

The study suggests certain limitations in the use of rigid polyurethane foam in rescue operations intended to remove the residue of foaming agent solutions or water solutions with traces of such agents. The proposed mechanism can be typical of all sorbents, but this requires further study.

BADANIA I ROZWÓJ

że jest to cecha wspólna wszystkich sorbentów, która wymaga jednak dokładniejszego przebadania.

Niniejsza publikacja powstała w ramach projektu rozwojowego nr DOB-BIO6/06/113/2014 pt. *Mobilny turbinowy system ratowniczo-gaśniczy*.

This paper was written under development project No. DOB-BIO6/06/113/2014 entitled *Mobile turbo rescue and fire-fighting system*.

Literatura

- [1] Rakowska J., Porycka B., Nagrodzka M., *Ekologiczne kierunki zmian bazy surowcowej w koncentratkach gaśniczych*, BiTP Vol. 19 Issue 3, 2010, pp. 107–116.
- [2] Król B., Prochaska K., Chrzanowski Ł., *Biodegradability of Firefighting Foams*, „Fire Technology” 2012, 48, 173–181.
- [3] Adams R., Simmons D., *Ecological Effects of Fire Fighting Foams and Retardants*, Conference Proceedings: Australian Bushfire Conference, Albury, July 1999.
- [4] Bourgeois A., Bergendahl J., Rangwala A., *Biodegradability of fluorinated fire-fighting foams in water*, „Chemosphere” 2015, 131, 104–109.
- [5] Chrzanowska M., Hupka J., Szewczulak Ł., *Badania oczyszczania ścieków pożarowych metodą osadu czynnego*, „Inżynieria Ekologiczna” 2003, 8, 96–102.
- [6] Colville S., McCarron N., *Environmental issues associated with defence use of aqueous film forming foam (AFFF)*, Environmental Stewardship, Environment, Heritage and Risk Branch, May 2003.
- [7] Hamilton S., Larson D., Finger S., Poulton B., Vyas N., Hill E., *Ecological effects of fire retardant chemicals and fire suppressant foams*, Northern Prairie Wildlife Research Center, Jamestown 1998.
- [8] Kaszycki P., Kołoczek H., Wójcik D., Bogacz E., Lubański R., *Intensywne oczyszczanie ścieków po akcji gaśniczej w zakładach rafineryjnych*, „Inżynieria Ekologiczna” 2003, 8, 51–58.
- [9] Laitinen J., Koponen J., Koikkalainen J., Kiviranta H., *Firefighters exposure to perfluoroalkyl acids and 2-butoxyethanol present in fire-fighting foams*, „Toxicology Letters” 2014, 231, 227–232.
- [10] Małozieć D., Koniuch A., *Wpływ pianotwórczych środków gaśniczych i neutralizatorów na środowisko naturalne, szczególnie na organizmy wodne*, BiTP Vol. 14, 2009, pp. 117–138.
- [11] Norris L., Webb W., *Effects of fire retardant on water quality*, w: *Proceedings of the symposium on fire and watershed management*, N.H. Berg (red.), California 1988, 79–86.
- [12] Seńczuk W., *Toksykologia współczesna*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2005.
- [13] Mizerski A., Sobolewski M., *Rozszerzona charakterystyka środków pianotwórczych stosowanych w pożarnictwie i ratownictwie chemicznym*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2007, 35, 33–52.
- [14] Mizerski A., Sobolewski M., Król B., *Piana gaśnicze*, Wydawnictwo SGSP, Warszawa 2006.
- [15] Mizerski A., *Ekologiczne aspekty stosowania pian do gaszenia pożarów*, „Przemysł Chemiczny” 2007, 11(86), 1079–1083.
- [16] Mizerski A., Sobolewski M., Jabłonowski M., *Piana kontra środowisko*, „Przegląd pożarniczy” 2006, 1, 33–35.
- [17] Vyas N., Hill D., *Toxicity of fire retardant chemicals and fire suppressant foams to vertebrate and invertebrate wildlife species*, International Wildland Fire Foam Symposium and Workshop, Ontario 1994.
- [18] Traczewska T., *Biologiczne metody oceny skażenia środowiska*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011.
- [19] *The control of fire-water run-off from CIMAH sites to prevent environmental damage*, Guidance Note EH70, Health and Safety Executive, 1995.
- [20] http://www.straz.gov.pl/panstwowa_straz_pozarna/ 2017 [dostęp: 12.07.2018].
- [21] Gancarczyk D., Jakubiec J., Sobolewski M., *Effect of Sorbent Type on Efficiency of Oil Pollution Removal from Road Surface*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2017, 61, 53–63.
- [22] Ayala R.E., Casassa E.Z., Parfi G.D., *A study of the applicability of the capillary rise of aqueous solutions in the measurement of contact angles in powder systems*, „Powder Technology” 1987, 51(1), 3–14.

KPT. DR TOMASZ WĘSIERSKI – Adiunkt w Zakładzie Fizyki I Chemii Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Doktorat ukończył na Wydziale Chemii UAM w Poznaniu. Ze Państwową Strażą Pożarną związany od 2008 r. Specjalizuje się w zakresie ratownictwa chemicznego.

MŁ. KPT. MGR INŻ. OLIVER ESZER – Absolwent studiów stacjonarnych II stopnia na kierunku inżynieria bezpieczeństwa pożarowego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Dowódca Zastępu w JRG Morąg.

CAPTAIN TOMASZ WĘSIERSKI, PH.D. – Assistant Professor at the Department of Physics and Chemistry, Main School of Fire Service. Completed his doctoral studies at the Faculty of Chemistry, Adam Mickiewicz University in Poznań. Has been affiliated with the State Fire Service since 2008. Specialises in chemical rescue.

JUNIOR CAPTAIN OLIVER ESZER, M.ENG – Graduated from 2nd-cycle full-time studies in Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service in Warsaw. Company Officer at Morąg Fire & Rescue Unit.