

Piotr PRZECH, Tomasz KLEPKA
Lublin University of Technology, Lublin, Poland
e-mail: przech.piotr@pollub.edu.pl

Badania cienkościennych wytworów stosowanych na elementy elewacji budynku

Streszczenie: W artykule przedstawiono badania cienkościennych wytworów stosowanych do wykonywania elementów elewacji budynków przeznaczonych do podbicia dachowych. Opisano konstrukcję wytworów cienkościennych typu „siding” oraz ukazano wpływ zastosowania dodatku z PVC-P w mieszaninie z wtórnym PVC w celu poprawy cech użytkowych. Elementy elewacji w postaci płyt cienkościennych poddano badaniom wybranych właściwości fizyko-chemicznych. Wyznaczano wartości temperatury mięknięcia wg. Vicata oraz określano przebieg i zakres zmian wartości siły podczas łączenia ze sobą dwu płyt. **Słowa kluczowe:** badania wytrzymałościowe, wyroby cienkościenne, PVC, PVC-P, podbicie dachowe, właściwości cieplne

EXAMINATION OF THIN WALL PRODUCTS USED ON ELEMENTS OF BUILDING ELEVATION

Abstract: The article presents the study on thin wall products used to siding on a roof lining of the buildings. Describes the construction of thin-walled products of the type shown siding and the effect of applying a PVC-P in admixture with a regranulate PVC. The products were tested selected physico-chemical properties and were investigated Vicat softening temperature and determined the course and range of changes the force between two plates during connecting together.

Keywords: strength researches, thin-walled products, PVC, PVC-P, roof lining, thermal properties

1. WSTĘP

Wykonywanie elewacji budynków z cienkościennych elementów z tworzywa polimerowego w postaci paneli (*ang. siding*) jest metodą, która chroni ściany lub sufity przed niekorzystnym wpływem czynników zewnętrznych. Stosowane są one głównie w celu ochrony konstrukcji budynku oraz tynku przed wilgocią lub wiatrem. Materiałami, z których dotychczas wykonywano te elementy, były drewno i metal. W ostatnim okresie wytwarza się je także z tworzyw polimerowych. Wynika to głównie z tego, że wyroby z tworzyw mają powtarzalne kształty i wymiary oraz nie potrzebują dodatkowej konserwacji. Ponadto, charakterystyczne puste komory, umożliwiają niekiedy zastosowanie wraz z nimi dodatkowego docieplenia ścian lub sufitów w budynku. Wyroby tego typu z uwagi na małą grubość ścianki powinny wykazywać odpowiednio dobre właściwości mechaniczne. Właściwości te

dotyczą głównie możliwość przenoszenia przez określoną konstrukcję wymaganego obciążenia, głównie w kierunku poprzecznym. Pojedynczy element cienkościenny na podbicia dachowe stanowi płytę o małej grubości i dużej powierzchni z elementami kształtowymi wewnętrznymi oraz zewnętrznymi pozwalającymi na łączenie dwu płyt ze sobą. Wykonywane są one najczęściej metodą wytłaczania z kalandrowaniem. Jednak duże wymiary gotowego wyrobu, nie pozwalają na bezpośrednie badanie połączenia analizowanych elementów kształtowych.

W artykule przedstawiono nową metodykę badań jakości połączenia dwu sąsiednich płyt cienkościennych połączonych ze sobą za pomocą kształtowych elementów złącznych (zewnętrznych i wewnętrznych). Badania eksperymentalne obejmowały także ocenę składu tworzywa polimerowego zastosowanego do budowy płyty z uwagi na właściwości przetwórcze, wytrzymałościowe i cieplne.

2. BADANIA EKSPERYMENTALNE ORAZ METODYKA BADAŃ

W ramach badań eksperymentalnych przeprowadzono analizę materiałów i warunków mających wpływ na przebieg procesu wytwarzania. Uwzględniono sposób i miejsca, z których pobrano próbki do badań oraz metodykę prowadzenia badań jakości połączenia tego typu wytworów.

Badania właściwości przetwórczych, cieplnych i mechanicznych pozwoliły na opracowanie zbioru ważniejszych czynników charakteryzujących wyroby cienkościenne.

Do badań przyjęto następujące czynniki:

Czynniki badane:

- temperatura Vicata,
- siła potrzebna do uzyskania połączenia dwu płyt,
- siła potrzebna do zerwania połączenia dwu płyt,
- długość drogi zerwania połączenia.

Czynniki zmienne:

- ilość PVC-P w mieszaninie PVC użytego do wytłoczenia płyty wyrobu cienkościennego;
- szerokość próbek do badań: 10, 20, 40, 60 mm

Czynniki stałe:

- głowica wytłaczarska oraz układ uplastyczniający;
- temperatura w poszczególnych strefach układu uplastyczniającego wytłaczarki: I – 155°C, II – 160°C, III – 165°C, IV – 170°C, V – 175°C, VI – 180°C;
- temperatura w strefach głowicy wytłaczarskiej: I – 180°C, II – 183°C;
- ciśnienie wytłaczania (mierzone w układzie uplastyczniającym): 24 MPa;
- obciążenie podczas badań temperatury mięknięcia metodą Vicata: 50 N;
- szybkość nagrzewania 50°C/h;
- temperatura komory do badań mechanicznych: 50°C;
- temperatura otoczenia: 23°C,
- skład tworzywa polimerowego, z którego wykonano folię PVC.

Czynniki zakłócające:

- wtrącenia ciał obcych w masie regranulatu,
- wilgotność względna otoczenia: 55–65%,
- napięcie prądu: 222 – 245V.

Na podstawie przebiegu procesu wytłaczania przyjęto, że wpływ czynników zakłócających był niski i nie wpłynęły one na wykonanie próbek do badań.

2.1. MATERIAŁY

Cienkościenne wytwory do elewacji przeznaczone na podbicia dachowe mają postać płyty o grubości 1 mm oraz szerokości ok. 340 mm. Płyta w procesie kalandrowania jest łączona z folią okleinową o grubości 110 µm. Do wytworzenia płyty zastosowano regranulat poli(chloroku winylu) PVC, z dodatkiem różnej ilości plastyfikowanego poli(chloroku winylu) PVC-P. Natomiast folia okleinowa PVC, (która stanowiła powierzchnię zewnętrzną wyrobu), wykonywana była z tworzywa pierwotnego wraz ze składnikami dodatkowymi i zawierała plastyfikatory, modyfikatory, stabilizator UV oraz barwniki.

Tabela 1. Właściwości płyty wykonanej z regranulatu PVC (dane producenta)

Table 1. Properties the a plate made of PVC regrid (according to manufacturer)

Właściwości	Jednostka	Wartość
Gęstość	kg/m ³	1450
Temperatura mięknięcia Vicat /B50	°C	77 (±2)
Udarność Charpy'go	kJ/m ²	35
Wytrzymałość na rozciąganie	N/mm ²	42
Twardość Shore'a skala D	°Sh	75 (±3)
Gęstość nasypowa	kg/l	790

Źródło: Karta techniczna regranulatu PVC

Tabela 2. Właściwości folii okleinowej PVC (dane producenta)

Table 2. Properties of laminated PVC (manufacturer)

Właściwości	Jednostka	Wartość
Grubość	mm	0,10 ($\pm 0,01$)
Szerokość	mm	35
Twardość	$^{\circ}\text{Sh}$	72 (± 3)
Temperatura mięknięcia wg. Vicata /B50	$^{\circ}\text{C}$	60 (± 2)
Wytrzymałość na rozciąganie	N/mm ²	w: 21 p: 17
Stopień odporności na sztuczne warunki pogodowe	odbarwienie w skali szarej	≥ 4

Źródło: Karta techniczna folii okleinowej PVC

2.2. CHARAKTERYSTYKA PŁYT DO BADAŃ

Przedmiotem badań był wyrób cienkościenny na podbicia dachowe składający się z płyty połączonej z folią okleinową PVC. Wymiary badanego wyrobu przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wymiary wyrobu cienkościennego podbicia dachowego

Table 3. Dimensions of the thin-walled raise the roof product

Jednostka	Długość	Szerokość	Wysokość	Grubość
mm	3800	340	12	1

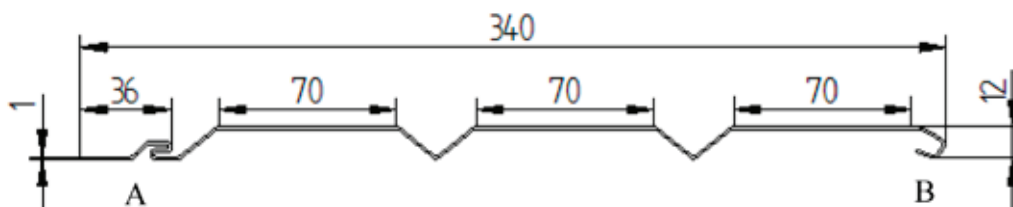
Próbki cienkościennych wytworów (rys.1) wykonywano z wykorzystaniem wylączarki-

ki dwuślimakowej firmy Metalchem 2T16 o długości ślimaka 2000 mm. Do wylączarki zamontowano głowicę szczelinową o wymiarach szczeliny 400 mm x 0,8 mm. Bezpośrednio za głowicą w linii technologicznej znajdował się kalander.

Wałki kalandra miały średnicę 300 mm, posiadały drażone kanały z układem chłodzenia, w zakresie zmian temperatury od 90 do 100 $^{\circ}\text{C}$. Podczas procesu wałki obracały się ze zmienną prędkością obrotową w zakresie zmian od 1 do 10 m/min. W układzie kalandrującym wykonywane było spajanie wytłoczyny w postaci płyty wraz z folią okleinową. Kolejnym elementem linii technologicznej był kalibrator zintegrowany z wanną chłodzącą. Na końcu linii znajdował się odciąg, zsynchronizowany z prędkością obrotową wałków w układzie kalandrującym oraz pneumatycznym zespołem odcinającym. Z wytworzonych płyt cienkościennych przygotowano zestaw próbek do badań: temperatury mięknięcia wg. Vicata oraz badań zmian wartości siły potrzebnej do uzyskania trwałego połączenia mechanicznego płyt z wykorzystaniem elementów kształtowych.

2.3. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK BADAWCZYCH

Wytłoczyny w postaci płyty wykonano z mieszanin PVC zawierających dodatki, różne barwniki oraz plastyfikatory. Z mieszanin w procesie wytłaczania z gra-



Rys. 1. Schemat przekroju poprzecznego wyrobu cienkościennego typu sidnig.

A – element kształtowy zewnętrzny, B – element kształtowy wewnętrzny

Fig. 1. Schematic cross section of a thin-walled type of siding product.

A – molded part external, B – shaped inner element

nulowaniem. otrzymywano regranulaty, które zostały następnym etapie wprowadzone do zasobnika wyciarki Metalchem 2T16. Cykl ten powtórzono dla każdej mieszanki, zgodnie z przyjętym programem badań.



Rys. 2. Wygląd zamocowania próbki badawczej w uchwytach maszyny wytrzymałościowej.

Źródło: opracowanie własne

Fig. 2. View of the mounting research sample in the grips of the testing machine

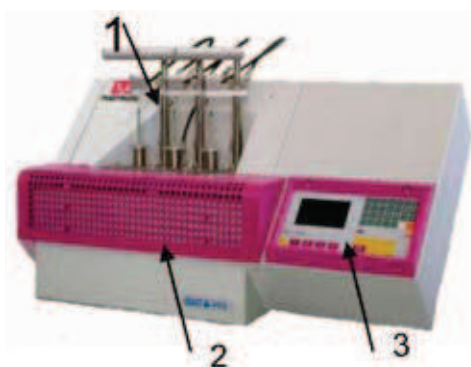
Z uwagi na brak możliwości zamocowania całego wyrobu cienkościennego w maszynie wytrzymałościowej oraz brak norm przedmiotowych w tym zakresie, konieczne było opracowanie nowej metodyki badań prowadzących

do wyznaczenia reprezentatywnej szerokości próbki badawczej. Otrzymane wyroby przecięto na poprzeczne próbki o szerokości 10, 20, 40 oraz 60 mm i długości 80 mm. W kolejnym etapie dobrano je w pary, po jednym z elementu kształtowego wewnętrznego i zewnętrznego dla każdej mieszanki PVC. W górnych szczękach zamocowano element zewnętrzny, a w dolnych element wewnętrzny wyrobu cienkościennego. Zamocowanie próbek w maszynie wytrzymałościowej przedstawiono na rys. 2.

Próbki poddano badaniom wstępnym z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej, na podstawie których, określono szerokość próbek do badań zasadniczych. Badania zasadnicze pozwoliły na ocenę jakości połączenia dwu płyt cienkościennych ze sobą. Kryterium doboru szerokości próbek określono na podstawie zmian wartości siły przy największej powtarzalności pomiarów. Warunki te spełniły próbki o szerokości 40 mm.

2.4. OPIS STANOWISK BADAWCZYCH

Wyznaczenie wartości temperatury mięknienia wg. Vicata przeprowadzono z wykorzystaniem urządzenia Instron CEAST HV3. Dokonywano pomiarów wartości odkształcenia próbek, pod ustalonym obciążeniem na trzech stacjach roboczych (rys. 3), wyposażonych w zestawy obciążników.



Rys. 3. Wygląd urządzenia do badań cieplnych HDT Instron CEAST HV3 wraz z trzema stacjami testowymi: 1 – stacje testowe, 2 – zbiornik łaźni olejowej, 3 – panel sterowniczy.

Źródło: opracowanie własne

Fig. 3. View of thermal test device HDT Instron CEAST HV3 with three test stations, test 1 – test stations, 2 – reservoir oil bath, 3 – control panel.

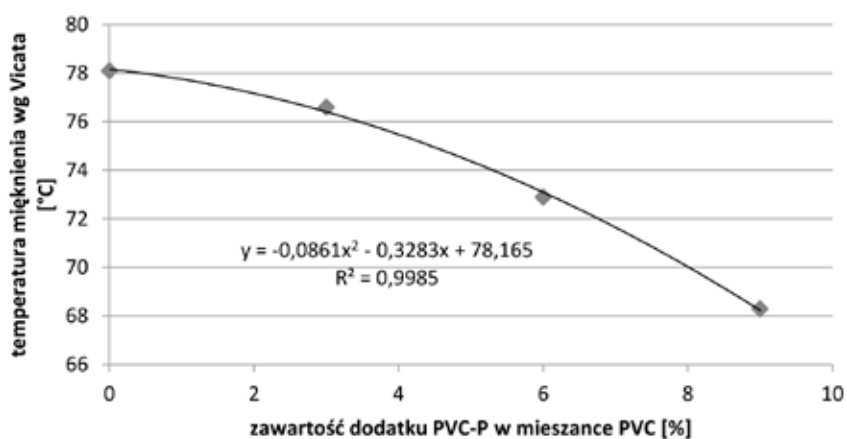
W celu uzyskania równomiernego rozprzodzenia ciepła w próbkach z ustaloną szybkością przyrostu temperatury, badania prowadzono w łaźni wypełnionej olejem silikonowym.

Kolejnym stanowiskiem na którym prowadzono badania była maszyna wytrzymałościowa Zwick/Roell Z010, przedstawiona na rys. 4. Na tym urządzeniu przeprowadzono pomiary siły potrzebnej do połączenia mechanicznego elementów kształtowych wyrobu cienkościennego. Badania prowadzono w temperaturze 23°C oraz w temperaturze 50°C.



Rys. 4. Wygląd maszyny wytrzymałościowej Zwick/Roell Z010: 1 – rama obciążeniowa, 2 – sterownik, 3 – manipulator, 4 – video ekstensometr, 5 – uchwyty do próbek, 6 – komora, 7 – zamocowana próbka Źródło: materiały reklamowe Zwick Roell [4]

Fig. 4. View of the testing machine Zwick / Roell Z010: 1 – debit frame, 2 – driver, 3 – manipulator, 4 – video extensometer, 5 – grips for samples, 6 – chamber, 7 – fixed sample



Rys. 5. Zależność temperatury mięknienia wg Vicata wyrobu cienkościennego od zawartości dodatku PVC-P w mieszance PVC.

Źródło: opracowanie własne

Fig. 5. Dependence between Vicat softening temperature of the product thin-walled and the contents of the addition of PVC-P PVC in the mixture.

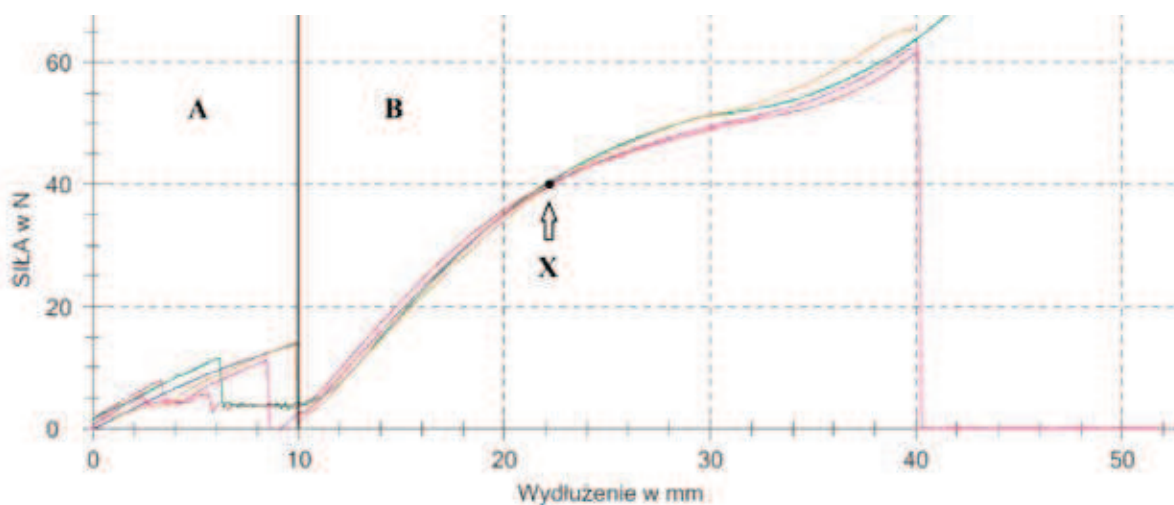
Dodatek PVC-P do mieszanek PVC spowodował obniżenie wartości temperatury mięknienia dla wszystkich płyt konstrukcyjnych wyrobów cienkościennych. Regranulat użyty do wytworzenia płyty konstrukcyjnej nie zawierał PVC-P, przez co charakteryzował się największą wartością temperatury mięknienia. Pozostałe mieszanki charakteryzowały się coraz to mniejszą wartością temperatury mięknienia wg Vicata.

3.2. OPRACOWANIE NOWEJ PROCEDURY BADAŃ WYCINKÓW PŁYT

Ustalenie szerokości próbek do badań mechanicznych połączenia elementu kształtowego wewnętrznego i zewnętrznego wyrobu cienkościennego przeprowadzono poprzez wyznaczenie zależności siły potrzebnej do połączenia i rozłączenia elementu kształtowego wewnętrznego

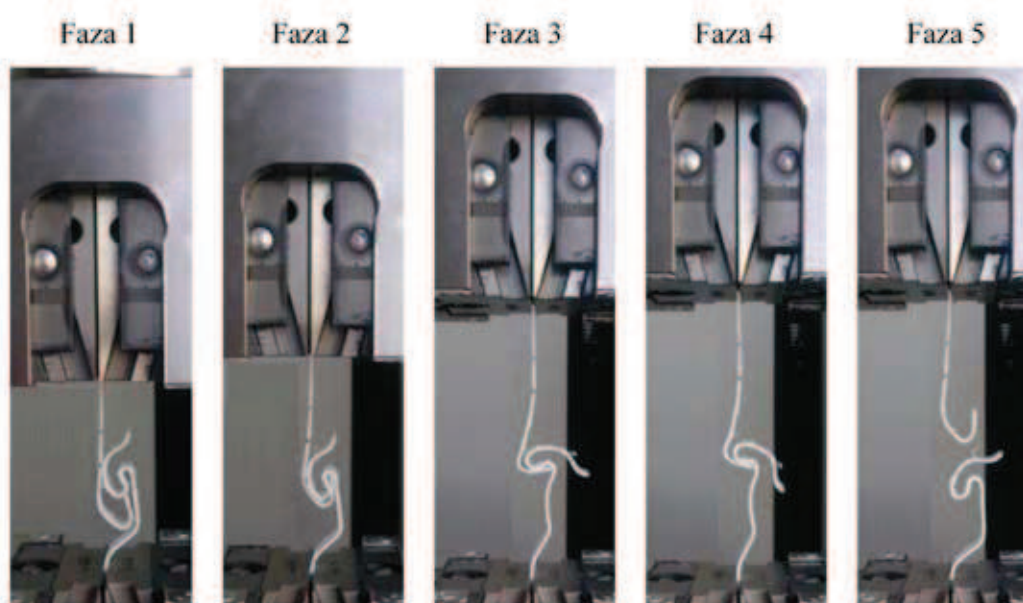
i zewnętrznego wyrobu, dla mieszanin PVC oraz mieszanin z różnym dodatkiem PVC-P (rys. 6).

Podczas procesu łączenia elementów kształtowych płyt można wskazać obszary charakterystyczne A i B oraz obszar z punktem X (rys. 7) odnoszące się do zjawisk w pięciu głównych fazach współdziałania ze sobą elementów cienkościennych. W obszarze A, na drodze o długości ok. 10 mm – od początku kontaktu ze sobą elementów kształtowych (faza 1) do momentu uzyskania trwałego połączenia (faza 2), występuje wzrost siły pomiędzy łączonymi elementami kształtowymi. Obszar B, obejmujący odległość od ok. 10 mm do 40 mm – od miejsca charakterystycznego współdziałania tych elementów (faza 2) do miejsca rozłączenia płyt (faza 4 oraz faza 5). Analiza wykresu zmiany wartości siły pozwala na wyznaczenie obszaru z charakterystycznym punktem X utraty stateczności połączenia elementów kształtowych (faza 3).



Rys. 6. Wykres zależności zmian siły potrzebnej do uzyskania trwałego połączenia oraz rozłączenia elementu kształtowego wewnętrznego i zewnętrznego wyrobu cienkościennego dla próbek o szerokości 40 mm bez dodatku PVC-P. Obszar A – obszar występowania siły tarcia pomiędzy płytami, obszar B – obszar utraty stateczności połączenia, X – punkt utraty stateczności połączenia

Fig. 6. The graph of the variation of the force required to achieve a permanent connection and disconnection of the shaped inner and outer thin-walled product for samples having a width of 40 mm without the addition of PVC-P. Area A – the occurrence of friction force between the plates, the area B – area loss of stability connections X – point loss of the stability of the connection



Rys. 7. Zachowanie próbek elementów kształtowych w poszczególnych fazach podczas badania:
 1 – początek kontaktu, 2 – tworzenie trwałego połączenia, 3 – punkt graniczny utraty stateczności połączenia, 4 – największa siła działająca na badane próbki, 5 – zerwanie połączenia
 Fig. 7. The behavior of samples shaped elements in various phases during research:
 1 – the beginning of the contact, 2 – the formation of a lasting connection, 3 – a border point of stability loss connection, 4 – the largest force acting on the test sample, 5 – connection failure

Przebieg połączenia elementów kształtowych dwu płyt konstrukcyjnych w poszczególnych fazach ich współdziałania przedstawiono na rys. 7.

W tabeli 4 przedstawiono wielkości charakterystyczne dla różnych wymiarów próbek o szerokości 10, 20, 40 oraz 60 mm.

Tabela 4. Zestawienie wyników pomiarów dla próbek o szerokości 10, 20, 40, 60 mm bez dodatku PVC-P
 Table 4. Results of measurement for a samples having a width of 10, 20, 40, 60 mm without the addition of PVC-P

Obszar	Parametr [jednostka]	nr próbki	Szerokość próbek, mm			
			10	20	40	60
Obszar A	F_{\min} [N]	1	0,5	0,5	3	2
		2	0,5	2	3	5
		3	0,3	1,5	1	1
		średnia	0,43	1,33	2,33	2,67
	F_{\max} [N]	1	2,5	6	7	4
		2	2,5	6	12,5	8
		3	1	5	14	5
średnia	2	5,67	11,2	5,5		
X – punkt utraty stateczności połączenia na odcinku B	F_x [N]	1	13	22	40	50
		2	14	22	40	50
		3	15	26	40	50
		średnia	14	23,33	40	50
Obszar B	F_{\max} [N]	1	17,5	36	60	90
		2	21	34	70	90
		3	19,5	38	65	85
		średnia	19,33	36	65	88,33

Na podstawie przeprowadzonych badań zauważono, że do trwałego połączenie płyt cienkościennych potrzeba przemieszczenia elementów względem siebie o ok. 10 mm, w płaszczyźnie równoległej do długości wyrobu. Obszar B wzdłuż osi wydłużenia przedstawia siły jakie zostały przyłożone, aby rozłączyć połączenia elementów kształtowych wewnętrznego i zewnętrznego. Po osiągnięciu przemieszczenia równego ok. 40 mm od momentu kontaktu elementów, połączenie zostaje zerwane.

Do dalszych badań, z uwagi na przebieg zmian wartości siły w obszarze B, wybrano próbki o szerokości 40 mm. Wynikało to także z tego, że dla tej szerokości uzyskano najmniej-

szą rozbieżność wyników, podczas zrywania połączenia elementu kształtowego wewnętrznego i zewnętrznego wyrobu cienkościennego.

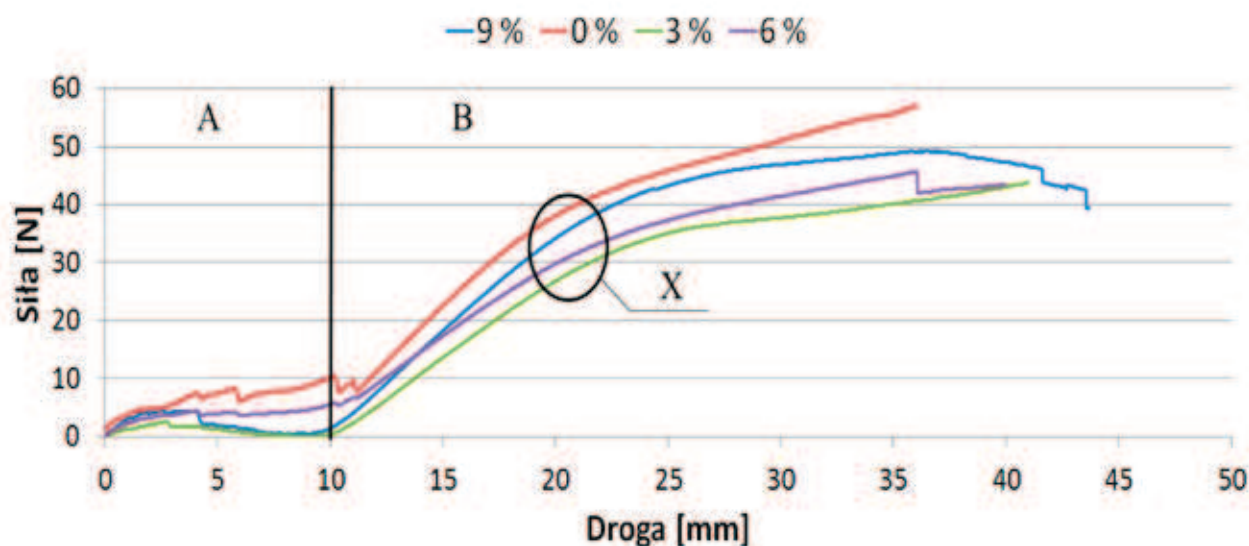
3.3. BADANIA SIŁY POTRZEBNEJ DO POŁĄCZENIA I ROZŁĄCZENIA ELEMENTÓW KSZTAŁTOWYCH

Na potrzeby określenia wartości siły potrzebnej do uzyskania połączenia wyrobu cienkościennego w temp 23°C przeprowadzono badanie wytrzymałościowe z wykorzystaniem urządzenia Zwick/ Roel Z010. Wyniki badań w postaci zależności siły potrzebnej do połączenia płyt w zależności od procentowego dodat-

Tabela 5. Zestawienie wyników pomiarów przeprowadzonego badania w temperaturze 23 °C

Table 5: Summary of results of measurements carried out the test at 23 °C

Obszar	Parametr [jednostka]	nr próbki	Ilość PVC-P w mieszance, %			
			0	3	6	9
Obszar A	F_{min}, N	1	2	0,5	4	1
		2	2	2	2	1
		3	2	2	5	1
		średnia	2	1,5	3,67	1
	F_{max}, N	1	17	1	10	4
		2	9	2	8	5
		3	17	5	5	9
		średnia	14,33	2,67	7,67	6
X – punkt utraty stateczności połączenia na odcinku B	F_x, N	1	38	33	49	41
		2	38	33	48	42
		3	38	35	51	40
		średnia	38	33,67	49,33	41
Obszar B	F_{max}, N	1	61	41	54	53
		2	52	44	53	49
		3	58	45	50	48
		średnia	57	43,33	52,33	50



Rys. 8. Zależność siły potrzebnej do połączenia i rozłączenia elementów kształtowych w funkcji drogi dla różnych próbek wyrobów cienkościennych, badanych w temperaturze 23 °C. Obszar A – występowania zjawisk tarcia pomiędzy elementami płyt, obszar B – utraty stateczności połączenia, X – punkt utraty stateczności połączenia płyt

Fig. 8. The dependence of the force necessary to a connection and disconnection shaped elements as a function of the way for the different samples of thin-walled products, tested at 23 °C. Area A – the occurrence of phenomena of friction between the elements of the plates, the area B – loss of stability of the connection, X – point loss of the stability of the connection plates

ku plastyfikującego PVC-P we wtórnym PVC przedstawiono na rysunku 8. W tabeli 5 przedstawiono charakterystyczne punkty dla próbek o zawartości PVC-P w ilości: 0%, 3%, 6% oraz 9%.

Dodanie PCV-P w zakresie badanych ilości do regranulatu PVC spowodowało zmniejszenie siły potrzebnej do połączenia elementów kształtowych wyrobu cienkościennego, średnio o ok. 8 N, ale także wpływa na zmniejszenie wartości sił potrzebnych do rozłączenia połączenia, średnio o ok. 11 N.

3.4. BADANIA SIŁY POTRZEBNEJ DO POŁĄCZENIA I ROZŁĄCZENIA ELEMENTÓW KSZTAŁTOWYCH W PODWYŻSZONE TEMPERATURZE

Na potrzeby określenia wpływu stężenia PVC-P w mieszance wtórnego PVC wykonano badania właściwości wytrzymałościowych w komorze cieplnej. Uzyskane wyniki badania

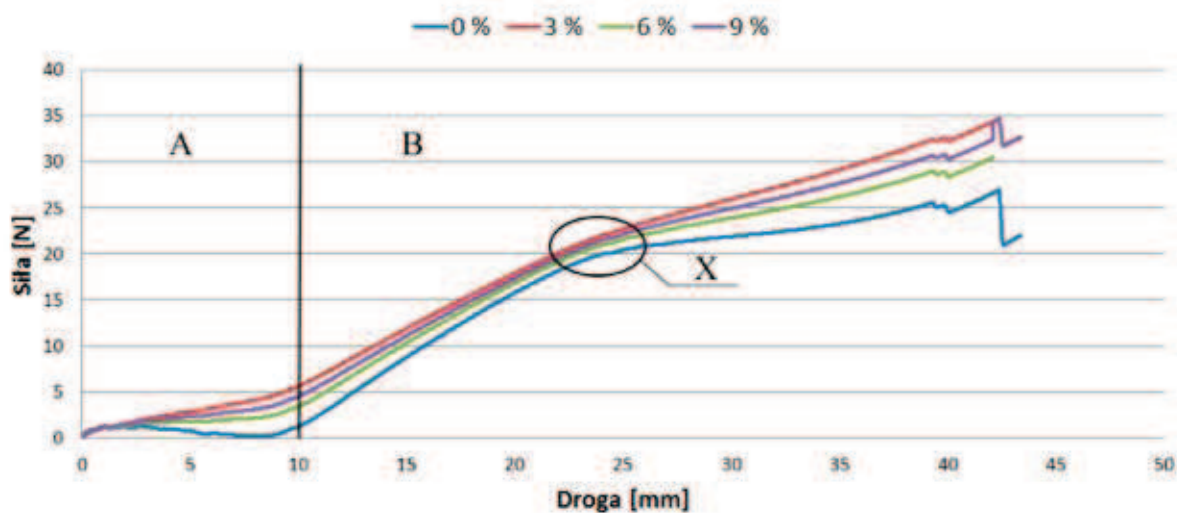
zależności siły potrzebnej do połączenia i rozłączenia wyrobu cienkościennego w funkcji składu materiału- płyty konstrukcyjnej wyrobu cienkościennego w podwyższonej temperaturze (50 °C) przedstawiono na rys. 9 oraz w tabeli 6.

W temperaturze podwyższonej (50°C), plastyfikowany PVC-P dodany do regranulatu PVC zwiększał wartość siły potrzebnej do uzyskania połączenia elementów kształtowych wyrobu cienkościennego. Dodatkowo przebieg procesu połączenia charakteryzował wykładniczy przebieg funkcji zmian wartości siły w funkcji drogi. Dodatek PVC-P powodował zwiększanie wartości siły potrzebnej do rozłączenia elementów kształtowych płyt konstrukcyjnych. Porównanie wartości siły potrzebnej do uzyskania połączenia płyt zestawiono w tabeli 7.. Zmiany wartości sił wskazują o jakości współdziałania elementów kształtowych, co może być spowodowane nieregularną powierzchnią elementów, powstałą w procesie kalandrowania.

Tabela 6. Zestawienie wyników pomiarów przeprowadzonego badania w temperaturze 50 °C

Table 6. Results of measurements carried out the test at 50 ° C

Obszar	Parametr [jednostka]	nr próbki	Ilość PVC-P w mieszance, %			
			0	3	6	9
Obszar A	F_{\min} [N]	1	2	1,5	1	3
		2	2	1	1	1
		średnia	2	1,25	1	2
	F_{\max} [N]	1	4,5	3	2	7
		2	8	2	7	4
		średnia	6,25	2,5	4,5	5,5
X – punkt utraty stateczności połączenia na odcinku B	F_x [N]	1	26	20	31	28
		2	26	19	32	28
		średnia	26	19,5	31,5	28
Obszar B	F_{\max} [N]	1	40	27	39,5	38
		2	40	28	40,5	38
		średnia	40	27,5	40	38



Rys. 9. Zależność siły potrzebnej do połączenia i rozłączenia elementów kształtowych w funkcji drogi dla różnych próbek wyrobów cienkościennego, badanych w temperaturze 50 °C.

Obszar A – występowania zjawisk tarcia pomiędzy elementami płyt, obszar B – utraty stateczności połączenia, X – punkt utraty stateczności połączenia płyt

Fig. 9. The dependence of the force necessary to a connection and disconnection shaped elements as a function of the way for the different samples of thin-walled products, tested at 50 ° C.

Area A – the occurrence of phenomena of friction between the elements of the plates,

the area B – loss of stability of the connection, X – point loss of the stability of the connection plates

Tabela 7. Zestawienie wyników badań wartości siły przy wzajemny połączeniu płyt w różnych temperaturach (Oś X – Droga, mm; oś Y – Siła, N)

Table 7. Summary of test results values force the mutual connecting plates at different temperatures (X axis – Distance, mm Y axis – force, N)

Ilość PVC-P w mieszance	Badania w temperaturze 23 °C	Badania w temperaturze 50 °C
0%		
3%		
6%		
9%		

Źródło: opracowanie własne

4. WNIOSKI

Badania cienkościennych wytworów stosowanych do podbić dachowych elewacji budynków otrzymywanych z wtórnego PVC są możliwe do przeprowadzenia w warunkach laboratoryjnych. Poprzez określenie temperatury mięknięcia oraz wartości sił potrzebnych do uzyskania połączenia i rozłączenia wyrobu w postaci wycinka płyty, można dokonywać oceny właściwego doboru materiałów oraz jakości współdziałania elementów, podczas ich łączenia w różnych warunkach, w temperaturze 23°C, jak także w temperaturze o wartości 50°C.

W przypadku badań temperatury mięknięcia wg Vicata stwierdzono zmniejszanie się otrzymywanych wartości dla próbek z co raz większą ilością dodatku PVC-P, co może świadczyć o zwiększaniu się elastyczności płyty konstrukcyjnej. W przypadku tego rodzaju wyrobów stosowanych na elewacje elementów podbić dachowych zmiana elastyczności może spowodować wyginanie się fragmentów płyt.

W badaniach prowadzonych w temperaturze 23°C, dodanie PVC-P do regranulatu PVC powodowało zmniejszenie wartości siły potrzebnej do połączenia dwu płyt o ok. 8N oraz rozłączenia elementów kształtowych próbki o ok. 11 N. Natomiast w temperaturze 50°C, próbki bez dodatku PVC-P charakteryzowały się najmniejszymi wartościami siły potrzebnej do połączenia, średnio o ok. 3N oraz siły rozłączania elementów kształtowych płyty konstrukcyjnej, średnio o ok. 6N. Wyniki badań wskazują także, że skład mieszanki polimerowej ma duże znaczenie na uzyskania trwałego połączenia płyt. W przypadku wytworów, które będą

użytkowane w miejscach narażonych na zmiany temperatury, w wyniku np. nagrzewania elewacji budynku promieniami słonecznymi, może nastąpić rozłączenie elementów kształtowych płyt i utrata stateczności połączenia.

LITERATURA

1. Sikora R.: *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych*. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
2. Garbacz T, Sikora J.: *Przetwórstwo tworzyw polimerowych: ćwiczenia laboratoryjne. Część 1*. Politechnika Lubelska, Lublin 2012.
3. PN-EN ISO 306:2014-02 Tworzywa sztuczne – Tworzywa termoplastyczne – Oznaczenie temperatury mięknięcia metodą Vicata (VST)
4. Zwick/Roell – katalog produktów Z005 – Z020.
5. Obłój-Muzaj M., Świerż-Motysia B., Szablowska B.: *Polichlorek winylu*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
6. Titow, W. V. *Main Types of PVC Products and Methods of Their Production., PVC Plastics*. Springer Netherlands, 1990, s. 467–496.
7. U.S. Patent No. 5 866 639 (1999): *Compostion and method for extruding plastic articles having accent color pattern*.
8. Braun, D. (2002). *Recycling of PVC*. Progress in polymer science, 27(10), 2171–2195.
9. McKeen, Laurence W. *The effect of temperature and other factors on plastics and elastomers*. William Andrew, 2014.
10. Commodity, I. (2002). *Plastics: Thermoplastics, Thermosets, and Elastomers*. Handbook of Materials Selection, s.335.
11. Kijeński J., Błędzki A. K., Jeziórska R.: *Odzysk i recykling materiałów polimerowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011,
12. Szlezyngier W., Brzozowski Z. K.: *Tworzywa sztuczne t. I-III*, Wydawnictwo Oświatowe FOSZE, Rzeszów 2012

Data przyjęcia publikacji do druku: 14-07-16