



Struktura i własności wybranych gatunków szkieł stosowanych na opakowania

Ł. Nowak^a, B. Ziębowicz^b

^a Absolwent Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
email: noowaq@gazeta.pl

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie
email: boguslaw.ziebowicz@polsl.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań struktury i własności wybranych gatunków szkieł stosowanych na opakowania o różnym stanie uszlachetnienia powierzchni zewnętrznej. Badania obejmowały wytrzymałość na ciśnienie zewnętrzne, uderzenie dynamiczne oraz obciążenie pionowe.

Abstract: This paper presents the results of the structure and properties of selected species of glass used for packaging of various states of the outer surface finish. The study included strength to external pressure, dynamic impact, and dynamic vertical load.

Słowa kluczowe: szkło opakowaniowe, wytrzymałość na ciśnienie wewnętrzne, wytrzymałość na uderzenie dynamiczne, wytrzymałość na obciążenie pionowe

1. WSTĘP

Obecność powierzchniowych wad w szkłe zazwyczaj obniża jego wytrzymałość, co pociąga za sobą szereg negatywnych konsekwencji. Dlatego w celu poprawy wytrzymałości szkieł stosowane są liczne metody polegające na usunięciu występujących wad poprzez zabezpieczenie powierzchni szkła przed powtórny jego uszkodzeniem lub poddaniu jego powierzchni układom naprężeń ściskających, zdolnych do przewyciężenia wad wytrzymałościowych. Ulepszone tymi sposobami szkła swą wytrzymałością przewyższają znacznie własności szkieł nieobrobionych.

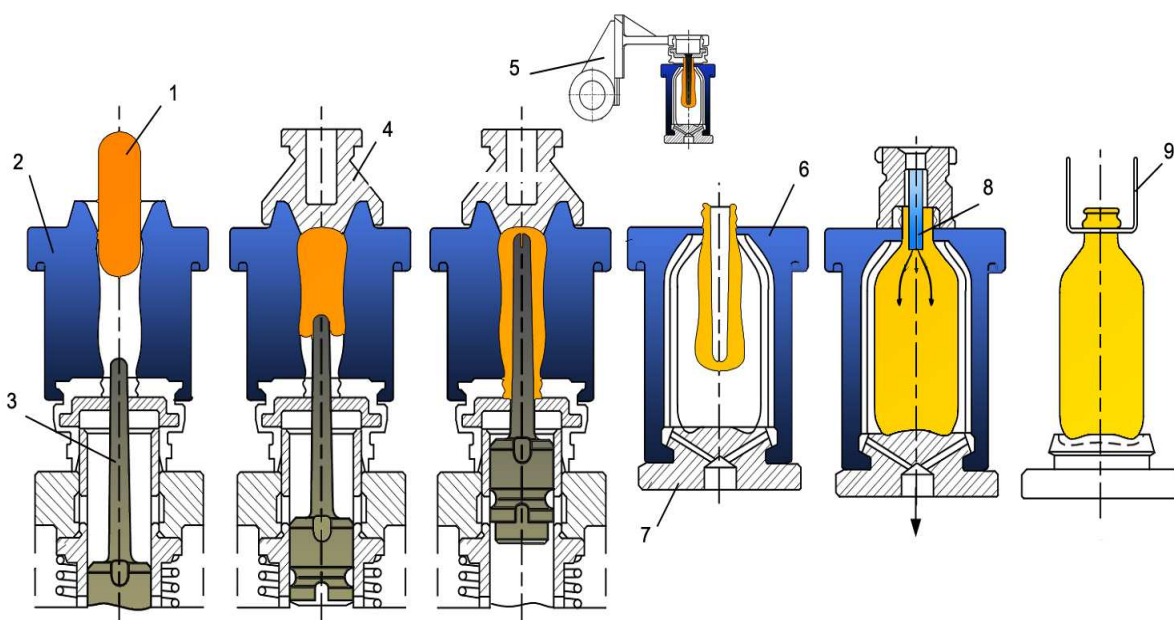
W branży opakowań szklanych w celu polepszenia ich własności wytrzymałościowych stosowana jest modyfikacja powierzchni szkła realizowana poprzez uszlachetnienie ich powierzchni tlenkami metali i substancjami organicznymi, która pozwala zagwarantować coraz to wyższy wachlarz wymagań odbiorców opakowań. Modyfikacja powierzchni szkła powoduje to, że opakowania z takiego szkła mogą mieć mniejszą masę przy zachowaniu ich wysokiej wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne znajdujących się wewnątrz substancji,

odporności na uderzenia podczas transportu i przesuwu opakowań na coraz to wydajniejszych liniach produkcyjnych a także wytrzymałości na nacisk pionowy podczas transportu i magazynowania na kilkunastopiętrowych paletach oraz późniejszego ich zamknięcia [1-15].

Celem niniejszej pracy było zbadanie podstawowych własności wytrzymałościowych odgrywających istotne znaczenie podczas dalszego wykorzystania opakowań szklanych tej samej konstrukcji o różnym stanie uszlachetnienia powierzchni zewnętrznej w celu weryfikacji słuszności stosowania uszlachetnienia na gorąco i zimno.

2. MATERIAŁ DO BADAŃ

Do badań wykorzystano wyprodukowane przez Hutę Szkła Orzesze szklane opakowania ciśnieniowe typu GOLD wytworzone metodą NNPB (*Narrow Neck Press and Blow*), przeznaczone dla przemysłu spożywczego (rys. 1) [13, 14, 17].



Rysunek 1. Schemat formowania metodą NNPB: 1 – kropla, 2 – przedforma, 3 – stempel, 4 – dno przedformy, 5 – podajnik, 6 – forma, 7 – dno formy, 8 – dysza, 9 – szczęki odbieraka [17]
 Figure 1. Diagram for forming NNPB method: 1 – drop, 2 – preform, 3 – feeder, 4 – bottom of preform, 5 – feeder, 6 – form, 7 – bottom of form, 8 – nozzle, 9 – jaws of doffer [17]

Należą one do grupy butelek o pojemności od 20÷2000 cm³ przeznaczonych do przechowywania płynnych artykułów spożywczych – między innymi piwa. Wymagania dla tej grupy opakowań zawierają się w normie PN/O-78700 oraz wyznaczone są indywidualnie pomiędzy wytwórcą a odbiorcą. Na własności wytrzymałościowe opakowań mają wpływ takie czynniki, jak: kształt opakowania, metoda produkcji oraz skład chemiczny. Rysunek 2 przedstawia kształt badanych opakowań oraz główne punkty, ważne dla dalszych badań. Skład chemiczny opakowań szklanych użytych do badań przedstawiono w tabeli 1.

Podstawowe wymagania dla opakowań szklanych ciśnieniowych dla przemysłu spożywczego zostały zestawione w tablicy 2.



Rysunek 2. Widok opakowania szklanego typu GOLD z zaznaczonymi głównymi punktami uwzględnionymi w dalszych badaniach

Figure 2. View of the glass packaging with selected main points to be included in further studies

Tablica 1. Skład chemiczny badanych opakowań szklanych

Table 1. Chemical composition of the studied glass packaging

Skład chemiczny	Zawartość wag., %
SiO ₂	71,5
Al ₂ O ₃	1,3
Fe ₂ O ₃	0,3
CaO	11,6
MgO	0,7
Na ₂ O	14,1
K ₂ O	0,4
SO ₃	0,1

Tablica 2. Podstawowe wymagania stawiane opakowaniom ciśnieniowym

Table 2. Basic requirements for pressure packaging

Wymaganie	Występowanie	Parametry
Barwa szkła	Tak	Jednolita barwa wg uzgodnień z odbiorcą i wzorcem kolorów
Odpężenie	Tak	ok. 30 min
Odporność na szok cieplny	Tak	min. 50°C
Ciśnienie wewnętrzne	Tak	min. 14 Bar
Udarność	Tak	min 152/60 cm/s / IPS
Nacisk pionowy	Tak	min. 6,27 kN
Naprężenia wewnętrzne		max. 100 nm/cm
Odporność chemiczna na działanie wody	Tak	Min. 4 klasa wg PN-65/S-13085
Przepuszczalność światła	Tak	ok. 40%

Badania zostały przeprowadzone na opakowaniach ciśnieniowych typu GOLD o powierzchni nieuszlachetnionej i dwóch wariantach powierzchni uszlachetnionej przedstawionych w tablicy 3.

Tablica 3. Rodzaje modyfikacji badanych opakowań

Table 3. Types of modification of examined packages

Typ opakowania	Uszlachetnienie na gorąco (dwutlenek cyny SnO ₂), temp. 600°C	Uszlachetnienie na zimno (wosk polietylowy), temp. 100°C	Obróbka cieplna (odprężanie) ok. 30 min., temp 530°C
Nieuszlachetnione (P0)	NIE	NIE	TAK
Uszlachetnione (P1)	TAK	NIE	TAK
Uszlachetnione (P2)	TAK	TAK	TAK

a)



b)



Rysunek 3. Widok urządzenia do: a) uszlachetniania na gorąco, b) uszlachetniania na zimno [16]

Figure 3. View of the equipment: a) for hot ennobling, b) for cold ennobling [16]

Tablica 4. Wybrane wymagania wymiarowe stawiane badanym opakowaniom szklanym

Table 4. Selected size requirements imposed of the tested glass packaging

STANDARDY WYMAGAŃ					
WYRÓB: Butelka GOLD – 500 ml			METODA PRODUKCJI: NNPB		
POJ.	Pojemność nominalna	ml	500 ± 7,0	min.493,0	max. 507,0
	Pojemność całkowita	ml	520 ± 7,0	min. 513,0	max. 527,0
	Ciężar	g	320 ± 14		
KORPUS	Wysokość całkowita	mm	257,40 ± 1,4	min. 256,50	max. 258,80
	Średnica pola etykietowego	mm	68,80 ± 1,3	min. 67,50	max. 70,10
	Odchylenie od osi	mm			max. 2,60
	Grubość ścianki – góra	mm		min. 1,40	
	Grubość ścianki – środek	mm		min. 1,30	

	Grubość ścianki – dół	mm		min. 1,50	
	Grubość dna (min)	mm		min. 2,00	
	Różnica grubości dna (max)	mm			max. 3,00

Warstwa uszlachetniona na gorąco (dwutlenek cyny SnO_2) nałożona została metodą PVD w temperaturze 600°C , a jej grubość wynosi 100 ± 10 nm (rys. 3a). Warstwa uszlachetniona na zimno (wosk polietylenowy) została nałożona poprzez proces natryskiwania w temperaturze 100°C , a jej grubość wynosi 300-500 nm (rys. 3b).

W celu przeprowadzenia porównawczych badań wytrzymałościowych wytypowano po 20 butelek dla każdego rodzaju badania, które spełniały normy wymiarowe zestawione w tabelicy 4. Badania zostały wykonane w Hucie Szkła Orzesze.

3. METODYKA BADAŃ

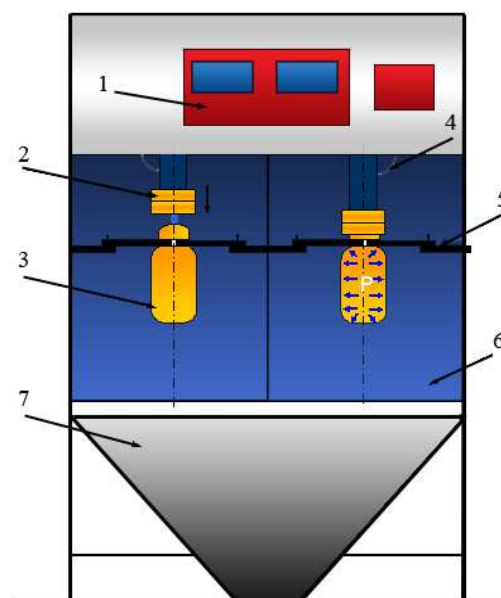
3.1. Wytrzymałość opakowań szklanych na ciśnienie wewnętrzne

Pomiar wytrzymałości został przeprowadzany dla butelek ciśnieniowych zgodnie z normą PN-EN ISO 7458: 2005. W zależności od sposobu wykonania badania, rozróżnia się dwie metody pomiaru: metoda A – przy zastosowaniu stałego ciśnienia wewnętrznego w określonym czasie, metoda B – przy zastosowaniu wzrastającego ciśnienia wewnętrznego przy ustalonej stałej szybkości. W celu uzyskania wyników porównawczych wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne, badania zostały wykonane zgodnie z metodą B z wykorzystaniem urządzenia RPT2, którego widok ogólny oraz schemat działania przedstawiono na rysunku 4. W celu wykonania badania butelki wstępnie napełniono wodą destylowaną o temperaturze otoczenia.

a)



b)



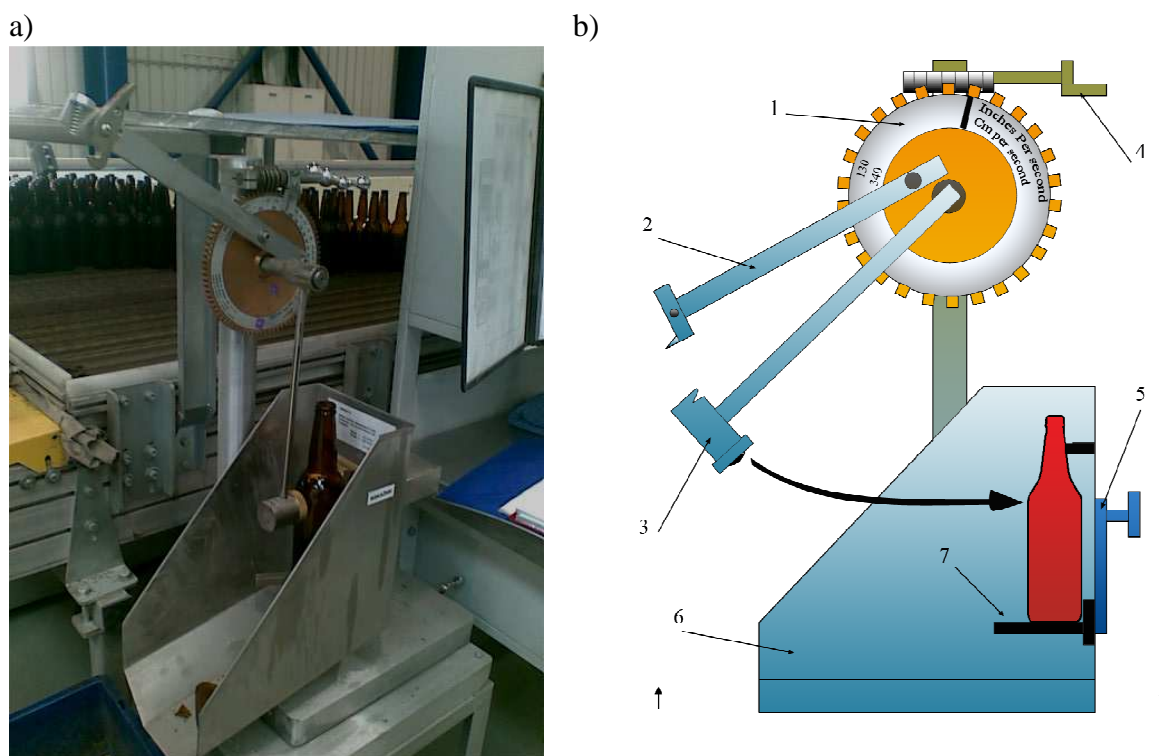
Rysunek 4. Widok ogólny a) oraz schemat działania b) urządzenia do badań wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne (1 – pulpit sterowniczy, 2 – głowica, 3 – próbka, 4 – przewód zasilający

głowice cieszą, 5 – ruchome szczęki mocujące, 6 – zbiornik na stłuczkę, 7 – odpływ cieczy po badaniu) [13, 14, 17]

Figure 4. General view a) and the diagram of operation b) device for testing internal pressure strength (1 – operation panel, 2 – head, 3 – the sample, 4 – power cable head-liquid, 5 – movable jaws, 6 – tank for cullet, 7 – the outflow of liquid after researches) [13, 14, 17]

3.2. Wytrzymałość opakowań szklanych na uderzenie dynamiczne

Pomiar wytrzymałości na uderzenie dynamiczne został przeprowadzony przy użyciu młotka Prestona zgodnie z normą PN-EN ISO 7459: 2005, którego widok ogólny oraz schemat działania przedstawiono na rysunku 5. W zależności od kształtu wyrobu rozróżnia się trzy metody pomiaru: A – dla wyrobów okrągłych – należy dokonać pomiaru w dwóch miejscach styku wyrobu: miejsce styku w dolnej części wyrobu powyżej dna, miejsce styku w górnej części wyrobu (rys. 1); B – dla wyrobów owalnych i płaskich – pomiaru należy dokonać na środku wielkiej i małej osi; C – dla wyrobów o innych kształtach – punkt uderzenia powinien znajdować się w środku słabego punktu konstrukcji. Pomiarów dokonano metodą A w temperaturze pokojowej.



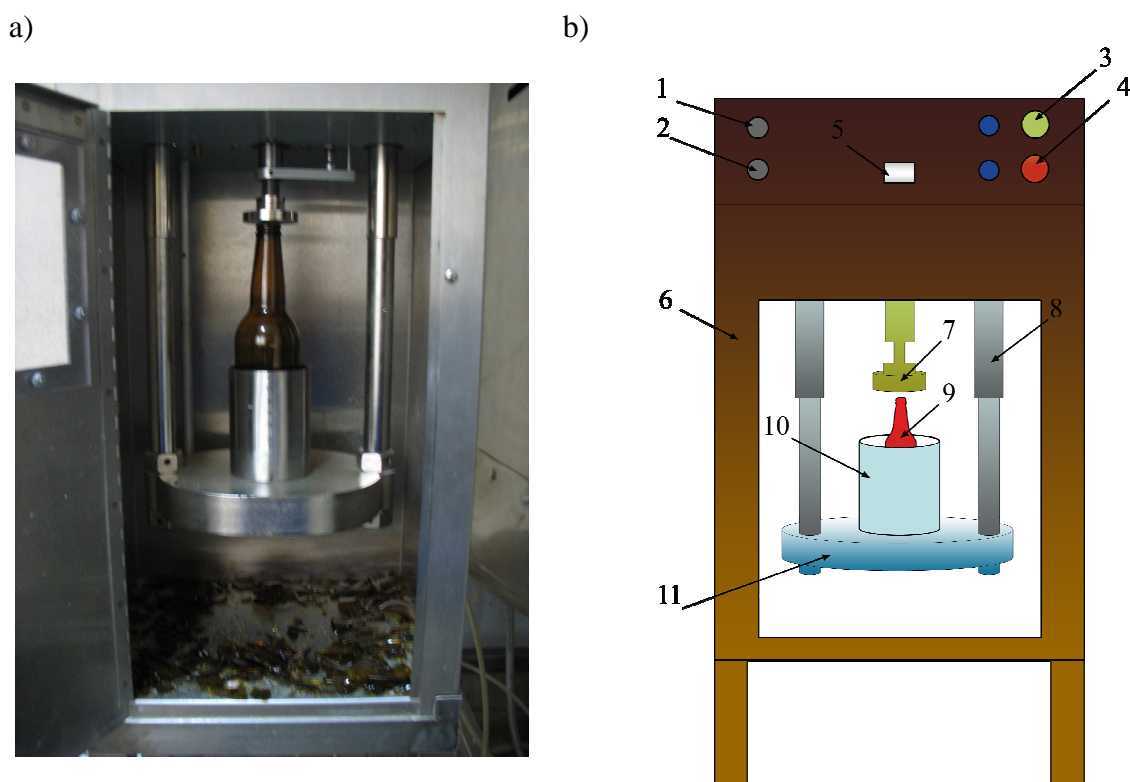
Rysunek 5. Widok ogólny a) oraz schemat działania b) młotka Prestona (1 – tarcza pomiarowa, 2 – sztywno zamocowane ramię zaczepowe, 3 – młotek, 4 – pokrętko kalibrujące, 5 – regulator wysokości stolika, 6 – zbiornik na stłuczkę, 7 – stolik pomiarowy) [13, 14, 17]

Figure 5. General view a) and the diagram of operation b) hammer Preston (1 – measuring shield, 2 – arm of rigidly secured arm, 3 – hammer, 4 – the dial of calibration, 5 – height adjuster of the table, 6 – tank for cullet, 7 – measuring panel) [13, 14, 17]

Działanie urządzenia polega na dynamicznym zadaniu uderzenia młotkiem, o ciężarze 612 g, w badany przedmiot. Miarą badania jest pomiar prędkości młotka zakończonego stalową kulką o średnicy 1 cm potrzebny do zniszczenia próbki. Prędkość regulowana jest wartością kąta pomiędzy próbką a młotkiem. Maksymalna prędkość uderzenia wynosi 340 cm/s.

3.3. Wytrzymałość opakowań szklanych na obciążenie pionowe

Pomiar wytrzymałości opakowań szklanych na obciążenie pionowe zostało wykonane zgodnie z normą PN-EN ISO 8113: 2005 na urządzeniu VLT firmy AGR w temperaturze pokojowej. Metoda pomiaru polega na obciążaniu wyrobu aż do jego zniszczenia wzdłuż osi pionowej siłą o stałym wzroście – 36,2 kg/s. Widok ogólny oraz schemat działania urządzenia do badań wytrzymałości na obciążenie pionowe przedstawiono na rysunku 6.



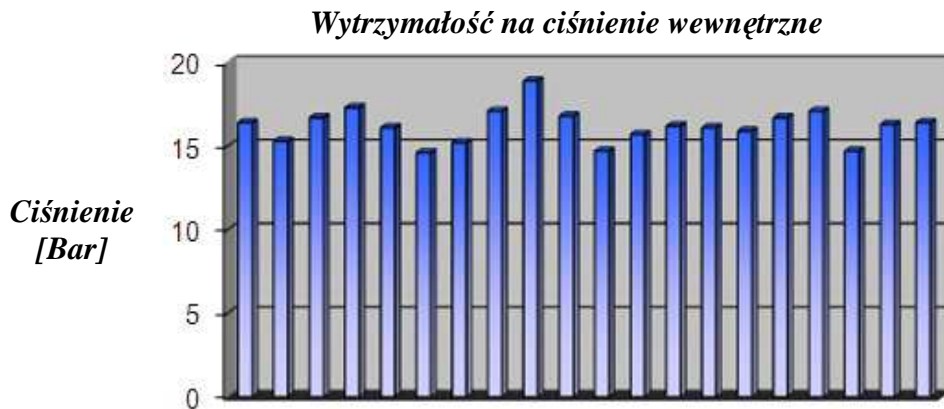
Rysunek 6. Widok ogólny a) oraz schemat działania b) urządzenia do badań wytrzymałości na obciążenie pionowe (1÷5 – pulpit sterowniczy, 6 – rama nośna, 7 – stempel, 8 – teleskopowe zawieszenie stolika pomiarowego, 9 – próbka, 10 – pojemnik przeciwrozpryskowy, 11 – stolik pomiarowy) [13, 14, 17]

Figure 6. General view a) and the diagram of operation b) device for testing strength of vertical load (1-5 – operation panel, 6 – the support frame, 7 – stamp, 8 – telescopic suspension of measuring panel, 9 – sample, 10 – container, 11 – measuring panel) [13, 14, 17]

4. WYNIKI BADAŃ

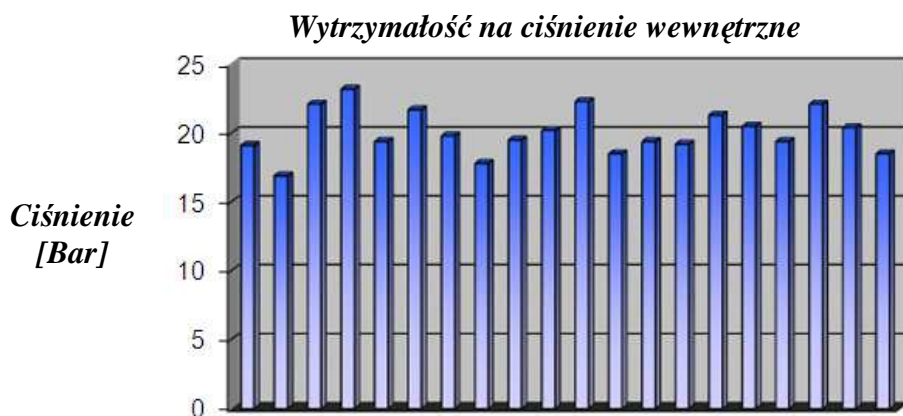
4.1. Wyniki badań wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne

Wyniki przeprowadzonych pomiarów opakowań szklanych i badań na ciśnienie wewnętrzne zostały przedstawione na rysunkach 7÷9.



Rysunek 7. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne próbek nieuszlachtanych P0

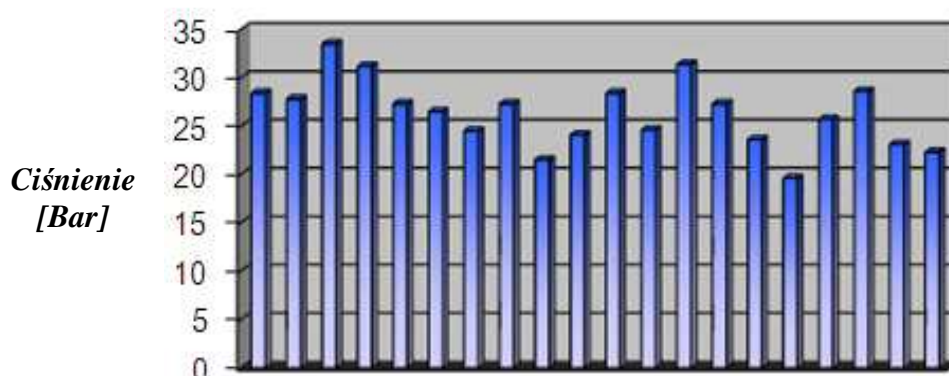
Figure 7. Graphical representation of internal pressure strength for samples P0



Rysunek 8. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne próbek uszlachtanych na gorąco P1

Figure 8. Graphical representation of internal pressure strength for samples P1

Wytrzymałość na ciśnienie wewnętrzne

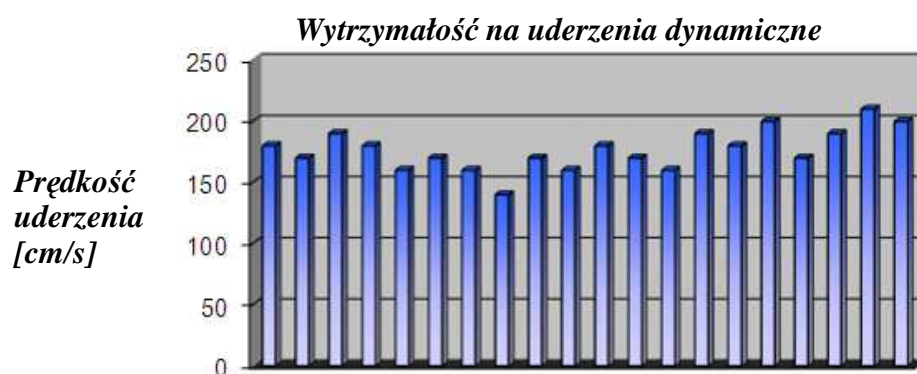


Rysunek 9. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne próbek uszlachetnionych na gorąco i zimno P2

Figure 9. Graphical representation of internal pressure strength for samples P2

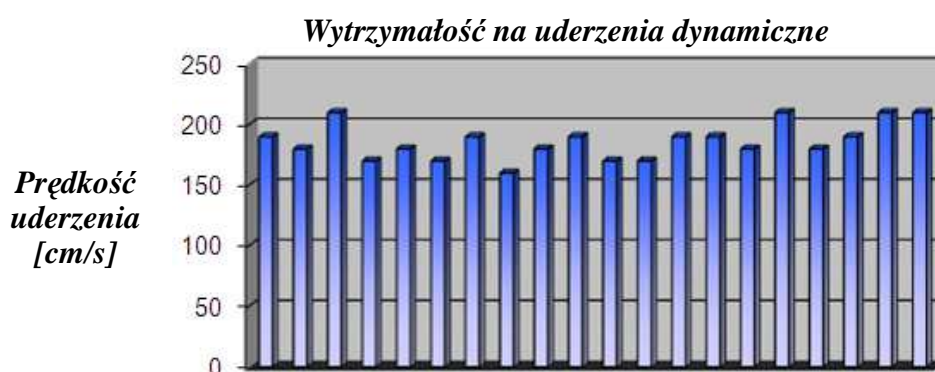
4.2. Wyniki badań wytrzymałości na uderzenie dynamiczne

Wyniki przeprowadzonych pomiarów opakowań szklanych i badań na wytrzymałość na uderzenie dynamiczne zostały przedstawione na rysunkach 10÷15.



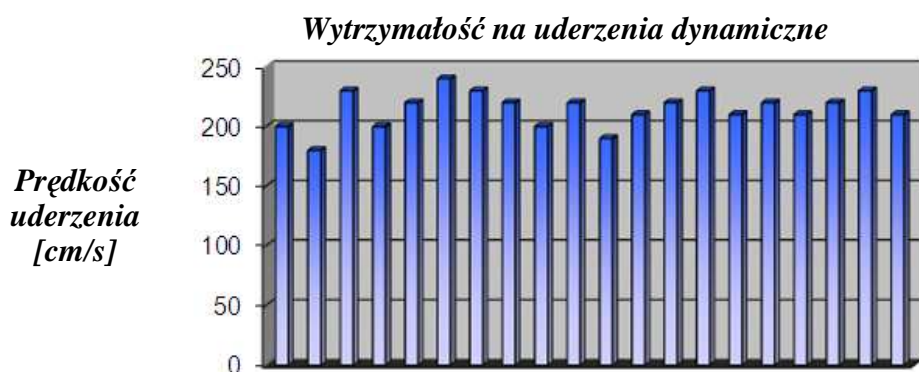
Rysunek 10. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na uderzenie dynamiczne próbek nieuszlachetnionych P0-miejsce styku-góra

Figure 10. Graphical representation of dynamic impact strength for samples P0-contact area-top



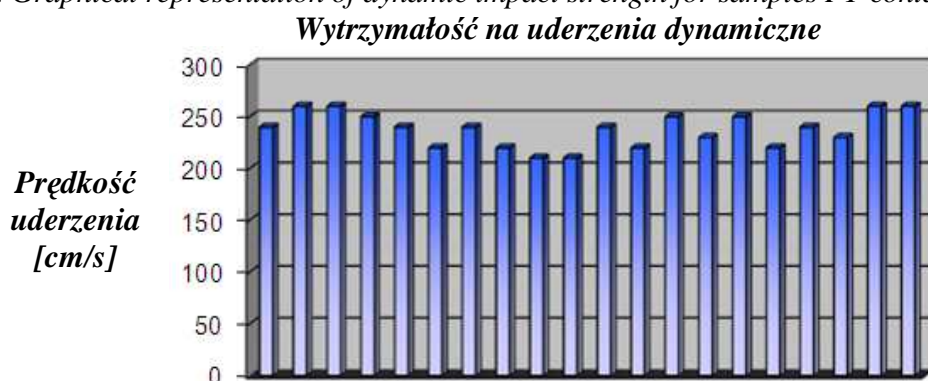
Rysunek 11. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na uderzenie dynamiczne próbek nieuszlachetnionych P0-miejsce styku-dół

Figure 11. Graphical representation of dynamic impact strength for samples P0-contact area-bottom



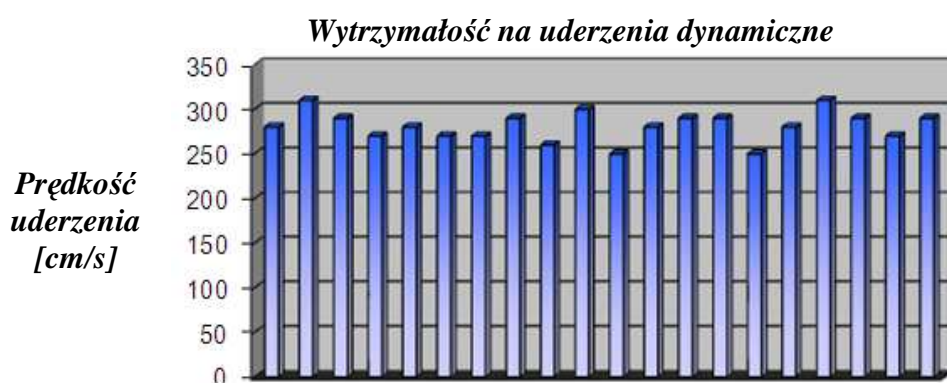
Rysunek 12. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na uderzenie dynamiczne próbek uszlachetnionych P1-miejsce styku-góra

Figure 12. Graphical representation of dynamic impact strength for samples P1-contact area-top



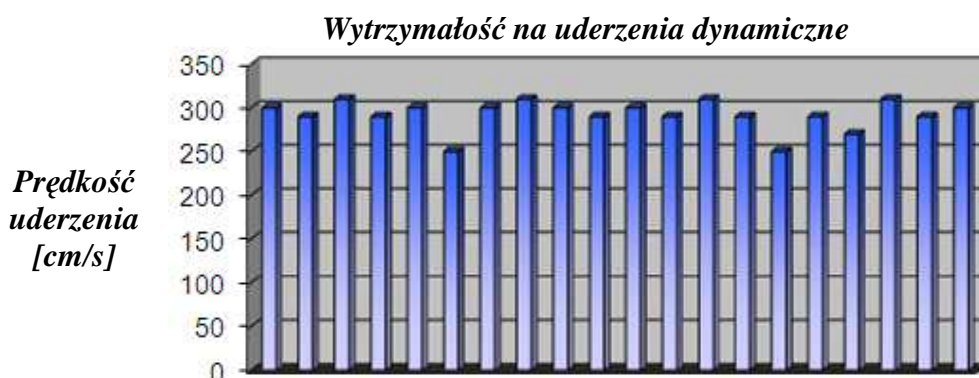
Rysunek 13. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na uderzenie dynamiczne próbek uszlachetnionych P1-miejsce styku-dół

Figure 13. Graphical representation of dynamic impact strength for samples P1-contact area-bottom



Rysunek 14. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na uderzenie dynamiczne próbek uszlachetnionych P2-miejsce styku-góra

Figure 14. Graphical representation of dynamic impact strength for samples P2-contact area-top

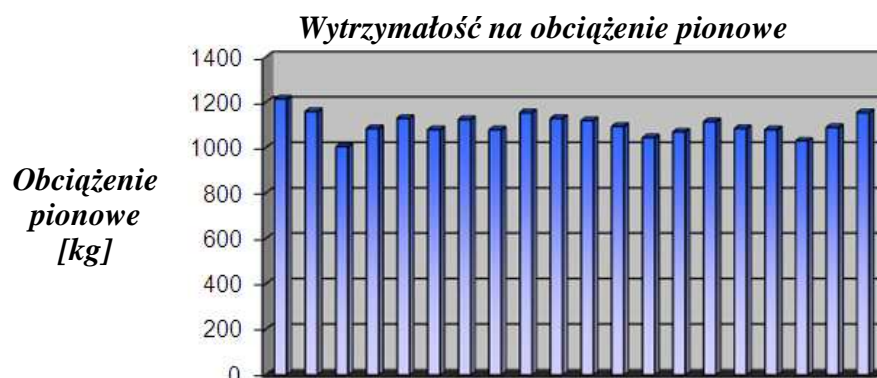


Rysunek 15. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na uderzenie dynamiczne próbek uszlachetnionych P2-miejsce styku-dół

Figure 15. Graphical representation of dynamic impact strength for samples P2-contact area-bottom

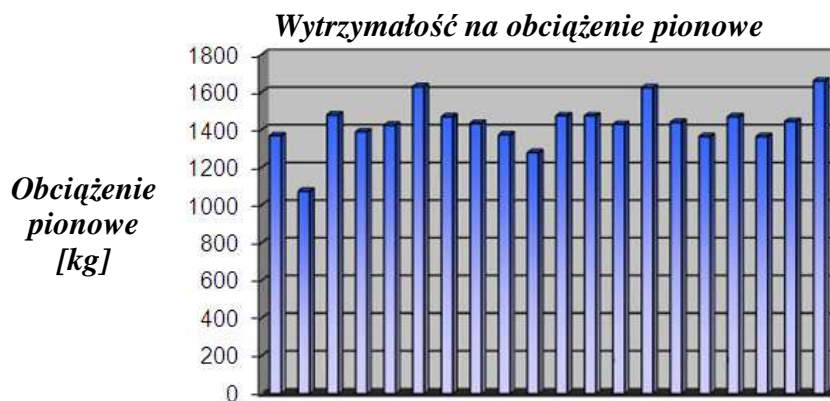
4.3. Wyniki badań wytrzymałości na obciążenie pionowe

Wyniki przeprowadzonych pomiarów opakowań szklanych i badań na obciążenie pionowe zostały przedstawione na rysunkach 16÷18.



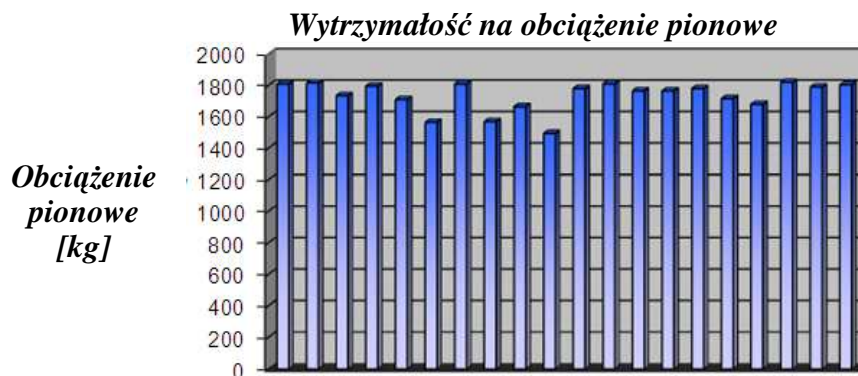
Rysunek 16. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na obciążenie pionowe próbek nieuszlachetnionych P0

Figure 16. Graphical representation of strength of vertical load for samples P0



Rysunek 17. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na obciążenie pionowe próbek uszlachetnionych P1

Figure 17. Graphical representation of strength of vertical load for samples P1

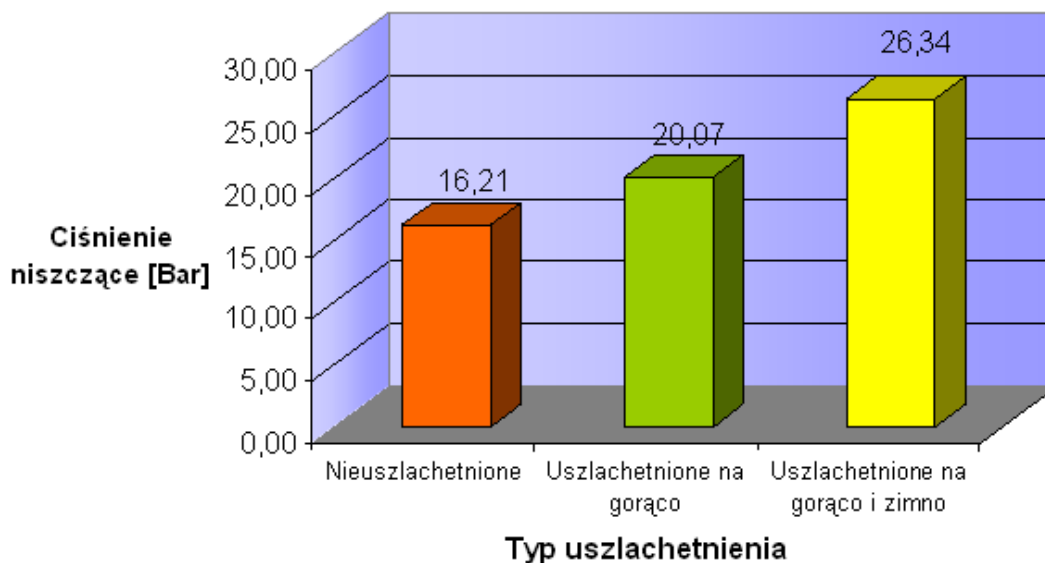


Rysunek 18. Graficzne przedstawienie wytrzymałości na obciążenie pionowe próbek uszlachetnionych P2

Figure 18. Graphical representation of strength of vertical load for samples P2

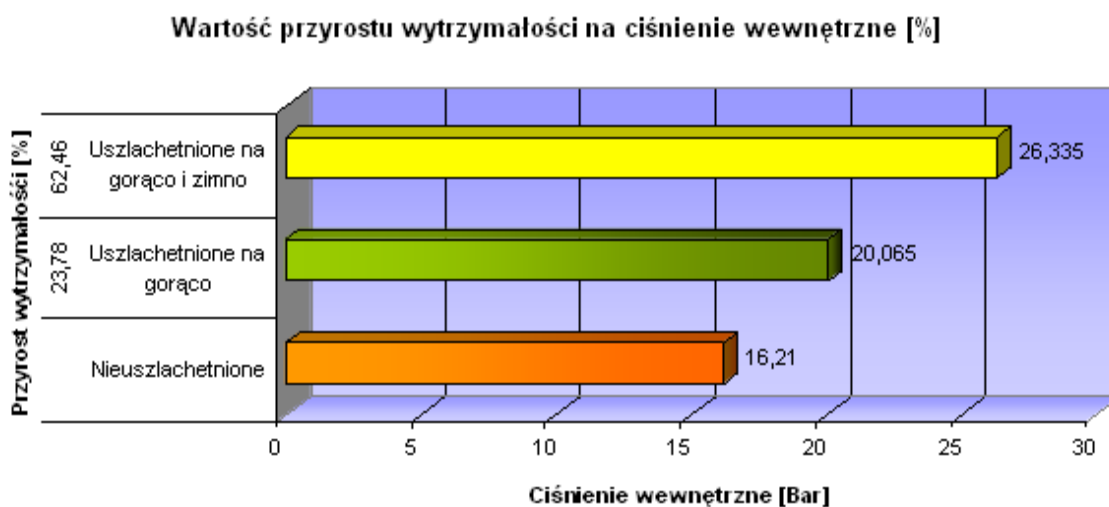
5. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Uśrednione wyniki dla poszczególnych grup próbek poddanych badaniu wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne przedstawiono na rysunkach 19 i 20.



Rysunek 19. Zestawienie wyników badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne dla poszczególnych grup opakowań P0, P1 i P2

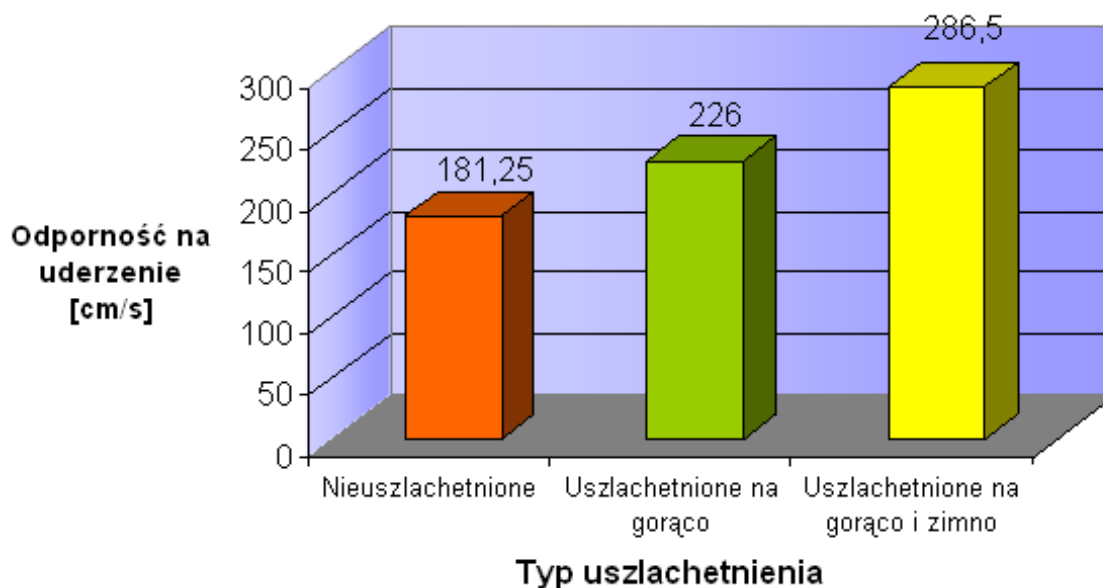
Figure 19. Summary results for internal pressure strength for a group of samples P0, P1 and P2



Rysunek 20. Zestawienie wartości przyrostu wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne dla poszczególnych grup opakowań P0, P1 i P2

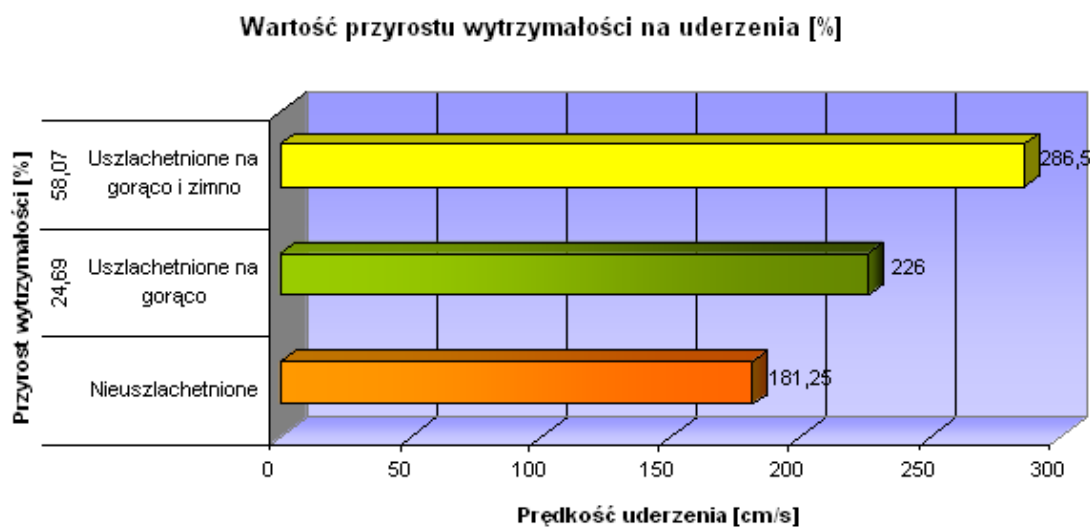
Figure 20. Summary of values for internal pressure strength for a group of samples P0, P1 and P2

Uśrednione wyniki dla poszczególnych grup próbek poddanych badaniu wytrzymałości na uderzenie dynamiczne przedstawiono na rysunkach 21 i 22.



Rysunek 21. Zestawienie wyników badania na uderzenia dynamiczne dla poszczególnych grup opakowań P0, P1 i P2

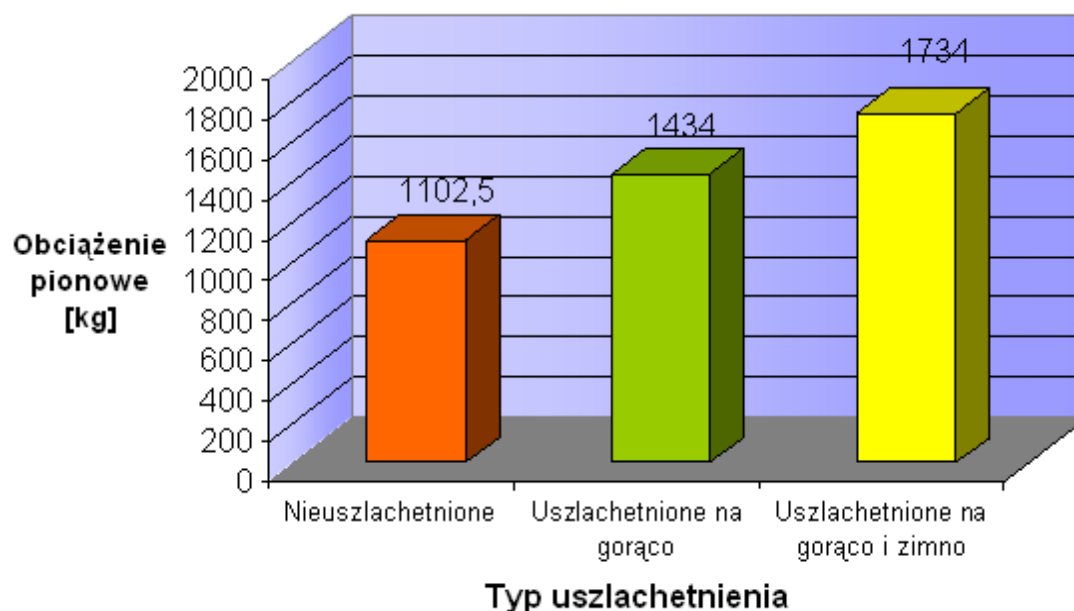
Figure 21. Summary results for dynamic impact strength for a group of samples P0, P1 and P2



Rysunek 22. Zestawienie wartości przyrostu wytrzymałości na uderzenie dynamiczne dla poszczególnych grup opakowań P0, P1 i P2

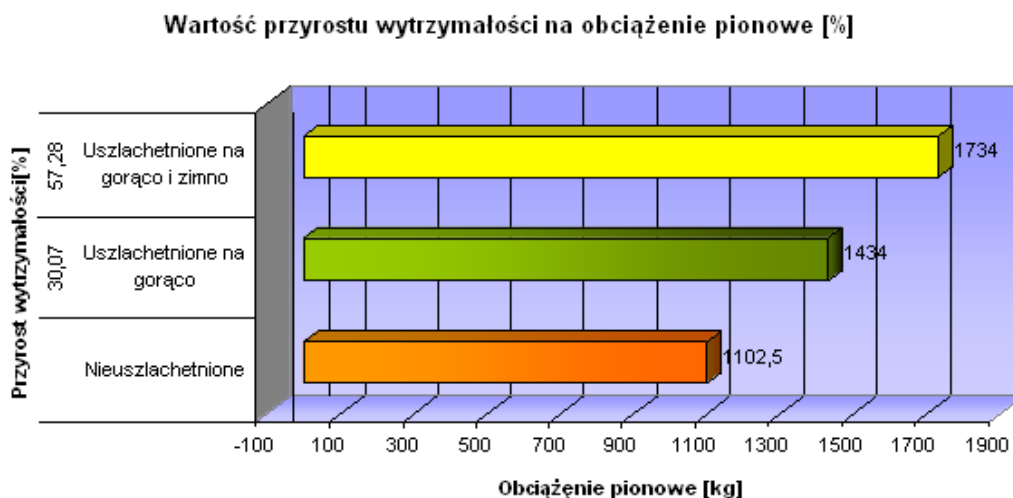
Figure 22. Summary of values for dynamic impact strength for a group of samples P0, P1 and P2

Uśrednione wyniki dla poszczególnych grup próbek poddanych badaniu wytrzymałości na obciążenie pionowe przedstawiono na rysunkach 23 i 24.



Rysunek 23. Zestawienie wyników badania na obciążenie pionowe dla poszczególnych grup opakowań P0, P1 i P2

Figure 23. Summary results for strength of vertical load for a group of samples P0, P1 and P2



Rysunek 24. Zestawienie wartości przyrostu wytrzymałości na obciążenie pionowe dla poszczególnych grup opakowań P0, P1 i P2

Figure 24. Summary of values for strength of vertical load for a group of samples P0, P1 and P2

Najlepszymi własnościami wytrzymałościowymi charakteryzują się próbki P2 – uszlachetnione na zimno i na gorąco. Średnia wartość ich wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne wynosi 26,335 Bar, co stanowi przyrost o 62,46% w porównaniu z próbkami P0 – nieszlachetnionymi (rys. 20). Średnia wartość ich wytrzymałości na uderzenie dynamiczne wynosi 286,5 cm/s, co stanowi przyrost o 58,07% w porównaniu z próbkami P0 – nieszlachetnionymi (rys. 22). Średnia wartość ich wytrzymałości na obciążenie pionowe wynosi 1374 kg, co stanowi przyrost o 57,28% w porównaniu z próbkami P0 – nieszlachetnionymi (rys. 24).

6. PODSUMOWANIE

Wyroby szklane stanowią wszechobecny element naszego życia, dzięki wykorzystaniu ich doskonałych własności użytkowych, które wciąż są doskonałe, zwłaszcza w obszarze modyfikacji ich powierzchni, w celu poprawy własności wytrzymałościowych i użytkowych.

Szkła stosowane na opakowania posiadają wiele zalet przemawiających za ich stosowaniem w codziennym życiu, do których zalicza się nienasiakliwość, twardość, gładkość powierzchni, odporność na działanie czynników atmosferycznych i chemicznych czy nieprzepuszczalność gazów. Do wad należy zaliczyć jego kruchość oraz wrażliwość na uderzenia, które są wciąż ulepszone poprzez modyfikację powierzchni tlenkami metali np.: tlenkiem cyny czy środkami organicznymi napyłanymi w końcowej fazie produkcji.

Dwuetapowy system uszlachetniania znacznie poprawia wszystkie własności wytrzymałościowe i jest obecnie najczęściej stosowanym typem uszlachetnienia w przemyśle opakowaniowym. Pierwszy etap – uszlachetnienie na gorąco – przebiega w temp. ok. 450÷600°C bezpośrednio po uformowaniu wyrobu, który może być kształtowany różnymi metodami: *blow-blow* – stosowana jest do grubościennych opakowań wąskootworowych, *press-blow* – stosowana do szerokootworowych opakowań oraz *narrow neck press and blow*. Metoda *narrow neck press and blow* jest obecnie najpowszechniej stosowaną metodą do

cienkościennych opakowań wąskootworowych. Drugi etap – uszlachetnienie roztworem organicznym – odbywa się po przeprowadzeniu procesu odprężania w temperaturze powierzchni opakowania wynoszącej ok. 100°C.

Dzięki modyfikacji powierzchni opakowań w procesie uszlachetnienia na gorąco dwutlenkiem cyny SnO₂, następuje wzrost własności wytrzymałościowych na ciśnienie wewnętrzne, uderzenie dynamiczne oraz nacisk pionowy o ponad 30% w stosunku do pojemników nieuszlachetnionych. Uszlachetnienie na zimno roztworem polietylenu powoduje dodatkowy wzrost gładkości powierzchni, odporności na zadrapania podczas transportu oraz zwiększenie własności wytrzymałościowych na ciśnienie niszczące, uderzenie dynamiczne jak również nacisk pionowy, a dodatkowo oddziałuje jako zabezpieczenie warstwy uszlachetnionej na gorąco, chroniąc jej powierzchnię przed uszkodzeniem.

7. WNIOSKI

Dwuetapowy proces uszlachetnienia opakowań szklanych wraz z ich odprężeniem powoduje wzrost własności wytrzymałościowych na ciśnienie wewnętrzne, uderzenia dynamiczne oraz nacisk pionowy o około 60% w porównaniu z wyrobami nieuszlachetnionymi.

Głównymi czynnikami wpływającymi na wzrost własności wytrzymałościowych jest stan obrobionej powierzchni, uzyskanej poprzez jej zabezpieczenie w wyniku uszlachetnienia oraz rozkład grubości szkła podczas jego formowania.

LITERATURA

1. M. Blicharski, Wstęp do inżynierii materiałowej, WNT, Warszawa, 2010.
2. T. Cęderek, Opakowania do soków, nektarów i innych napojów bezalkoholowych, Opakowanie 8 (2006) 20-26.
3. M. Ciecierska, Technologia szkła. Właściwości fizykochemiczne, Polskie Towarzystwo Ceramiczne, Kraków, 2002.
4. A. Ciszewski, T. Radomski, A. Szummer, Materiałoznawstwo, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003.
5. L.A. Dobrzański, Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe, WNT, Warszawa, 2006.
6. R.A. Eppler, D.R. Eppler, Glazes and glass coatings, Westerville, The Am.Ceram.Soc., 2000.
7. S. Jakowski, Czynniki wpływające na rozwój produkcji opakowań szklanych, Opakowanie 11 (2006) 22-24.
8. O. Lorek, Jakościowe wymagania i kontrola opakowań szklanych w Rexam Szkło Gostyń S.A, Opakowanie 9 (2004) 40-42.
9. W. Makowska, A. Korzeniowski, Możliwości zwiększania wytrzymałości opakowań szklanych w procesach produkcji i użytkowania, Opakowanie 5 (2004) 28-30.
10. E. Osiecka, Materiały budowlane – kamień ceramika szkło, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003.
11. W. Rzęsa, Opakowania szklane. Przegląd najważniejszych zalet i korzyści, Szkło i Ceramika 58 (2007) 19-21.
12. D. Świątecka, H. Posiadło, Wymagania stawiane opakowaniom do produktów spożywczych i metody badania tych opakowań, Opakowanie 9 (2007) 50-55.
13. J. Wasylak, M. Drajewicz, Uszlachetnianie powierzchni szkła, Świat Szkła 12/2006.

14. J. Wójcicki, *Technologia Szkła 2*, Arkady, Warszawa, 1987.
15. B. Ziemia, *Technologia Szkła 1*, Arkady, Warszawa, 1987.
16. strona internetowa: www.danrex.com
17. strona internetowa: www.hso.pl