

Małgorzata LIPNICKA\*  
Politechnika Świętokrzyska

## OPTIMALIZACJA ZAWARTOŚCI WŁÓKIEN I ŻYWICY W ZEWNĘTRZNYCH WARSTWACH SYSTEMU OCIEPLEŃ

**Streszczenie.** W przedstawionym referacie autor prezentuje wyniki optymalizacji ilościowych proporcji zawartości włókien i żywicy np. w cienkowarstwowych systemach ociepleń. Efekt wdrożeń wyników optymalizacji spowoduje istotne wzmocnienie odporności systemu ocieplenia na działanie czynników mechanicznych w obszarach szczególnie narażonych na takie uszkodzenia, przy zachowaniu na zadowalającym poziomie parametrów technicznych i roboczych. Celem powyższej analizy jest eliminacja potrzeby stosowania dodatkowego zbrojenia ciągłego.

## PROPORTION OPTIMIZATION OF FIBER AND RESIN IN THE EXTERNAL LAYERS OF THE THERMAL INSULATION SYSTEM

**Summary.** In this paper the author presents an analysis of the quantity proportion optimization of fiber and resin for example in an insulation system. Result of this optimalization will strengthen the resistance of the thermal isolation system against mechanical influence in the subject areas particularly the mechanical damage in the meanwhile preserving a sufficient workability and technical parameters. The purpose of the analysis is elimination the need to use the additional reinforcements.

### 1. Degradacja mechaniczna zewnętrznych warstw systemu ocieplenia

Uszkodzenia mechaniczne systemów ociepleń należą do uszkodzeń, z którymi spotykamy się na co dzień. Są one zazwyczaj związane z tzw. kulturą użytkowania budynku [2, 16] i występują na budynkach usytuowanych w pobliżu placów zabaw, szkół, boisk, parkingów itp. Rozległy zakres tych uszkodzeń jest skutkiem błędów popełnianych zarówno na etapie projektowania, jak i montażu systemu ocieplenia [3, 6]. Występują one na powierzchni elewacji w postaci odspojenia wyprawy

---

\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Zbigniew Rusin, prof. Politechniki Świętokrzyskiej.

tynkarskiej, rozerwania siatki zbrojącej, wgniecenia itp. Często sięgają ściany budynku, obejmując warstwę wyprawy tynkarskiej, zbrojenie, a nawet warstwę termoizolacyjną. Występują dwa typy uszkodzeń mechanicznych: uszkodzenia warstwy elewacyjnej i masy klejącej oraz uszkodzenia całego systemu.

Uszkodzenia warstwy elewacyjnej i masy klejącej mają postać pęknięć, odspojen zaprawy tynkarskiej (rys. 1). Często są następstwem niszczącego oddziaływania mieszkańców. Bawiące się dzieci, odbijając piłkę od elewacji lub opierając o nią rower, z czasem doprowadzają do uszkodzenia zewnętrznych warstw systemu ocieplenia, zwłaszcza na poziomie parteru. Jeszcze poważniejszym uszkodzeniem jest pęknięcie warstwy zbrojonej wraz z wyprawą tynkarską.



Rys. 1. Uszkodzenia warstwy wyprawy tynkarskiej

Fig. 1. Damage to the plaster layer

Uszkodzenia całego systemu ocieplenia wraz z warstwą termoizolacyjną powstają w wyniku przedziurawienia ocieplenia bądź nawet oderwania go od ściany. Uszkodzenia te są najczęściej spowodowane aktami wandalizmu, rzadziej nieumyślnym działaniem [2, 3, 6, 10].



Rys. 2. Uszkodzenia mechaniczne systemu ociepleń

Fig. 2. Mechanical damage to the insulation system

Stosowanie w poziomie parteru budynku (zgodnie z wytycznymi niektórych producentów systemów ociepleń) podwójnej warstwy tkaniny zbrojącej lub tzw. siatki pancерnej okazuje się często w wielu przypadkach rozwiązaniem niewystarczającym.

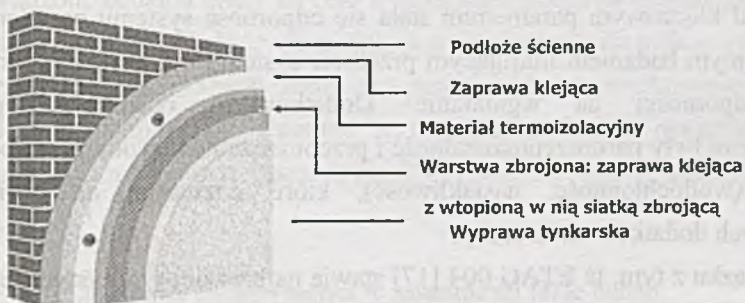


## 2. Cel i zakres badań

### 2.1. Cel i przedmiot badań

Celem zaplanowanych i przeprowadzonych przez autora badań było poszukiwanie ilościowych proporcji zawartości włókien i żywicy, które spowodują istotne wzmocnienie odporności systemu ocieplenia na działanie czynników mechanicznych, bez konieczności stosowania dodatkowej warstwy siatki, przy zadowalającym poziomie parametrów technicznych i roboczych.

Przedmiotem badań był wielowarstwowy system ocieplenia zawierający jako materiał termoizolacyjny styropian, jako warstwę zbrojoną zastosowano mineralną zaprawę klejącą z wtopioną w nią siatką zbrojącą, a warstwą wyprawy tynkarskiej był kamyczkowy tynk akrylowy (rys. 3) [1, 5, 13, 14]. Grubość warstwy zbrojonej po stwardnieniu wynosiła od 3 do 4 mm, a grubość warstwy akrylowego tynku kamyczkowego wynosiła około 1,5 mm.



Rys. 3. Schemat budowy zewnętrznego systemu ocieplenia

Fig. 3. Construction scheme of the insulation system

Badania objęły swoim zakresem:

- określenie istotności wpływu wybranych czynników materiałowo-technologicznych na odporność systemu ocieplenia na uszkodzenia mechaniczne (uderzenie, przebicie),
- optymalizację zawartości włókien i żywicy, która umożliwiłaby eliminację dodatkowych warstw siatki w obszarach szczególnie narażonych na uszkodzenia mechaniczne,
- określenie wpływu dodatkowej ilości mikrozbrojenia i żywicy na takie parametry techniczne, jak nasiąkliwość i paroprzepuszczalność.

### 2.2. Zakres i metodyka badań

W części doświadczalnej wykorzystano matematyczną metodę planowania eksperymentu, pozwalającą na ograniczenie liczby badań laboratoryjnych [11].

Na tym etapie przygotowano 33 kombinacje systemu ocieplenia. Rodzaj zastosowanej warstwy termoizolacyjnej oraz siatki zbrojącej pozostawał bez zmian w każdej kolejnej kombinacji. Mineralna warstwa zaprawy klejącej była zbrojona za pomocą: włókien szklanych – testowane były trzy długości włókien 6 mm, 12 mm i 18 mm w przedziale zawartości od 0,1% do 0,6%; włókien poliakrylonitrylowych – o długości 0,5 mm, w każdej testowanej kombinacji występowały na stałym poziomie 0,15%; żywicy dyspersyjnej – udział procentowy od 0% do 2%.

Żywiczny tynk akrylowy był zbrojony za pomocą: włókien polietylenowych – o długości od 0,75 do 1,05 mm, w przedziale zawartości od 0% do 0,5%; żywicy akrylowej – udział od 0 do 2%.

Przeprowadzone badania miały na celu określenie wpływu udziału żywicy na badane parametry, określenie wpływu długości włókien szklanych na odporność systemu na uderzenie oraz optymalizację zawartości włókien i żywicy umożliwiającą wzmocnienie odporności systemu bez konieczności stosowania dodatkowej warstwy siatki. Stąd kluczowym parametrem stała się odporność systemu na uderzenie – test kuli. Kolejnym badaniem imitującym przebicie systemu był perfotest, umożliwiający ocenę odporności na wgniatanie. Dodatkowymi ocenianymi parametrami technicznymi były paroprzepuszczalność i przepuszczalność wody przez powierzchnię systemu (wodochłonność, nasiąkliwość), które pozwalają na ocenę wpływu stosowanych dodatków na te cechy.

W związku z tym, iż ETAG 004 [17] stawia najbardziej rygorystyczne wymagania systemom ociepleń spośród obowiązujących dokumentów odniesienia [8, 9, 18, 19], na podstawie tego dokumentu zostały przeprowadzone badania powyższych parametrów.

### 3. Metodyka opracowania wyników doświadczeń

Plan eksperymentu zrealizowano na podstawie planu Boxa-Behnkena [4, 7, 12]. Doświadczenia realizowane były na podstawie planu czteroczynnikowego, a jako zmienne czynniki w zasadniczej fazie badań przyjęto w przedziałach (tabela 1) [11]:

- udział włókien polietylenowych – przedział zmienności od 0% do 0,5%;
- udział żywicy – przedział zmienności od 0% do 2%;
- udział włókien szklanych – przedział zmienności od 0% do 0,6%;
- długość włókien szklanych – przedział zmienności od 6 do 18 mm.



Spośród parametrów technicznych badanych systemów ociepleń wybrano następujące cechy wynikowe: nasiąkliwość powierzchniowa po 24 h [ $\text{kg/m}^2$ ], test kuli – odporność na uderzenie [10J], wysokość odbicia kuli [m], perfotest – odporność na przebicie [%], paroprzepuszczalność [m].

Do kompleksowej oceny badanych systemów ociepleń, uwzględniającej wszystkie kryteria, zastosowano metodę wielokryterialnej optymalizacji statystycznej, wykorzystując funkcję uogólnionej użyteczności. W tym celu wartości rozważanych kryteriów wyrażono w bezwymiarowej skali. Skonstruowanie takiej skali wymagało określenia dla każdego kryterium przedziału wartości zadowalających, ze wskazaniem wartości gorszej i lepszej (tabela 3).

#### 4. Analiza wyników

Przeprowadzone badania miały na celu wyznaczenie poziomu udziału żywicy oraz udziału i rodzaju włókien, dla których można oczekiwać możliwie najkorzystniejszych wartości parametrów technicznych istotnych z punktu widzenia użytkownika.

Doświadczenia realizowano zgodnie z programem badań opracowanym na podstawie czteroczynnikowego planu typu  $2^4$ . Określono zakres zmienności tych czynników (tabela 1).

Tabela 1

Dziedzina eksperymentu w zasadniczej fazie badań

Czynnik	Oznaczenia kodowe	Wartość centralna	Jednostka zmienności	Jednostka miary
Udział żywicy	X1	1	1	%
Udział włókien polietylenowych	X2	0,25	0,25	%
Udział włókien szklanych	X3	0,35	0,25	%
Długość włókien szklanych	X4	12	6	Mm

Wartości kodowe X1, X2, X3 oraz X4 zmieniają się w zakresie  $\langle -1, 1 \rangle$ .

Wyniki doświadczeń wykorzystano do przeprowadzenia analizy regresji, w rezultacie której oszacowano, za pomocą wielomianów stopnia drugiego, zależności między czynnikami X1, X2, X3 oraz X4 a rozważanymi cechami systemów ociepleń. W tabeli 2 podano ocenę współczynnika determinacji  $R^2$ , stanowiącego miarę zgodności tej funkcji z danymi eksperymentalnymi.

Tabela 2

Wartość współczynnika determinacji  $R^2$  w zasadniczej fazie badań

Kryterium	Nasiąkliwość po 24h	Test kuli	Perfotest	Wysokość odbicia kuli	Paroprzepuszczalność opór dyfuzyjny
Wartość $R^2$	0,9192	0,9051	0,9377	0,6920	0,4765

Współczynnik determinacji  $R^2$  informuje, jaka część całkowitej zmienności y została wyjaśniona przez oszacowaną funkcję regresji i jak dobrze model ten jest dopasowany do danych. W przypadku przeprowadzonych testów, zarówno dla nasiąkliwości po 24 h, testu kuli, jak i perfotestu, uzyskano bardzo dobre dopasowanie modelu.

Jako przedział wartości zadowalający wybrano taki, który powinien zapewnić skuteczne wykorzystanie materiału. Z poszczególnymi kryteriami związane nieujemne wagi, przy czym suma tych wag musi być równa 1 (tabela 3). W przypadku nasiąkliwości wartością lepszą jest niższa wartość nasiąkliwości, w przypadku testu kuli lepsza jest wyższa odporność na uderzenie, podobnie jak w przypadku badania odporności systemu na przebicie wartością lepszą jest wartość wyższa, gdyż im wyższą wartość osiągnie system w przypadku testu kuli i perfotestu (tych dwóch kryteriów), tym większa będzie jego odporność na uderzenie i przebicie, czyli uszkodzenie mechaniczne. Dla kryteriów paroprzepuszczalności wartością lepszą jest niższa wartość oporu dyfuzyjnego. W przypadku kryterium wysokości odbicia wartością lepszą będzie wyższa wysokość odbicia. Jako przedziały wartości zadowalających przyjęto takie, które zapewniają zarówno stosunkowo niską nasiąkliwość i paroprzepuszczalność, jak i wysoką odporność na uderzenie, przebicie, wysokość odbicia.

Tabela 3

Przedziały wartości zadowalających oraz wagi przypisane poszczególnym kryteriom w zasadniczej fazie badań

Kryterium	Przedział wartości zadowalających		Waga
	Wartość gorsza	Wartość lepsza	
np. [kg/m <sup>2</sup> ] po 24h	0,30	0,10	0,1
Test kuli [%]	85	98	0,4
Perfotest [%]	70	85	0,3
Paroprzepuszczalność [m]	0,35	0,22	0,1
Wysokość odbicia kuli [m]	0,45	0,65	0,1

Przeprowadzone badania pozwalają na określenie wpływu poszczególnych czynników na badane cechy.

Tabela 4

Istotność wpływu czynników o zmienianych w trakcie badań wartościach na rozważane cechy w zasadniczej fazie badań

Czynnik	Wartość p				
	Nasiąkliwość po 24 h	Test kuli	Perfotest	W. odbicia kuli	Paroprzep.
Żywica	0,0002	0,2447	0,0016	0,0524	0,3966
Włókna polietylenowe	0,0029	0,1318	0,0282	0,4126	0,6417
Włókna szklane	0,0188	0,0012	0,0002	0,0884	0,9877
Długość włókien szklanych	0,0042	0,0002	<0,0001	0,2143	0,5792



Wartość  $p$  informuje o wpływie czynnika na badaną cechę. Jeżeli wartość  $p$  jest mała ( $< 0,05$ ), to oznacza, iż dany czynnik istotnie wpływa na badaną cechę. Jeżeli jednak wartość  $p$  jest większa od  $0,1$ , to nie oznacza, iż dany czynnik nie ma wpływu na badaną cechę, ale wpływ ten nie jest istotny w sensie statystycznym.

W wykonanych badaniach nie ma idealnego rozwiązania dla zadanych kryteriów, gdyż rozwiązanie z punktu widzenia jednego kryterium nie jest najlepszym rozwiązaniem dla drugiego kryterium, w związku z czym należy szukać rozwiązania kompromisowego. Dla wykonanych badań przyjęto cztery kryteria wyrażone w różnych jednostkach: nasiąkliwość [ $\text{kg/m}^2$ ], test kuli [%], perfotest [%], wysokość odbicia [m] oraz opór dyfuzyjny [m]. Za pomocą funkcji użyteczności przechodzimy do wspólnej skali użyteczności (skali bezwymiarowej – użyteczności przyjmują wartości z przedziału  $<0,1>$ ). Analizując wyniki użyteczności badanych cech, można zauważyć, iż jeżeli otrzymano niską wartość użyteczności testu kuli i perfotestu, to wartość użyteczności nasiąkliwości wypada bardzo dobrze. Najkorzystniejsze wartości użyteczności uzyskane zostały dla 6 kombinacji systemów ociepleń. Najkorzystniejsze wyniki otrzymano w przypadku stosowania włókien szklanych o długościach: 12 mm i 18 mm, ale przy ich udziale co najmniej 0,35%.

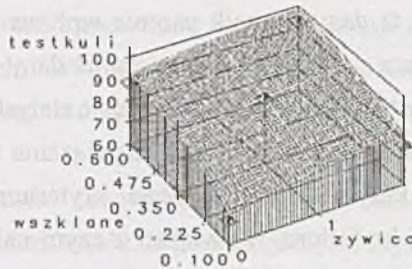
Dla funkcji użyteczności zbadano również istotność wpływu poszczególnych czynników o zmienianych w trakcie badań wartościach na analizowane parametry. Z przeprowadzonych analiz wynika, iż największy wpływ mają włókna szklane oraz ich długość, a żywica i włókna polietylenowe odgrywają znacznie mniejszą rolę.

Przyjęta metodologia umożliwia zmianę wag i przedziału wartości zadowalających bez konieczności ponownego powtórzenia badań.

## 5. Wnioski

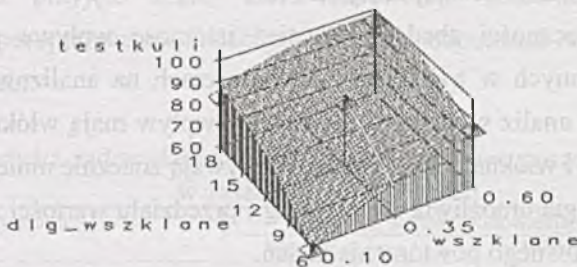
Otrzymane wyniki prowadzą do następujących wniosków:

- spośród badanych czynników na opór dyfuzyjny w największym stopniu wpływa zawartość zastosowanej żywicy,
- zastosowanie żywicy w ilości od 0% do 2% nie odgrywa istotnej roli w podwyższeniu odporności systemu na uderzenie, większy wpływ odgrywa udział włókien szklanych,

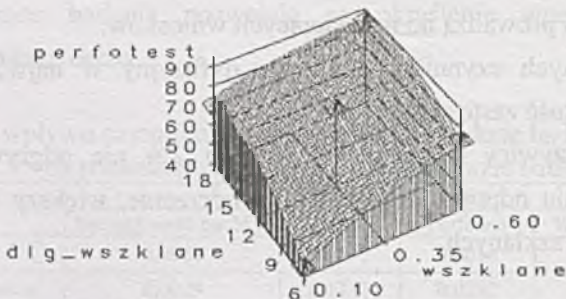


Rys. 4. Uszkodzenia warstwy wyprawy tynkarskiej  
 Fig. 4. Damage to the plaster layer

- większy wpływ na zmianę odporności na uderzenie odgrywają włókna szklane niż włókna polietylenowe,
- zarówno w badaniu odporności systemu na uderzenie, jak i na przebicie kluczową rolę odgrywają włókna szklane i ich długość – wraz ze wzrostem długości oraz ilości włókien odporność systemu wzrasta,



Rys. 5. Uszkodzenia warstwy wyprawy tynkarskiej  
 Fig. 5. Damage to the plaster layer



Rys. 6. Uszkodzenia warstwy wyprawy tynkarskiej  
 Fig. 6. Damage to the plaster layer



- na nasiąkliwość mają wpływ wszystkie czynniki: włókna, długość włókien oraz ilość żywicy,
- zawartości włókien i żywicy wpływają na opór dyfuzyjny warstwy,
- zawartość włókien polietylenowych istotnie wpływa na nasiąkliwość i odporność na przebicie.

Można stwierdzić, że optymalne rozwiązanie wymaga kompromisu, który w możliwie najlepszy sposób godzi wszystkie określone wymagania. Wiąże się to z koniecznością akceptacji poziomów wartości wybranych czynników wejściowych (zmiennych) niekoniecznie na poziomie najlepszym z punktu widzenia oceny pojedynczych czynników wynikowych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Byrdy C.: Ciepłochronne konstrukcje ścian zewnętrznych budynków mieszkalnych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.
2. Dusza K.: Bieżące remonty dociepleń ścian. 2006, <http://www.cieplej.pl/Zawodowcy/1066728985.shtm>
3. Gaczek M., Fiszer S.: ABC tynków. Część IV: Tynki zwykłe – uszkodzenia. Kalejdoskop budowlany, nr 6, 2002, s. 14-18.
4. Grabiec A.M., Piasta Z.: Study on compatibility of cement-superplasticiser assisted by multicriteria statistical optimization. Journal of Materials Processing Technology, No. 152 (2004), p. 197-203.
5. Kisielewicz T., Królak E., Pieniążek Z.: Termorenowacja ścian zewnętrznych budynków. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1999.
6. Ligęza W.: Potencjalne zagrożenia trwałości systemu ociepleniowego BSO. Budownictwo ogólne – zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i ciepłowo-wilgotnościowe w budownictwie. Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2003.
7. Myers R.H., Montgomery D.C.: Response Surface Methodology. John Wiley, New York 1995.
8. PN-EN 13499:2005 „Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Zewnętrzne zespolone systemy ocieplania (ETICS) ze styropianem”.

9. PN-EN 13500:2005 „Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Zewnętrzne zespolone systemy ocieplania (ETICS) z wełną mineralną”.
10. Rejment M., Sawicki M.: Lepiej zapobiegać, niż naprawiać. Kalendarz Budowlany, nr 4, Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.
11. Rudecka J., Pawłowa M., Piasta Z.: Analiza wielokryterialna właściwości użytkowych skór garbowanych różnymi metodami. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowa pt. „Nowe rozwiązania materiałowe i technologiczne w obuwnictwie oraz gospodarka odpadami”, CLPOB, Kraków 2002, s. 34-40.
12. Rudecka J., Pawłowa M., Piasta Z.: Multicriterial analysis of tanned leathers performance properties. Materials Science (Medžiagotyra), Vol. 8, No. 2, 2002.
13. Rydz Z., Nowak B.: Wymagania techniczne dotyczące systemów ociepleń wg Zaleceń Udzielania Aprobatach Technicznych. Materiały budowlane, nr 1, 1999, s. 13-18.
14. Rydz Z., Pogorzelski J.: Nowa instrukcja ocieplania ścian bezspoinowym systemem izolacji. Materiały budowlane, nr 1, 2002, s. 31-33.
15. Rydz Z., Pogorzelski J.A., Wójtowicz M.: Bezspoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków. Seria ITB: instrukcje, wytyczne, poradniki, nr 334/2002, Warszawa 2002.
16. Wysocki M.: Estetyka elewacji docieplanych metodą lekką-mokrą. Budownictwo ogólne – zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i ciepłno-wilgotnościowe w budownictwie. Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2005.
17. Wytyczne do Europejskich aprobatach Technicznych ETAG nr 004 „Złożone systemy izolacji cieplnej z wyprawami tynkarskimi”, marzec 2000.
18. ZUAT – 15/V.03 „System ocieplania ścian zewnętrznych z zastosowaniem styropianu jako materiału termoizolacyjnego i pocienionej wyprawy elewacyjnej”.
19. ZUAT – 15/V.04 03 „System ocieplania ścian zewnętrznych z zastosowaniem wełny mineralnej jako materiału termoizolacyjnego i pocienionej wyprawy elewacyjnej”.

Recenzent: Dr hab. inż. Jan Ślusarek, prof. nzw. w Pol. Śl.