

Opis wynalazku.

W znanych dotychczasowych sposobach techniki pianki integralne otrzymuje się na drodze reakcji poliaddycji diizocyjanianów i ich prepolimerów ze związkami wielowodorotlenowymi będącymi produktami reakcji poliaddycji tlenków propylenu/etylenu z diolami (glikolami) lub triolami (gliceryna, trójmetylolopropan itp.). Do grupy tej zaliczane są również wielowodorotlenowe produkty kondensacji organicznych kwasów dikarboksylowych z glikolami i innymi związkami hydroksylowymi. Ponadto w procesie stosowane są hydroksylowe związki difunkcyjne jako przedłużacze łańcuchów (t.j. glikole, butanodiol 1,3 lub 1,4 itp.), difunkcyjne aminy pierwszorzędowe takie jak etylenodiamina, diaminy aromatyczne oraz trójfunkcyjne środki sieciujące (t.j. gliceryna, trójmetylolopropan, N,N-dietanoloamina itp.). Istotną rolę w procesie odgrywają również stosowane katalizatory modyfikujące szybkości reakcji wzrostu i sieciowania pianki. W dotychczasowej praktyce do tych celów szeroko stosowano zwykle alifatyczne aminy trzeciorzędowe, a głównie 1,4-diazabicyklo(2,2,2) oktan oraz sole metali kwasów organicznych. Najbardziej rozpowszechnione to sole cynawe, cynowe, a ostatnio molibdenu i chelaty cyrkonowe. Pianki integralne posiadają charakterystyczną budowę odróżniającą rdzeń od skóry. Rdzeń (środek) pianki posiada budowę komórkową zaś skóra stanowi materiał lity. Średnia gęstość pianki integralnej jako całości wynosi 150-900 kg/m³, przy czym skóra posiada gęstość 1000-1100 kg/m³, zaś rdzeń 100-900 kg/m³. Dzięki takiej budowie pianki te pełnią rolę konstrukcyjną, jak również wyściółkową zapewniając miękką, przyjemny dotyk (znany ogólnie jako *soft touch*). Strukturę komórkową zapewniają chemiczne (woda) i fizyczne środki spieniające. Powszechnie stosowanym chemicznym środkiem spieniającym jest woda, w wyniku jej reakcji z izocyjanianami wydziela się ditlenek węgla, będący czynnikiem porotwórczym dla tworzącego się poliuretanu. Podczas tej reakcji z wyjściowego izocyjanianu powstaje diamina, która w obecności katalizatorów tworzy ugrupowania mocznikowe wpływające w sposób istotny na właściwości gotowego wyrobu. Stosowanie wody jako poroforu podwyższa temperaturę reakcji powodując lokalne przegrzania i deformację struktury pianki jak również podwyższa zawartość ugrupowań mocznikowych obniżających właściwości mechaniczne końcowego wyrobu. W przypadku stosowania w recepturze dużej zawartości wody, powyżej 5,0 % względem masy stosowanych polioli, w przypadku produkcji wyrobów wielkogabarytowych dochodziło do samozapłonów i pożarów instalacji produkcyjnych. Z tych powodów w latach 50 i 60-tych ubiegłego stulecia zaczęto poszukiwać dodatkowych

pomocniczych środków spieniających dla bezpiecznego wytwarzania pianek poliuretanowych o różnych gęstościach. Środki te nazwano *ciekłymi porofoarami fizycznymi*. W celu prowadzenia powtarzalnego procesu spieniania preferowano porofory fizyczne o następujących właściwościach fizykochemicznych: w warunkach normalnych ciecz o temperaturze wrzenia ok. 30-40°C, czynnik obojętny chemicznie, a szczególnie względem stosowanych w procesie surowców, niepalny i nie tworzący z powietrzem mieszanin wybuchowych, obojętny dla organizmów ludzkich, wykazujący dobrą rozpuszczalność w podstawowych surowcach stosowanych do spieniania, o niskiej wartości przewodnictwa cieplnego. Parametry te gwarantowały znaczne obniżenie lepkości spienianych mieszanin, zaś ich odparowywanie podczas spieniania gwarantowało obniżenie temperatury spieniania, co zapobiegało nadmiernemu wzrostowi temperatury, zakłóceniom w strukturze pianki oraz wyeliminowało groźbę zapłonu instalacji. Takim wymarzonym środkiem okazał się całkowicie halogenowy węglowodór typu CFC: trichlorofluoro metan (CFC-11 popularnie nazywany Freon F-11). Ten porofor spełniał idealnie wszystkie parametry przetwórcze i był najbardziej popularny w przetwórstwie poliuretanów. Jednakże późniejsze dokładne badania wskazały na negatywne jego skutki w zakresie niszczenia warstwy ozonowej (wysoki ODP- Ozon Depletion Potencjal). Powstała zatem druga generacja tej rodziny węglowodorów tzw. częściowo halogenowane węglowodory typu HCFC z jej przedstawicielem HCFC-141b, która również w pełni nie spełniała wymagań konwencji genewskiej wraz z protokołem montrealским z 1987r. Trzecią generację porofoforów fizycznych opracowała firma Solvay wprowadzając do obrotu fluorowane węglowodory typu HFC, a szczególnie mieszaniny dwóch węglowodorów :365mfc oraz 227ea o nazwie handlowej SOLKANE 365/227. Generacja ta wykazywała niskie wartości współczynnika ODP i dobrze sprawdzała się w przetwórstwie wszystkich typów poliuretanów, jednakże wykazywała się dużymi wartościami potencjału tworzenia efektu cieplarnianego (GWP- Global Warming Potencjal). Z uwagi na zauważalnie zmieniający się klimat w sposób drastyczny ograniczono stosowanie tych substancji do 2023 roku wprowadzając jednocześnie IV generację węglowodorów typu HFO. Najnowsza generacja stanowi wodoro-fluoro-, jak również fluoro-pochodne węglowodorów nienasyconych. Najbardziej aktualnie rekomendowane są HFO-1336 mzz (Z) o budowie $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CH}-\text{CF}_3$ (cis) i temperaturze wrzenia 33°C, oraz HFO-1233 zd(E) o budowie $\text{CHCl}=\text{CH}-\text{CF}_3$ (trans), temperaturze wrzenia 19°C oraz wskaźniku GWP ok. 6, (Pat. US 9.051.442 B2-2015r.). Węglowodory te znane są pod nazwą Soltice^(R)1233zd(E)LBA firmy Honeywell International Inc. Inny porofor z tej dziedziny o podobnych właściwościach i o dużym stopniu zaawansowania aplikacyjnego opracowała firma DuPont. Środek ten o nazwie

Formacel 1100(FEA-1100), symbolu HFO-1336mzz-Z i wzorze strukturalnym $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHCF}_3$ posiada temperaturę wrzenia 32°C , zerowy wskaźnik ODP oraz b. mały wskaźnik GWP(5). W oparciu o ten typ związków istnieje olbrzymia możliwość produkcji różnych podstawników i ich umiejscowienia w łańcuchach węglowodorowych oraz izomerów cis/trans i ich wzajemnych mieszanin co daje ogromne warianty modyfikacji właściwości tych środków i ich różnorodności aplikacyjnych (Pat. US 9.051.500 B2-2015r.).

Aktualnie producenci wysyłają próbki tych materiałów do odbiorców tych środków w celu wykonania wstępnych badań aplikacyjnych.

Na podstawie przedstawionego opisu, można stwierdzić, że porofory fizyczne przeszły najbardziej drastyczne przemiany (cztery generacje w przeciągu 60 -70 lat), spośród surowców do wytwarzania porowatych poliuretanów. Najnowsza generacja jest aktualnie we wstępnej ocenie aplikacyjnej u odbiorców i trudno jest wyrokować jakie będą rezultaty tych badań, prowadzonych w trudnych warunkach terenowych i w trakcie długotrwałego użytkowania. Stąd od pewnego czasu pojawił się kierunek badań, którego celem jest rezygnacja z dodatku ciekłych, fizycznych porofoforów w przetwórstwie poliuretanów. Próby wyeliminowania porofoforów fizycznych przy wytwarzaniu pianki integralnej podejmowano już we wcześniejszych latach. Jednakże wygoda i ogólna dostępność porofoforów fizycznych oraz brak jednoznacznego ich powiązania ze zmianami klimatycznymi oraz niszczeniem górnych warstw atmosfery oddalała konieczność intensyfikacji prac nad doskonaleniem i opracowywaniem nowych porofoforów. Pierwsze prace dotyczyły dodatku węglanów amonowych, sodowych, które w warunkach spieniania a szczególnie podwyższonej temperatury wydzielały gazowy ditlenek węgla lub jego mieszaninę z amoniakiem, wg Pat.US 5.451.612(1995r.). Podobne efekty uzyskiwano poprzez stosowanie metalicznych soli kwasów organicznych (stearynian cynku), wg Pat.US 5.342.856(1994r.). Dalsze, dość skuteczne kroki związane z eliminacją porofoforów fizycznych stosowano poprzez wprowadzanie do procesu spieniania karbaminianów amoniowych na bazie aminopolieterów o masach cząsteczkowych 2000 g/mol. W rozwiązaniu tym uzyskiwano niewielkie obniżenie gęstości do poziomów 560 kg/m^3 dla swobodnie rosnącej pianki. W dalszych rozwiązaniach stosowano karbaminiany otrzymane na bazie alkanoloamin, wg Pat US 5.789.451 A (1998r.) oraz wg Pat. US 6.316.662 B1(2001) . W tych przypadkach uzyskano gęstości pianek na poziomie $220\text{-}450 \text{ kg/m}^3$ dla swobodnie rosnącej pianki. Kolejne próby eliminacji porofoforów fizycznych realizowano poprzez dodatek karbaminianów amin pierwszo- i lub drugorzędowych, wg Pat US 6.326.412 B1. W oparciu o te dodatki przeprowadzono udane próby technicznego wykorzystania przedmieszek do wytwarzania kół kierownicy

wytwarzanych metodą RIM, gdzie uzyskano pianki o gęstości na poziomie 500 kg/m³. Generalnie, dotychczasowe dodatki wpływały jedynie na przyspieszenie procesu spieniania i katalizowały reakcję grup izocyjanianowych z wodą (wytwarzanie ditlenku węgla). Procesy żelowania regulowano dodatkiem tradycyjnych środków typu DABCO lub solami kwasów organicznych a głównie dibutylo-dilaurynian cyny (IV). Technika wytwarzania poliuretanowych pianek integralnych sposobem według wynalazku jest kolejnym wyczekiwany sposobem wyeliminowania dodatku poroforów fizycznych, które chyba nadal przechodzą kolejną ewolucję i czekają na ostateczne potwierdzenie aplikacyjne u odbiorców. Wytwarzanie pianek integralnych sposobem według wynalazku polega na dodatku do mieszaniny spieniającej adduktów ditlenku węgla ze związkami aminowymi zawierającymi w cząsteczce aminy pierwszorzędowe, drugorzędowe oraz trzeciorzędowe. Nieoczekiwanie stwierdzono, że związki te, w porównaniu do dotychczas stosowanych, tworzą addukty z ditlenkiem węgla w stosunku 1:2. Dzięki zastosowaniu tych adduktów w mieszaninie substratów do wytwarzania poliuretanów można do ich struktury wprowadzić więcej ditlenku węgla odpowiedzialnego bezpośrednio za stopień spienienia. Ponadto ich zastosowanie umożliwia zmniejszenie ilości wody w recepturze pianek służącej ich spienianiu. Ponadto związki te posiadają właściwości katalityczne zarówno do regulacji procesu wzrostu pianki (kataliza reakcji grup izocyjanianowych z wodą), jak również do procesu sieciowania (żelowania) masy spieniającej (kataliza reakcji grup izocyjanianowych z grupami hydroksylowymi). Proces ten ma znaczący wpływ na przebieg procesu żelowania, dzięki temu możliwe jest obniżenie lub całkowite wyeliminowanie tradycyjnych dotychczas stosowanych środków t.j. 2-etyloheksanian cynawy (II) lub dibutylo dilaurynian cyny (IV)-popularnie nazywany DBTDL. Stosowanie -sposobu według wynalazku do wytwarzania poliuretanowych pianek integralnych pozwala na otrzymywanie wyrobów spełniających wymagania Dyrektywy Komisji Europejskiej Nr 276/2010 zmieniającej klasyfikację DBTDL ze „szkodliwej” na „trująca” z jednoczesnym obniżeniem dopuszczalnej zawartości cyny (IV) do poziomu 0.1 % w masie wyrobu. Dzięki temu można stosować jako katalizatory żelowania sole kwasów karboksylowych cynku i bizmutu oraz kompleksy cyrkonowe zaś stosowane w sposobie według wynalazku aminy okazały się wyjątkowo dobrymi ko-katalizatorami tych soli w procesie żelowania. Typowymi przykładami amin tworzących addukty z ditlenkiem węgla pełniącymi jednocześnie rolę katalizatorów oraz ko-katalizatorów w procesie żelowania są następujące przykłady związków, które nie ograniczają stosowania innych wchodzących w zakres niniejszego wynalazku: N,N-dimetylo-dipropyleno-triamina o wzorze liniowym $(CH_3)_2N(CH_2)_3NH(CH_2)_3NH_2$ (symbol handlowy DMDPTA); 1-(2-

aminoetylo)piperazyna o wzorze $\text{HN}[\text{CH}_2\text{CH}_2]_2\text{N}(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2$ (symbol handlowy DAEP); N,N- dimetylodietylenotriamina o wzorze $(\text{CH}_3)_2\text{N}(\text{CH}_2)_2\text{NH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2$; N-[3-dimetyloamino)]propylomocznik o wzorze liniowym $\text{H}_2\text{NC}(\text{O})\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_3)_2$ itp. Z przedstawionych przykładów wynika, że atomy N mogą być również wbudowywane w różne konfiguracje wielocłonowe, w tym również pierścienie węglowodorowe związków heterocyklicznych. Rezygnacja z udziału fizycznych poroforów w dotychczasowych recepturach pianki integralnej używanych w ilościach 10-20% względem masy polioli pociąga za sobą pewne konsekwencje związane z podwyższeniem lepkości mieszaniny poliolowej, jak również konieczność obniżenia grup izocyjanianowych w strumieniu izocyjanianowym. Obecność ciekłych poroforów fizycznych w dotychczasowych rozwiązaniach sprzyjała możliwości użycia izocyjanianów o wysokiej zawartości grup izocyjanianowych na poziomie 28-32%, gdyż wydzielane ciepło reakcji zużywane było na ciepło odparowania poroforu. Zapewniało to spienianie powolne i w bezpiecznych warunkach bez niepożądanego przegrzewania i deformacji struktury piankowej wyrobu. Stąd pierwszoplanowym zadaniem było opracowanie odpowiednich prepolimerów 4,4'-diizocyjanianodifenylometanu (MDI) i uzyskanie zawartości grup izocyjanianowych na poziomie poniżej 20%. Głównym założeniem było otrzymanie prepolimeru na poziomie funkcyjności 2,0-2,1 i lepkości poniżej 800 mPas w warunkach normalnych. Do prac przeznaczono pochodne MDI o zawartości izomeru 4,4' powyżej 70%. W realizacji niniejszego wynalazku bazowano na homologach MDI pochodzących z firmy Borsodchem/Wanhua takich jak Ongronaty: TR 4040, 3000, 3600 oraz 3800. Jako czynnik reakcyjny w syntezie prepolimerów stosowano alkohole wielowodorotlenowe (polieterole) otrzymane na bazie poliaddycji tlenu propylenu/etylenu przy czym jako inicjatory reakcji stosowano tri-funkcyjne (głównie gliceryna), jak również di-funkcyjne (glikole) związki hydroksylowe. Typowymi przykładami surowców opartych na glicerynie są polieterole o liczbach hydroksylowych 20-60 mg KOH/g, funkcyjności 2,5-3,0; masie cząsteczkowej 2500-8000 g/mol i lepkości 600-1500 mPas. Główni przedstawiciele tej grupy polieteroli to: Rokopole M 6000 i M 5000 z firmy PCC Rokita; Voranate V6001 z firmy Dow Chemicals; Arcol 1374 z firmy Bayer. Przykładami surowców opartych na glikolach są polieterole o liczbach hydroksylowych 20-60 mg KOH/g, funkcyjności 1,7-2,0; masie cząsteczkowej 1000-4000 g/mol i lepkości 600-1500 mPas. W realizacji tego wynalazku bazowano na polieterolach z PCC Rokita takich jak: Rokopole D 2002, DE 4020. W wyniku wielu prób otrzymano odpowiednie prepolimery o zawartości NCO na poziomie 19%, równoważniku

chemicznym 221 i lepkości ok. 700 mPas zachowujących klarowność podczas przechowywania w warunkach normalnych.

W skład strumienia polioliowego sposobem według wynalazku stosowano polieterole polimeryczne t.j. Arcol HS100, Desmophen 7619W(Covestro A.G.), Rokopol 3640(PCC Rokita) o liczbach hydroksylowych 20-35 mg KOH/g, lepkości 3000-5500 mPas. Wymienione polieterole zapewniały otrzymywanie końcowych wyrobów o wysokich parametrach wytrzymałościowych.

Istotę wynalazku przedstawiono w poniższych przykładach, które nie ograniczają jego stosowania.

Surowce:

Pol. 1 Glikol monoetylenowy(MEG) o wzorze liniowym $\text{HO}(\text{CH}_2)_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$, m.cz.62,0

dostawca Z.Ch. Organika S.A. Łódź.

Pol. 2 Rokopol DE 4020-stanowi polieterol na bazie tlenku propylenu i glikolu etylenowego,

LOH 29,5 mg KOH/g, m.cz. 4000 g/mol, funkcyjność 2(f), PCC Rokita.

Pol. 3 Rokopol M 6000-stanowi polieterol na bazie tlenków propylenu/etylenu i gliceryny,

LOH 28,0 mg KOH/g, m.cz. 6000 g/mol, $f=3$, PCC Rokita.

Pol. 4 Desmophen 7619 W-stanowi polimeryczny polieterol będący mieszaniną reaktywnego

Polieterolu oraz polimerycznego rozdrobnionego mocznika, LOH 28 mg KOH/g,

Lepkość ok. 4000 mPas, Covestro A.G.

Kat.1. Reaktywny silny katalizator reakcji wody z izocyjanianem o nazwie Jeffcat ZF-10,

dostawca Huntsman.

Kat.2. Reaktywny silny katalizator reakcji wody z izocyjanianem o nazwie Dabco NE 300,

dostawca Air Products.

Kat.3. Silny aminowy katalizator żelowania(reakcji izocyjanianów z poliolami) o nazwie

Jeffcat DMDPTA, Hunstman.

Kat.4. Katalizator reakcji żelowania o nazwie Dabco NE 1070, Air Products.

Kat.5. Aminowy co-katalizator żelowania o nazwie 1-(2-aminoetylo)piperazyna, dostawca

Sigma-Aldrich.

Kat.6. Metalo-organiczny co- katalizator reakcji żelowania o nazwie Dabco MB 20,
Air Products.

Kat.7. Silny metaloorganiczny katalizator żelowania o nazwie dibutyldilaurynian cyny(IV).
znany jako DBTDL, zaw. cyny(IV) 18-19%, Sigma-Aldrich.

Sil.1. Silikonowy związek powierzchniowo czynny Tegostab B 4900, firmy Evonik Ind.

Sil 2. Silikonowy związek powierzchniowo czynny Dabco DC 2525, firmy Air Products.

Iso.1. Ciekła postać 4,4'-diizocyjanianodifenylenometanu o nazwie Ongronat 3800, zaw.
NCO 28,0%, Borsodchem.

Otrzymywanie adduktów katalizator żelujący z ditlenkiem węgla (Add.).

Przygotowywano roztwór 20-50% katalizatora żelującego w MEG a następnie dozowano gazowy di tlenek węgla do pełnego nasycenia. Dla uzyskania optymalnego nasycenia mieszaninę chłodzono wodą o temperaturze 9-10⁰C. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli nr 1.

Tabela nr 1. Przygotowanie roztworów adduktów katalizator żelowania – ditlenek węgla.

Nr Add.	Skład	Zaw. Kat. (%)	Zaw. CO ₂ (%)	Zaw. CO ₂ /100g Kat.
Add. 1	MEG/Kat.3	25	11,6	46,4
Add. 2	MEG/ Kat.4	20	3,3	15,5
Add. 3	MEG/ Kat.5	25	10,5	42,0

Otrzymywanie prepolimerów izocyjanianowych.

W celu uniknięcia nadmiernych wzrostów temperatury podczas spieniania przyjęto koncepcję obniżenia zawartości reaktywnych grup funkcyjnych w prepolimerach izocyjanianowych. Jako kryterium oceny przyjęto: osiągnięcie lepkości granicznej na poziomie max 900 mPas, uzyskanie pozytywnej oceny otrzymywanych na ich bazie pianek integralnych oraz zachowanie formy ciekłej prepolimeru podczas dłuższego magazynowania. Jako najniższą wartość grup izocyjanianowych dla prepolimeru przyjęto poziom 19%. Sposób wykonania prepolimerów oparto na tradycyjnych powszechnie stosowanych modelach wykonawczych:

do reaktora zaopatrzonego w mieszadło, termometr, wkraplacz, chłodnicę zwrotną dodano 250 cz.wag. izocyjanianu i podgrzano do 80°C. W tym momencie wkraplano obliczoną ilość polioliu zapewniającą ego końcową ilość grup izocyjanianowych na poziomie 19.0%

Szybkość wkraplania regulowano tak, ażeby nie przekroczyć temperatury mieszaniny reakcyjnej 85°C.

Po wkropleniu polioliu mieszaninę utrzymywano w temperaturze 80°C przez dalsze dwie godziny. Po dwóch dobach magazynowania otrzymany prepolimer poddawano ocenie w procesie wytwarzania pianki integralnej oraz stabilności podczas magazynowania. Wyniki zestawiono w tablicy nr 2.

Tablica nr 2. Otrzymywanie prepolimerów izocyjanianowych.

Prepolimer	Izocyjanian	Poliol	Ocena przetwórcza	Magazynowanie
P-1	Iso 1	Poliol 4	B.dobra	Dobry
P-2	Iso 1	Poliol 3	B. dobra	Bardzo dobry

Otrzymane prepolimery stosowano do wyrobu pianek integralnych.

Otrzymywanie pianek integralnych sposobem według wynalazku.

Poliole 1,3,4, mieszano w różnych ilościach oraz dodawano katalizatory, środki powierzchniowo czynne, wodę oraz przygotowany wcześniej addukt katalizator żelowania z ditlenkiem węgla. Zawartość silnie mieszano zmodyfikowanym mieszadłem tarczowym w ciągu 30 sekund do uzyskania jednorodnej mieszaniny. Do tak przygotowanej mieszaniny wlewano szybko odmierzoną ilość prepolimeru a następnie mieszano mieszadłem szybkoobrotowym w ciągu 6 sekund i wlewano szybko do formy o wymiarach 20cmx20cmx5cm. Po upływie 5-10 minut produkt wyjmowano i wygrzewano dodatkowo w temperaturze 70°C w ciągu 40 minut. Po dwóch dobach produkt przeznaczono do badań i prób aplikacyjnych. Parametry otrzymywania pianek integralnych z użyciem adduktów katalizatorów żelowania z ditlenkiem węgla przedstawiono w tabeli nr 3.

Tabela nr 3. Parametry otrzymywania pianek integralnych.

Lp	Nazwa	Ilości użytych surowców (cz. wag.)										
		R 1	W 1	R 2	W 2	R 3	W 3	R 4	W 4	W5	W6	W7
1	Pol. 1	8,4	6,3	8,4		8,4		5,0	5,0		2,3	4,3
3	Pol. 3	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	55,2	41,4	41,4	41,4
4	Pol. 4	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	26,6	13,8	27,6	27,6	27,6
4	Kat.1	0,06	0,06			0,06	0,06	0,06	0,06	0,06		0,1
5	Kat.2			0,06	0,06						0,06	
6	Kat.6 ⁽¹⁾			0,8	0,6	0,8		0,8	0,6		0,6	
7	Kat.7 ⁽¹⁾	0,02	0,015				0,015			0,01		
8	Sil.1	0,3					0,3			0,3		
9	Sil.2			0,3	0,3	0,3		0,3			0,3	0,2
10	Add.1		5,5		10,0		5,1		5,7			
11	Add.2									5,1		
12	Add.3										8,8	6,0
13	Woda	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,6	0,6	0,3	0,2	0,1
14	P-1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0	1,0	
15	P-2								1,0			1,0
Ważniejsze właściwości pianek integralnych												
Gęstość ⁽²⁾ (kg/m ³)		350,4	221,3	300,5	191,0	287,0	157,2	208,3	131,7	147,0	231,0	179,5
Twardość ⁽³⁾ (ShA)		46,0	40,0	46,0	23,0	38	8,0	15,0	15,0	10,0	20,0	14,0

Gdzie: ⁽¹⁾ 25% roztwór katalizatora w Polioliu 4,

⁽²⁾ gęstość pianki przy swobodnym wzroście,

⁽³⁾ twardość pianki w skali Sh A przy swobodnym wzroście,

R – pianki referencyjne bez użycia adduktów z ditlenkiem węgla,

W– pianki przy użyciu adduktów z ditlenkiem węgla.

W tabeli nr 3 przedstawiono receptury otrzymywania pianek integralnych z użyciem adduktów z di tlenkiem węgla w porównaniu do pianek otrzymywanych bez użycia adduktów z ditlenkiem na identycznych poziomach wody w zakresie 0,1 do 0,6 cz. wag. w odniesieniu do sumy użytych polioli podstawowych Polioli 3 i 4. We wszystkich przypadkach stosowano ten sam przedłużacz łańcuchów tzn. monoetylenoglikol (MEG). W przedstawionych formuacjach uzyskano ten sam efekt porównawczy czyli obniżkę gęstości w granicach 23-49%. Wielkość ta zależy od ilości dodanego adduktu, ale zbyt duży dodatek może wpływać na parametry procesowe co wymaga dokonania w recepturach pewnych korekt. Ponadto stosowanie adduktów ditlenku węgla według wynalazku pozwala na możliwość umożliwić całkowite wyeliminowanie metalicznych soli kwasów karboksylowych w recepturach spieniających. Przykładem tego jest receptura W7, w której uzyskano prawie dwukrotną obniżkę gęstości bez stosowania typowych środków żelujących takich jak t.j. Dabco MB 20

lub DBTDL. Duży wpływ na efektywne obniżenie gęstości pianek integralnych poprzez dodatek ilości dodawanych adduktów ditlenku węgla ma również dobór urządzenia spieniającego a szczególnie dobrze dobrana wydajność urządzenia i typ głowicy dozującej. W prezentowanej metodzie addukty ditlenku węgla dodawano w strumieniu polioliowym. W przypadku wielostrumieniowych głowic dozujących istnieje możliwość dodawania adduktów ditlenku węgla w oddzielnym strumieniu, co w sposób zasadniczy zmienia elastyczność spieniania i łatwość w dokonywaniu zmian asortymentowych. W oparciu o powyższe dane wypracowano receptury eliminujące stosowanie ciekłych węglowodorów bez wpływu na atmosferę ziemską, jak również dające możliwość obniżenia zawartości cyny(II) i cyny(IV) w gotowych wyrobach. W rzeczywistości wykorzystuje się ditlenek węgla, który w krajach opartych na węglu kamiennym powinien być surowcem dla wielu procesów chemicznych, aby ograniczyć jego emisje. W przedstawionej recepturze stosowano również reaktywne katalizatory spieniania i żelowania, co obniża wartość emitowanych substancji organicznych (wskaźnik VOC) podczas aplikacji tych pianek. W sumie daje to możliwość produkcji pianek integralnych całkowicie bezpiecznych dla środowiska.