

# Lepkosprężyste pianki poliuretanowe nadające się do wielokrotnego prania\*

Leonard Szczepkowski<sup>1),\*\*)</sup>, Joanna Ryszkowska<sup>2)</sup>, Monika Auguścik<sup>2)</sup>, Sylwia Przekurat<sup>1)</sup>, Adam Przekurat<sup>1)</sup>

DOI: [dx.doi.org/10.14314/polimery.2018.10.3](https://doi.org/10.14314/polimery.2018.10.3)

**Streszczenie:** Opracowano receptury cytokompatybilnych otwartokomórkowych lepkosprężystych pianek poliuretanowych (VEPUR), nadających się do wielokrotnego prania z wykorzystaniem domowej pralki automatycznej. Pianki otrzymywano z polioli zawierających ugrupowania oksyetylenowe (EO) i oksypropylenowe (PO). Nietoksyczne pianki o różnej twardości syntetyzowano z dodatkowym udziałem polioli zawierających ok. 80 % wiązań EO przy indeksie izocyjanianowym 0,9–1,0. W syntezie wykorzystano też reaktywne inhibitory, pozwalające na zmniejszenie szybkości reakcji spieniania, co zapobiegało zjawisku opadania. Otrzymane pianki wykazywały optymalny czas powrotu 1–8 s, dużą przepuszczalność powietrza 80–150 dm<sup>3</sup>/min, duży współczynnik absorpcji wody 1700–2100 %, mały współczynnik retencji wody 60–70 % i niewielki wzrost objętości po namoczeniu (poniżej 15 %). Cechy te predestynują opracowane materiały do wielokrotnego prania. Po pięciu cyklach prania twardość pianek zmieniła się nieznacznie, natomiast użytkownicy wyrobów obserwowali zdecydowaną poprawę w zakresie higieny oraz komfortu snu.

**Słowa kluczowe:** pianka poliuretanowa, pianka lepkosprężysta, grupy etoksyłowe, indeks izocyjanianowy, pranie.

## Viscoelastic polyurethane foams suitable for multiple washing processes

**Abstract:** The formulations of non-cytotoxic viscoelastic polyurethane open-cell foams (VEPUR), which are suitable for multiple washing using household automatic washing machine, were developed. The foams were prepared using polyols containing ethoxylate (EO) and propoxylate (PO) groups. In order to ensure no cytotoxicity, the foams with different hardness, including additional polyols containing about 80 % of EO groups and having isocyanate index of 0.9–1.0, were synthesized. The foams were prepared using reactive inhibitors, which allowed to decrease the reaction rate in order to avoid collapsing. The prepared VEPUR foams had promising qualities such as: optimal recovery time (1–8 s), high air permeability (80–150 dm<sup>3</sup>/min), high water absorption coefficient (1700–2100 %), low water retention coefficient (60–70 %) and low volume increase after soaking (less than 15 %). This characteristics makes the developed foams suitable for multiple washing. After five cycles of machine washing the hardness of the foams was changed very slightly, while the users of the foam products observed a substantial improvement of the hygiene and comfort of sleep.

**Keywords:** polyurethane foam, viscoelastic foam, ethoxylate groups, isocyanate index, washing.

Lepkosprężyste pianki poliuretanowe (VEPUR), nazywane wiskoelastycznymi lub piankami z pamięcią kształtu (ang. *memory foams*), są powszechnie stosowane w elementach wyposażenia sypialni, w tapicerce meblarskiej

oraz jako materiał wyściółkowy w rehabilitacji osób niepełnosprawnych [1, 2]. Szczególnie korzystnych efektów wykorzystania VEPUR doświadczają osoby zmuszone do długotrwałego leżenia, podczas którego poprawa komfortu jest oczekiwana i najbardziej odczuwalna. W tym obszarze zastosowań wymaga się, aby wyroby były łatwe w czyszczeniu i konserwacji, co pozwala na zachowanie higieny oraz, związanego z dobrą przepuszczalnością powietrza przez materiał, poczucia świeżości przez użytkownika. W praktyce wyroby piankowe, tj. poduszki, materace, elementy wyściółkowe, umieszcza się w powłóczkach i obszyciach, a w lokalach użyteczności publicznej – szpitalach i hotelach – dodatkowo zabezpiecza folią nieprzepuszczalną

<sup>1)</sup> Fampur Adam Przekurat, ul. Bergsona 40/30, 85-305 Bydgoszcz.

<sup>2)</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa.

\* Materiały prezentowane podczas konferencji „Poliuretany 2017 – materiały przyjazne dla człowieka i środowiska”, Ustroń, 8–11 października 2017.

\*\* Autor do korespondencji; e-mail: [leonardosz@interia.pl](mailto:leonardosz@interia.pl)

jącą wody. Bezpośredni kontakt z folią powoduje u pocących się osób poczucie dyskomfortu, dodatkowo u pacjentów długotrwale leżących sprzyja tworzeniu odleżyn. Pot ludzki służy do naturalnej regulacji ciepłoty ciała, jest nieodzownym czynnikiem ludzkiej egzystencji. Ilość wydzielanego przez człowieka potu wynosi 1–3 litrów/dobę. Skład potu to głównie woda (98 %) z dodatkiem ok. 400 różnych związków chemicznych. Wśród nich jest sporo składników nietlonych, takich jak: chlorek sodu (ok. 1 %), fosforany i siarczany, poza tym są tam białka i kwasy organiczne, tj.: kwas octowy, masłowy, walerianowy, kapronowy, kaprylowy i, towarzysząca ciężkiemu wysiłkowi, duża ilość kwasu mlekowego [3, 4]. Częstym powodem dyskomfortu użytkowników wyrobów piankowych, oprócz pocenia się, jest kontakt z płynami fizjologicznymi (biologicznymi). Powszechną metodą eliminacji takich zanieczyszczeń jest pranie materiałów przykrywkowych, takich jak powłoczki i prześcieradła. Zanieczyszczenia te obejmują jednak również pianki, stanowiąc źródło przykrego zapachu i pożywkę dla szkodliwych bakterii, co w konsekwencji może przyczynić się do rozprzestrzeniania chorób, zwłaszcza w szpitalach i ośrodkach pomocy dla osób trwale leżących.

Pianki lepkosprężyste wytwarzane wg pierwotnej receptury wykazują bardzo małą przepuszczalność powietrza, w zakresie 1–30 dm<sup>3</sup>/min [5], i nie nadają się do prania. Ich budowa nie zapewnia wystarczającej dla efektywnego prania absorpcji wody, a w szczególności zdolności do jej efektywnego usuwania na drodze wirowania lub suszenia w warunkach domowych. Podawana często informacja handlowa o możliwości prania poduszek z pianki lepkosprężystej dotyczy jedynie poszewek tkaninowych nakładanych na poliuretanową piankę (PUR). Pianki tej generacji wykazują tzw. pneumatyczny efekt lepkosprężystości, wynikający z obecności w ich budowie komórek zamkniętych z perforowanymi membranami komórkowymi [5–7]. Perforacje działają jak wentyle w dętce samochodowej, wypuszczają powietrze powoli podczas nacisku i wciągają je ponownie w czasie powrotu do stanu początkowego. Liczba i rozmiary tych perforacji oraz siła nacisku determinują typowe właściwości lepkosprężyste pianek, tj. małą odbojność (poniżej 20 %) oraz wydłużony czas powrotu (mierzony jako czas powrotu do początkowej wysokości po uwolnieniu nacisku pianki ściśniętej do 10 % wysokości początkowej). Czas ten wynosi 2–120 s i jest typowy dla pianek lepkosprężystych. Pianki te są nazywane konwencjonalnymi lepkosprężystymi piankami poliuretanowymi, a opisane zjawiska mają charakter czysto fizyczny. Materiały takie nie spełniają dostatecznie wymagań dotyczących dużej przepuszczalności powietrza i dużej absorpcji wody, a co najważniejsze nie zapewniają możliwości szybkiego wysuszenia. W celu poprawy właściwości pianek PUR podjęto badania określające wpływ rodzaju surowców, głównie polioli i substancji powierzchniowo-czynnych, na strukturę komórek pianki, głównie na liczbę i rozmiary perforacji błon komórkowych oraz budowę i jakość ścianek komórkowych [5, 8, 9]. W ostatnich latach opracowano nową

generację pianek lepkosprężystych z otwartymi komórkami, zapewniającymi dobrą przepuszczalność powietrza. Efekt lepkosprężysty osiągnięto w wyniku wytworzenia odpowiedniej struktury chemicznej ich membran. Potocznie pianki te są nazywane strukturalnymi piankami lepkosprężystymi [10, 11]. Możliwość otrzymywania otwartych komórek piankowych powiązано ze zmianą charakteru struktur komórkowych na bardziej hydrofilowe. Pianki otrzymane wg [12] cechuje przepuszczalność powietrza na poziomie powyżej 60 dm<sup>3</sup>/min i odbojność 6–11 %. Do ich wytworzenia zastosowano pochodne diizocyanianu difenylometanu (MDI) o zawartości grup izocyjanianowych (NCO) ok. 32,8 % z zachowaniem indeksu izocyjanianowego w przedziale 0,80–1,05. Składnikiem polioliowym była mieszanina z eterodiolu na bazie kopolimerów polioksyetylenowych (EO) i polioksypropylenowych (PO). Innowacją było użycie jednofunkcyjnych związków hydroksylowych (monoli) o liczbie hydroksylowej 100–500 mg KOH/g w ilości 0,1–5,0 % mas. w stosunku do sumy mas polioli. Takie monole zalecane są szczególnie w wypadku stosowania wysokich indeksów izocyjanianowych. Otrzymywanie pianek o dużej przepuszczalności powietrza na poziomie 230 dm<sup>3</sup>/min opisano w [13]. Do syntezy użyto dwa zasadnicze poliiole w ilości 30–70 % mas. każdego z nich. Jeden polioli zawierał 70–100 % ugrupowań EO, drugi natomiast 70–100 % ugrupowań PO. Zalecono zastosowanie tych polioli w ilościach masowych zapewniających stosunek 1 : 1 ugrupowań PO : EO. Pianki syntetyzowano z udziałem katalizatorów addytywnych, co – ze względu na możliwość ich wyflukiwania – uniemożliwia pranie takich wyrobów. Większość pianek wytwarzano przy założeniu indeksu izocyjanianowego równego 0,8. Uzyskano pianki o twardości 80–120 kPa, odbojności 0–11 % oraz czasach powrotu 5–60 s. Przyjmuje się, że najbardziej korzystne wartości czasu powrotu, umożliwiające zastosowanie pianek lepkosprężystych np. w meblarstwie, mieszczą się w przedziale 2–6 s [5]. Szeroki zakres receptur pianek lepkosprężystych przedstawiono w pracach Aou i współpr. [14, 15].

Opisane w literaturze modyfikacje, mające na celu rozwiązanie problemu prania pianek lepkosprężystych, polegają na odpowiednim doborze polioli zawierających ugrupowania PO oraz EO. Poliiole z dużą, powyżej 50 %, zawartością grup EO – nazywane otwieraczami komórek (ang. *cell openers*) – przyczyniają się do tworzenia w piankach lepkosprężystych komórek otwartych, zwiększając przepuszczalność powietrza i nadają wyrobom charakter hydrofilowy. Dowolne zwiększanie udziału polioli o dużej zawartości grup EO prowadzi jednak do nadmiernego otwierania komórek, co najczęściej jest powodem zwiększonej liczby pęknięć i, w ostateczności, opadnięcia pianki (tzw. kolaps, z ang. *collapse*). W toku syntezy pianek przy indeksie izocyjanianowym równym ok. 1,0 dochodzi do niekontrolowanego przebiegu procesu spieniania. Ponadto pianki lepkosprężyste wytworzone przy takim indeksie wykazują większą twardość, co przekłada się na komfort użytkowania ich w postaci poduszek i materaców. Z tego względu

większość producentów wytwarza pianki przy założonym mniejszym indeksie izocyjanianowym oraz stosuje różnego typu monole o zróżnicowanym ciężarze cząsteczkowym, które – jako jednofunkcyjne związki – również skutecznie blokują przedłużanie łańcuchów PUR w procesie spieniania. Wspomniane uwarunkowania związane z wytwarzaniem pianek lepkosprężystych przedstawiono w [13]. Z wykorzystaniem tych rozwiązań można otrzymać pianki lepkosprężyste o cechach użytkowych korzystnych do zastosowania w produkcji samochodów jako elementy wygaszające drgania wibracyjne i dźwiękowe [16]. W dostępnej literaturze dotyczącej lepkosprężystych pianek nadających się do prania nie znaleziono informacji związanych z oceną cytotoxyczności takich wyrobów.

Celem naszych badań było otrzymanie otwartokomórkowych pianek lepkosprężystych (VEPUR) o niewielkiej cytotoxyczności, najkorzystniejszej cytokompatybilnych, o dużym współczynniku absorpcji i małym współczynniku retencji wody, nadających się do wielokrotnego prania z wykorzystaniem domowej pralki automatycznej.

## CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### Materiały

#### Poliole

Poliol 1 (P1), Rokopol R3000 (PCC Rokita) – polieterol o funkcyjności 3, liczbie hydroksylowej 56 mg KOH/g, masie molowej ok. 3000 g/mol, zawartości ugrupowań PO ok. 95 %.

Poliol 2 (P2), Rokopol G1000 (PCC Rokita) – polieterol o funkcyjności 3, liczbie hydroksylowej 155–165 mg KOH/g, masie molowej ok. 1000 g/mol, zawartości ugrupowań PO 85–100 %.

Poliol 3 (P3), Rokopol M1170 (PCC Rokita) – polieterol o funkcyjności 3, liczbie hydroksylowej 35 mg KOH/g, zawartości ugrupowań EO powyżej 50 %.

Poliol 4 (P4), Daltoceł F526 (Huntsman) – polieterol o funkcyjności 3, liczbie hydroksylowej 125–127 mg KOH/g, masie molowej 1300 g/mol, zawartości ugrupowań EO powyżej 70 %.

#### Izocyjaniany

Iso1, Ongronat TR4040 (Wanhua, Węgry) – mieszanina 4,4'-diizocyjanianu difenylometanu oraz *o*-(*p*-izocyjanianobenzyl)fenyloizocyjanianu oraz poliizocyjaniano-poliifenylometanu, o funkcyjności 2, zawartości grup NCO 32,0–32,8 %.

Iso2, mieszanina Ongronatu TR 4040 z diizocyjanianem toluilenu TDI 80 (50/50) (Zachem – Ciech Bydgoszcz).

#### Katalizatory

Kat1, Jeffcat DPA (Huntsman) – *N*-(3-dimetyloamino-propylo)-*N,N*-diizopropanoloamina, katalizator żelowania.

Kat2, Tegoamin® ZE-1 (Evonik) – reaktywna amina, katalizator żelowania.

Kat3, Dabco NE 1070 (Air Products) – *N*-[3-(dimetyloamino)propylo]mocznik, katalizator żelowania.

Kat4, Jeffcat ZF-10 (Huntsman) – *N,N,N'*-trimetyloetylo-*N'*-hydroksyetylo-bisaminoetyloeter, katalizator spieniający.

#### Inhibitory

Inh1, Exolit OP560 (Clariant Int.) – ester kwasu fosfonowego o liczbie hydroksylowej 400–500 mg KOH/g, zawartości fosforu 10–13 %, inhibitor reaktywny.

Inh2, Fyrol PNX LE ICL (Industrial Products) – oligo-fosforan alkilowy addytywny.

**Środki powierzchniowo czynne (SP):** polisiloksan modyfikowany polieterem Tegostab B 4900 (Evonik).

**Czynnik spieniający:** woda.

#### Otrzymywanie pianek

Pianki wytwarzano przy założonym indeksie izocyjanianowym (INCO) 0,8–1,0. Indeks izocyjanianowy to stosunek ilości zastosowanego w procesie spieniania izocyjanianu do ilości teoretycznej, obliczonej według receptury w odniesieniu do wszystkich surowców zawierających grupy reaktywne względem grup izocyjanianowych.

Pianki otrzymywano metodą dwuetapową. Oddzielnie przygotowywano składniki A i B, a następnie je mieszano.

Składnik A – mieszanina zawierająca poliole, katalizatory, środki powierzchniowo czynne, wodę i inhibitory. Substraty odważano na wadze z dokładnością  $\pm 0,1$  g, następnie je mieszano przez 30 s za pomocą mieszadła z szybkością 3000 obr./min.

Składnik B – izocyjanian typu Ongronat TR 4040 lub jego mieszaninę z TDI 80 odważano z dokładnością  $\pm 0,1$  g.

Do dokładnie wymieszanego składnika A wlewano odważoną ilość składnika B. Zawartość mieszano intensywnie przez 8 s, a następnie szybko przelewano do otwartej prostokątnej formy badawczej lub formy przeznaczonej do produkcji poduszek w skali technicznej o objętości 1,63 dm<sup>3</sup>, wysmarowanej środkiem antyadhezyjnym Acmosil (Acmos Chemie KG) i podgrzanej do temp. 35–45 °C.

Po 10 min piankę lub wykonaną z niej poduszkę wyjmowano z formy, a następnie wygrzewano w temp. 70 °C. Po upływie 3 h piankę sezonowano w temperaturze pokojowej przez 14 dni przed rozpoczęciem badań. Receptury pianek zestawiono w tabeli 1. Poduszki wykonano z pianek otrzymanych według receptury 06, 08 i 09.

#### Metodyka badań

– Ocena wizualna pianki (Ocena) obejmowała wygląd powierzchni pianek (obecność dużych pęcherzy i pęknięć, skurczu i przebarwień) oraz struktury wewnętrznej w świetle rozproszonym. Jeśli wygląd wyrobu nie budził zastrzeżeń przyjęto oznaczenie OK, jeśli był wadliwy – NP.

T a b e l a 1. Receptury pianek wykonanych w formach otwartych

T a b l e 1. Formulations of foams produced in open molds

Składnik	Symbol receptury									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Udział, cz. mas.										
P1	16	16	16	15	20	15	10	10	10	10
P2	30	30	30	10	5	10	10	10	10	5
P3	21	21	21	-	-	19	-	-	-	-
P4	33	33	33	75	75	56	80	80	80	85
Udział, cz. mas./100 cz. mas. sumy mas polioli										
SP	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Kat1	0,4	0,3	0,3	0,4	-	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3
Kat2	-	-	-	-	0,4	0,2	-	-	-	-
Kat3	0,6	0,6	0,6	-	-	-	-	-	-	-
Kat4	-	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Woda	3,0	3,0	3,0	2,2	2,2	2,2	3,0	3,0	3,0	2,2
Inh1	-	-	-	-	-	0,5	-	5,0	2,2	-
Inh2	-	-	-	-	5,0	-	-	-	-	2,5
INCO										
Iso1	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	-	-	1,0	1,0
Iso2	-	-	-	-	-	-	1,0	1,0	-	-

- Gęstość pozorną pianki wyznaczano wg normy ISO 845.

- Twardość (*CLD* 40 %) określano wg normy ISO 3386-1 jako wartość nacisku potrzebnego do ściśnięcia pianki o 40 % w stosunku do pierwotnej wysokości pianki.

- Odbojność (*Flex*) wyznaczono wg normy ISO 8307 jako wartość procentową, przedstawiającą wysokość odbicia kulki o ciężarze 16,3 g spuszczonej z wysokości 50 cm na kształtkę pianki o wymiarach 100 × 100 × 50 mm.

- Czas powrotu (*TR*) mierzono w odniesieniu do próbek o wymiarach 150 × 150 × 150 mm ściśniętych do 10 % wysokości początkowej. Mierzono czas upływający do chwili osiągnięcia wysokości wyjściowej pianki po zdjęciu z niej obciążenia powodującego ściśnięcie.

- Przepuszczalność powietrza (*AP*) określano wg normy ISO 7231 jako ilość powietrza przepuszczanego pod ciśnieniem 125 Pa (ok. 13 mmH<sub>2</sub>O) przez próbkę pianki o wymiarach 50 × 50 × 25 mm.

- Cytotoksyczność (*CYT*) oceniano na podstawie wyniku hodowli na powierzchni pianki ludzkich monocytów THP-1 oraz ludzkich keranocytów HaCat. Wyroby niewykazujące cech cytotoksycznych oznaczano OK, pianki cytotoksyczne oznaczono N. Badania wykonano w Wojskowym Instytucie Higieny i Epidemiologii w Warszawie.

- Testy prania poduszek: poduszki o objętości ok. 16,3 dm<sup>3</sup>, po sezonowaniu przez 3 doby w warunkach normalnych, prano 5-krotnie w pralce domowej typu Bosch MaxxWFL 1600 w temp. 40 °C przy użyciu proszku typu Persil oraz płynu do płukania E, wirowano z szybkością 800 obr./min. W celu uniknięcia uszkodzeń mechanicznych poduszki wkładano do specjalnie uszytego worka z tkaniny 3D o wielkości oczek 2 × 2 mm, zamykanego na suwak.

- Współczynnik absorpcji wody (*WA*): poduszkę z pianki po procesie sezonowania suszono przez 30 min w temp. 70 °C, po ostudzeniu zanurzano w wodzie o temp. 40 °C na 30 min. Po wyjęciu z wody poduszkę umieszczano na jedną minutę na siatce wykonanej ze stali kwasoodpornej o wymiarach oczek 5 × 5 mm, w celu umożliwienia obcieknięcia wody powierzchniowej. Po zważeniu poduszki obliczano wartość współczynnika *WA* wg wzoru (1):

$$WA = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:  $W_0$  – masa poduszki przed zanurzeniem w wodzie (kg),  $W_1$  – masa poduszki po zanurzeniu w wodzie i zdjęciu z siatki (kg).

- Współczynnik retencji wody (*WR*): poduszkę z pianki po procesie sezonowania suszono przez 30 min w temp. 70 °C, po ostudzeniu zanurzano w wodzie o temp. 40 °C, następnie w tej temperaturze prano, po praniu wirowano z szybkością 800 obr./min. Wartość współczynnika *WR* obliczono wg wzoru (2):

$$WR = \frac{W_2 - W_0}{W_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie:  $W_0$  – masa poduszki przed zanurzeniem w wodzie (kg),  $W_2$  – masa poduszki po odwirowaniu (kg).

- Zmiana objętości pianki w kontakcie z wodą: poduszkę z pianki po procesie sezonowania suszono przez 30 min w temp. 70 °C, następnie mierzono jej objętość ( $V_0$ , dm<sup>3</sup>). Po ostudzeniu poduszkę zanurzano w wodzie o temp. 40 °C. Po wyjęciu z wody poduszkę umieszczano na jedną minutę na siatce o wymiarach oczek 5 × 5 mm, w celu umożliwienia obcieknięcia wody powierzch-

niowej. Po zdjęciu z siatki mierzono objętość poduszki ( $V_1$ , dm<sup>3</sup>). Zmianę objętości ( $\Delta V$ , %) obliczano wg wzoru (3):

$$\Delta V = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \cdot 100\% \quad (3)$$

– Oceny użytkowania poduszek dokonywały dwie osoby wykazujące wrodzoną nadmierną potliwość podczas snu. Codziennie, podczas trwania cyklu snu, zmieniały one dwukrotnie bieliznę.

## WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Do syntezy pianek użyto reaktywnych katalizatorów, wbudowujących się w łańcuchy poliuretanów, dzięki czemu nie są one wymywane podczas prania wyrobu. Wyniki badań pianek wykonanych w formach otwartych zestawiono w tabeli 2.

Pianka wykonana przy INCO = 0,8 (receptura 01) jest cytotoksyczna. Inne pianki lepkosprężyste (nieprzedstawione w artykule) wykonane przy INCO < 0,9 i przy różnej zawartości wody, różnym zestawie polioli i katalizatorów także były cytotoksyczne. Cytotoksyczności pianek wytwarzanych przy INCO < 0,9 prawdopodobnie sprzyja mały stopień separacji fazowej, osiągany w warunkach tak małego indeksu izocyjanianowego, jest to jednak tylko jeden z wielu czynników wpływających na cytotoksyczność poliuretanów [17]. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wartość INCO z przedziału 0,9–1,0 umożliwia wytwarzanie pianek lepkosprężystych cytokompatybilnych lub o niewielkiej cytotoksyczności. Jak już wspomniano, w dotychczasowej praktyce produkcyjnej i handlowej nie napotkano badań dotyczących cytotoksyczności pianek przeznaczonych na poduszki i materace, jednego z bardziej istotnych parametrów w tego typu zastosowaniach.

W wielu wcześniejszych pracach [18] w syntezie pianek PUR stosowano dużą wartość INCO, wpływającą na twardość otrzymywanych pianek. W celu poprawy cech użytkowych takich pianek do mieszanki dodawano różnego rodzaju monoli o masach molowych 40–4000 g/mol, z udziałem tlenków etylenu, propylenu, butylenu lub ich mieszanin w różnych proporcjach. Zastosowanie receptur przedstawionych w tabeli 1 przy wartościach INCO = 0,9–1,0

umożliwiło otrzymanie wyrobów cytokompatybilnych. Ponieważ pianka 03 wykazywała zwiększoną twardość, to w następnych recepturach zwiększono masę polioli o dużej zawartości wiązań etoksylogowych. Powodowało to jednak znaczne przyspieszenie reakcji spieniania pianki. W wypadku receptury 07 (do syntezy użyto mieszanin izocyjanianów – pochodnych MDI i TDI) uzyskano piankę z efektem opadnięcia po etapie wzrostu. Powodem kolapsu była duża szybkość reakcji, która uniemożliwiła powstanie stabilnej struktury komórkowej pianki. Konieczne było dodanie inhibitorów ograniczających szybkość reakcji spieniania (pianka 08), a także regulujących właściwości hydrofilowe gotowego wyrobu. Zastosowano dwa typy inhibitorów fosforanowych: reaktywne (Inh1 – pianki 06, 08, 09) i addytywne (Inh2 – pianki 05, 10), w ilości 0,5–5,0 % mas. w stosunku do sumy mas używanych w recepturze polioli. W wypadku pianek przeznaczonych na wyroby do prania korzystne jest używanie dodatków reaktywnych. Dodatki addytywne mogą być natomiast stosowane w piankach lepkosprężystych przeznaczonych do pochłaniania drgań wibracyjnych i hałasów w elementach samochodów lub w budownictwie.

Pianki wykonane według podanych receptur wykazują gęstość pozorną w przedziale 43–65 kg/m<sup>3</sup>, podczas gdy pianki opisane przez Rajana i współpr. [7], syntetyzowane z MDI przy INCO z zakresu 0,5–1,0, cechuje gęstość ok. 65–70 kg/m<sup>3</sup>. Twardość wytworzonych pianek lepkosprężystych wynosiła 1,0–3,0 kPa, przykładowe pianki lepkosprężyste opisane przez Landersa i współpr. [6] cechowała twardość na poziomie 3,5–5,5 kPa. Odbojność badanych pianek sięgała 9 % (a przykładowych pianek [7] wynosiła 3 %), czas powrotu wynosił 1–8 s i był znacznie krótszy niż pianek opisywanych w literaturze [7] (10–15 s). Wytworzone pianki wykazywały przepuszczalność powietrza 80–150 dm<sup>3</sup>/min, znacznie większą niż pianki opisywane w literaturze. Ta cecha pianek ułatwia wentylowanie wyrobów w wyniku ich wietrzenia, co stwarza możliwość zachowania higieny podczas użytkowania poduszek lub materaców.

Wyniki badań poduszek wykonanych z opracowanych pianek VEPUR, przeprowadzonych w trakcie i po cyklu prania, przedstawiono w tabeli 3. Stwierdzono, że wyroby te wykazują korzystnie duży współczynnik ab-

**T a b e l a 2.** Wyniki badań pianek wykonanych w formach otwartych

**T a b l e 2.** Properties of foams produced in open molds

Właściwość pianki	Symbol receptury									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Ocena, OK/NP	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NP	OK	OK	OK
Gęstość pozorną, kg/m <sup>3</sup>	50,6	42,8	39,5	64,8	60,3	61,4	–	45,0	47,3	59,5
CLD 40 %, kPa	1,0	1,3	3,0	1,6	1,9	1,1	–	1,3	1,6	2,5
AP, dm <sup>3</sup> /min	80	92	110	130	120	120	–	140	150	120
Flex, %	2	6	6	1	2	2	–	2	9	7
TR, s	5	8	8	2	1	1	–	4	7	1
CYT, OK/N	N	OK	OK	OK	OK	OK	–	OK	OK	OK

T a b e l a 3. Wyniki badań poduszek w teście wielokrotnego prania

T a b e l e 3. Results of evaluation of cushions using multiple washing test

Badana wielkość	Poduszka 06	Poduszka 08	Poduszka 09
WA, %	1696	2105	1754
WR, %	59	60	69
Masa początkowa, kg	0,84	0,78	0,89
Masa po pięciu praniach, kg	0,80	0,77	0,85
Objętość początkowa, dm <sup>3</sup>	16,3	16,2	16,2
Objętość po namoczeniu, dm <sup>3</sup>	18,0	18,6	18,2
Zmiana objętości, %	10,4	14,5	12,0
CLD 40 % początkowa, kPa	2,5	2,0	2,2
CLD 40 % po suszeniu, kPa	2,4	1,8	2,0
CLD 40 % po suszeniu po pięciu praniach, kPa	2,0	1,9	2,1

sorpcji wody (1700–2100 %), umożliwiającą jej wnikanie do wnętrza pianki w procesie prania. Niewielki wzrost objętości po namoczeniu (10–15 %) sprawia, że poduszki mieszczą się w standardowych pralkach automatycznych. Mały współczynnik retencji (60–70 %) świadczy o tym, że w procesie wirowania z pianek usuwana jest znaczna ilość wody. Czas suszenia poduszek po praniu był uzależniony od warunków otoczenia. Wszystkie operacje wykonywano w warunkach laboratoryjnych (lub domowych) w temp. 18–22 °C i wilgotności względnej 55–75 %. W pobliżu kaloryferów suszenie trwało 2 doby, w innych warunkach 3–4 doby. Po pięciu cyklach prania i suszenia twardość pianek zawierających 80 cz. mas. polioliu o największej zawartości EO (P4) zsyntetyzowanych przy INCO = 1,0 (08 i 09) zmieniła się nieznacznie. Nieco większe zmiany twardości obserwowano w wypadku pianki 06 zawierającej polioliu P3 (19 cz. mas.) i P4 (56 cz. mas.) zsyntetyzowanej przy INCO = 0,9. Twardość pianek wytworzonych z udziałem reaktywnych inhibitorów zmieniła się w najmniejszym stopniu.

### WNIOSKI

Pianki lepkosprężyste wykonano z zastosowaniem polioliu zawierających duże ilości grup etoksyloowych (EO) przy indeksach izocyjanianowych INCO 0,8–1,0. Dodatek efektywnych inhibitorów addytywnych lub reaktywnych pozwolił na wytworzenie pianek, z których można kształtować wyroby w formach zamkniętych. Zastosowanie polioliu z dużą zawartością grup etoksyloowych wymagało użycia nieco większej ilości środków powierzchniowo czynnych i dodatkowo katalizatorów spieniania. Stwierdzono, że wytworzone przy INCO 0,9–1,0 pianki lepkosprężyste są cytocompatybilne. Otrzymano pianki [19] o różnej twardości, dające możliwości wielokrotnego ich prania i efektywnego suszenia w warunkach domowych, z zachowaniem właściwości użytkowych wyrobów.

Pranie wyrobów z tych pianek pozwoli zmniejszyć ryzyko zagrożeń epidemiologicznych, zwłaszcza w zakładach opieki zdrowotnej, szpitalach i domach opieki dla osób starszych i długotrwale leżących.

### LITERATURA

- [1] Polyurethane Foam Association, In Touch **2016**, V, 11 (1).
- [2] Bienenstock R.: *Furniture World Magazine* **2013**, V, 143 (1).
- [3] <http://aptekazdrowie.pl/aktualnosci/nadmiernopotliwosc-defekt-kosmetyczny-czy-choroba/> (data dostępu 22.05.2015)
- [4] Skowron M., Grabowska-Polanowska B., Faber J. i in.: Raport Nr 2070/Ch, PAN Kraków 2014.
- [5] *Pat. US* 20 120 028 024 A1 (2012).
- [6] Landers R., Hubel R., Borgogelli R.: "The Importance of Cell Structure for Viscoelastic Foams", Polyurethanes Technical Conference, Orlando, Florida, 24–24 września 2007.
- [7] Rajan K.P., Dhilipraj D.B., Manikandan N. i in.: *Cellular Polymers* **2011**, 30 (1), 13.
- [8] Eyrisch O., Burkhart G.: Tailor Made Silicone Surfactants for Viscoelastic Foams Polyurethane Conference, Atlanta, Georgia, 24–26 września 2012.
- [9] Kageoka M., Inaoka K., Utsumi H. i in.: "Novel Low-Resilience Slabstock Polyol", Mitsui Takeda Chemicals, Inc.
- [10] *Pat US* 8 318 823 B2 (2008).
- [11] BASF Cosy PUR systems, Informacja Handlowa.
- [12] *Pat US* 2013/0150476 A1.
- [13] *Pat US* 7 022 746 B2 (2006).
- [14] Aou K., Ge S., Mowery D.M. i in.: *Polymer* **2015**, 56, 37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2014.09.070>
- [15] Aou K., Schrock A.K., Baugh III D. i in.: *Polymer* **2017**, 117, 183. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2017.04.011>
- [16] Zamani H.A., Aghdam M.M., Sadighi M.: *Composite Structures* **2018**, 193, 42. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.03.061>
- [17] Marois Y., Guidoin R.: "Biocompatibility of Polyurethanes", Madame Curie Bioscience Database, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK6422/>, pobrano 20.03.2018.
- [18] *Pat US* 6 391 935 B1 (2002).
- [19] *Pat PL* 227 703 B1 (2014).

Otrzymano 28 II 2018 r.