

Tadeusz BOBKO

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych, ul. Rolna 43, Katowice; e-mail: t.bobko@wp.pl

MODELOWANIE EFEKTYWNOŚCI EKOLOGICZNEGO BUDOWNICTWA Z ARBORYTU

s. 81-94

STRESZCZENIE

Przedstawiono koncepcję zarządzania efektywnością energooszczędnego ekologicznego budownictwa z arborytu przy posługiwaniu się modelowaniem ekonomiko-matematycznym.

SŁOWA KLUCZOWE:

Zarządzanie, efektywność, ekonomiko-matematyczne modelowanie, technologie ekologiczne, energooszczędność, domy z arborytu

WPROWADZENIE

Ekonomiko-matematyczne modelowanie sposobu zarządzania efektywnością budownictwa energooszczędnego/ekologicznego stanowi jeden z podstawowych filarów nauki o gospodarce, obejmujący jednocześnie ważniejsze grupy wskaźników, zawartych w charakterystykach elementów budynku i poza nim: klimatycznych, środowiskowych, fizyko-mechanicznych, organizacyjno - technologicznych, ekonomicznych, politycznych i in. Efektywność prognozowania i oceny budownictwa energooszczędnego i ekologicznego określa się za pomocą wskaźników i ich grup takich jak: stopień szkodliwości dla zdrowia człowieka, cena rynkowa, cena kosztorysowa, materiało-, i energo-, chłonność, praco- i maszynochłonność, energooszczędność i in.

Proces ekonomiko-matematycznego modelowania przewiduje zdefiniowanie: funkcji celu, ilości, argumentów, ich typu i przedziałów zmienności, oraz kryteriów oceny adekwatności i wiarygodności projektowanego modelu. Wartości argumentu pozyskuje się w drodze eksperymentów, wyliczeń komputerowych, innych wiarygodnych źródeł takich jak: doświadczenia zawodowe projektanta modelu, normy i przepisy. Niezbędnym atrybutem modelowania jest wybór wariantu i optymalizacja funkcji celu [4].

Celem niniejszego opracowania jest określenie koncepcji procesowo-organizacyjnego zarządzania efektywnością, za pomocą modelowania ekonomiko-matematycznego w budownictwie energooszczędnym/ekologicznym z arborytu.

MATERIAŁOWO-KONSTRUKCYJNE CHARAKTERYSTYKI EKOLOGICZNYCH TECHNOLOGII Z ARBORYTU

Arboryt – lekki beton, produkowany z cementu i celulozowego wypełniacza, pochodzącego z odpadów drewnianych. Charakteryzuje się wytrzymałością na ściskanie, odpornością ogniową, odpornością biologiczną, niewysoką gęstością, izolacyjnością cieplną, łatwością obróbki mechanicznej i łatwością wbijania gwoździ. Szeroko praktykowany w budownictwie

twie w sześćdziesiątych latach dwudziestego wieku [1]. Uzdrawienie ekologii przywróciło do renesansu arboryt – materiał termoizolacyjno-konstrukcyjny, ciepłochronny, praktycznie bez dodatków chemicznych, trujących ludzi, materiał niedrogi. Jak wskazują praktyki stosowania arborytu w państwach ościennych, koszty jednego metra kwadratowego powierzchni ogólnej w domu mieszkalnym jednorodzinny w stanie surowym zamkniętym wynosi w przeliczeniu 1000 – 1500 złotych.

Cena kosztorysowa budynku mieszkalnego jednorodzinne z arborytu w stanie surowym zamkniętym znajduje się w przedziale 90 do 250 tys. złotych (tab.1-4).

Tabela 1. Przewidywana gęstość arborytu.

Klasa MPa	Średnia gęstość, kg/m ³		
	odpady pozyskiwane z wycinki, cięcia i przecierania drzewa		Kora garbarska
	przecieranie i cięcie	wycinka lasów	
0,5	400	500	550
1,0	500	550	600
1,5	600	650	700
2,5	650	700	750
3,5	700	750	800

Arboryt składa się z cementu portlandzkiego, wypełniacza z odpadów drewnianych, chemicznych domieszek (uszlachetniających wypełniacz organiczny i polepszających reologię mieszanki) i wody. Stosunek drzewno-cementowy w arborycie – 0,6; wodno-cementowy 1,1 do 1,3. Średnie zużycie komponentów na 1 m³ arborytu przedstawiono w tabeli 2. Klasa 0,5 i 1,0 – materiały termoizolacyjne, $\lambda = 0,08 \dots 0,17$ W/m K.

Prefabrykaty z arborytu: w budownictwie energooszczędnym, ekologicznym – płyty ściennie 360(420,600)×120×18 cm; płyty uzupełniające o wymiarach na zamówienie grubości 18, 20, 30, 40 cm i inne.

Tabela 2. Średnie zużycie komponentów.

	Gęstość kg/m ³	Wytrzymałość, MPa		Zużycie komponentów, kg/m ³			
		zginanie	ściskanie	drzewne	cement	Cacl ₂	Woda
Arboryt	500-	0,5-	1,0-	180-	280-	8	300-400
	800	0,95	3,5	240	400		
Djurizol	600-	0,9-	1,5-	200-	325-	37	70-100
	700	1,2	3,5	230	350		
Weloks	550-	1,2-	-	366-	200	16	150
	600	2,2	-	414	-		
Polinobeton	700	1,45	1,97	166	400	16,5	284

Wybrane wskaźniki i możliwości techniczne:

1. Największa płyta z arborytu o wymiarach 600×300×20 cm przy gęstości $\rho = 700$ kg/m³ ma ciężar 2700 kg., tzn – stosunkowo lekka, umożliwia montaż za pomocą szeroko rozpowszechnionych dźwigów i żurawi.

2. Masa budynku z arborytu mniejsza od masy budynku z żelbetu i keramzytobetonu o 2,2 razy.

3. Zaprojektowane, wybudowane i oddane do użytku zostali następujące budynki z arborytu: domy jednorodzinne i zamieszkania zbiorowego, przedszkola na 140 miejsc,

szkoły dla 392 uczniów, kluby na 300 miejsc, stołówki na 75 miejsc, sklepy spożywcze o powierzchni 90, 150, 250 m² w osiedlach na 1, 2, i 3 tys. mieszkańców, fabryki domów z arborytu, budynki rolnicze o różnym przeznaczeniu [2].

4. Oczywiste charakterystyki ekologiczne:

- zapotrzebowanie i zużycie odpadów drewnopochodnych w skali rocznej w fabrykach produkujących arboryt o mocy 6, 12, 24 tys m³ w skali rocznej wynosi odpowiednio 4,7; 9,4 i 18,7 tys m³,
- skala recyklingu przy tym szacuje się wielkością 0,78 tony odpadów drewnopochodnych na 1m³ wyrobów z arborytu, czyli około 2 kg odpadów drewnopochodnych na każdy kilogram cementu używanego do produkcji arborytu.

5. Wartość współczynnika przewodzenia ciepła wynosi 0,08 – 0,17 W/m K, dzięki czemu, ściany domu z arborytu pozostają o wiele cieplejsze, w porównaniu ze ścianami z innych tradycyjnych materiałów budowlanych. Istnieje jeszcze jedna bardzo ważna, niepodważalna cecha nie do poprawienia – arboryt posiada najlepszą pojemność cieplną, równą 2,30 kJ/kg K. Oznacza to, że w całym domu z arborytu będą bardzo wysokie wskaźniki inercji cieplnej. Inercja cieplna, przy tak wysokim wskaźniku pojemności cieplnej arborytu, znacząco wydłuża czas stygnięcia elementów i budynku w całości. W związku z tym, budynek z arborytu chroni ciepło dłużej niż inne budynki, w których pojemność cieplna elementów przegrody zewnętrznej wynosi zaledwie 0,84 kJ/kg K. Okoliczność ta jest bardzo ważna ze względu na ekonomię ciepła na ogrzewanie budynku w sezonie grzewczym, wartość której wynosi 25 – 30% [3].

6. Prefabrykaty z arborytu posiadają unikatową właściwość wchłonięcia i oddawania wilgoci. W ciągu całego procesu budowlanego, aż do momentu gotowości budynku „pod klucz”, arboryt pozostaje suchy. Materiał wyklucza pojawienie się głównego czynnika rozprzestrzeniania się grzyba – wilgoci. Stosowanie tynku wapiennego, ze względu na jego właściwości szybkiego wchłaniania i równomiernego oddawania wilgoci, do wykończenia ścian zewnętrznych polepsza charakterystyki cieplno-fizyczne ściany z arborytu.

7. Bardzo istotnym czynnikiem jest wysoki poziom PH w prefabrykacjach z arborytu, równy 10 – 12, - zapewnia wysoką zasadowość. Współpracując „w tandemie” z tynkiem wapiennym, ściana zostaje niezawodną przegrodą na drodze powstania grzyba w budynku, chroniąc dobry stan zdrowia lokatorów. Warto przypomnieć w tym miejscu o tym, iż od stuleci wapno, ze względu na charakterystykę zasadowości, stosowano do malowania ścian w pomieszczeniach przeróbki produktów mlecznych lub w stajniach dla koni. Ponadto stosowanie tynku wapiennego w sposób istotny obniża koszty własne budynku.

Tabela 3. Wskaźniki techniczne wybranych budynków z arborytu.

Lp.	Typy domów	Projekt typowy	Powierzchnia, m ²		Kubatura m ³	Zużycie arborytu m ³ /m ² pow. ogółem
			ogółem	użytkowa		
1	Parterowy					
	dwupokojowe	183-115-51	48,6	27,9	231	0,36
	trypokojowe	183-115-52	61,6	39,3	244	0,36
2	Bliźniaczy					
	dwupokojowe	183-115-53	102,4	56,0	419	0,35
	trypokojowe	183-115-54	122,4	78,7	476	0,38
3	Piętrowy na dwa mieszkania					
	trypokojowe	141-115-2	142,0	98,0	594	0,43
	czteropokojowe	141-115-2	162,4	103,2	643	0,43
4	Piętrowy na cztery mieszkania					
	dwupokojowe	111-115-8	212,0	116,4	964	0,43
	trypokojowe	111-115-29	252,2	158,8	1049	0,37

Cechy ujemne: odkształcenia ciepłno-wilgotnościowe 6 – 12%; dopuszczalna obecność „trucizn cementów” w postaci chemicznych grup z węglowodanów HOCH pochodzenia organicznego, niska odgezia betonu w stosunku do drewna w strefie kontaktowej w elementach zginanych, konieczność neutralizacji cukru za pomocą roztworu $CaCl_2$, gęstości 1,02-1,05 kg/m^3 i nie tworzy poważnego niebezpieczeństwa dla zdrowia, pod warunkiem prawidłowego korzystania i in.[3].

Tabela 4. Wskaźniki techniczno-ekonomiczne wybranych budynków z arborytu.

L p.	Elementy budynku	Projekt indywidualny Nr	Powierzchnia, m^2		Kubatura m^3	Cena 1 m^2 p.u.	Cena kosztorysowa budynku, stan surowy zamknięty zł
			ogółem	użytkowa		zł/ m^2	
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Fundamenty-lawy	100	90,0	76,0	230,2	1197	90962
2	żelbetowe, C16\25.	101	104,7	92,7	260,5	1308	121263
3	Ściany- arboryt 600	102	110,2	97,5	290,0	1400	136470
4	grób. 400cm	105	117,7	96,9	273,1	1581	153229
5	Dach-drewniany,	103	121,0	101,0	365,5	1558	157388
6	Dachówka ceram	110	141,9	114,4	333,1	1522	174146
7	Okna-”Rehau”	106	162,0	137,0	453,4	1482	189353
8	Tynk	109	198,2	152,9	578,0	1437	219654

EKONOMIKO-MATEMATYCZNE MODELE EFEKTYWNOŚCI TECHNOLOGII EKOLOGICZNYCH ENERGOOSZCZĘDNYCH

Kształtowanie, optymalizacja i korzystanie z modeli matematycznych, układanych na podstawie połączenia w jednym modelu parametrów fizyko-mechanicznych, ciepłno-fizycznych, organizacyjno-technologicznych i ekonomicznych, w rozwiązaniach architektoniczno-budowlanych, organizacyjno-ekonomicznych i technologicznych, budynków i budowli inżynierskich, niezależnie od ich przeznaczenia, nadal jest jednym z głównych kierunków w drodze rozwiązań aktualnych problemów inwestycyjno-budowlanych.

Opracowanie i wybór optymalnych modeli matematycznych w celu opisywania prawidłowości powiązań funkcjonalnych pomiędzy wartością gęstości arborytu a współczynnikiem przewodzenia polega na stosowanych programach komputerowych i zespole kryteriów, niezbędnych do oceny i odbioru wyników aproksymacji danych eksperymentalnych.

Modelowanie matematyczne zależności współczynnika przewodzenia ciepła pod wpływem zmiany gęstości arborytu $y = f(x)$, gdzie wypełniaczem są zmielone odpady drzewne, (dane w tabeli 5) wykonane zostało w dwóch wariantach.

Tabela 5. Średnia gęstość a przewodzenie ciepła.

Rodzaje wypełniaczy	Współczynnik przewodzenia ciepła arborytu λ , W/m K, przy średniej gęstości ρ , kg/m^3									
	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850
Zmielone odpady drzewne	0,08	0,09	0,095	0,105	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
Zmielone łodygi bawełny, słomy, ryżu, paździerz z lnu i konopi	0,07	0,075	0,08	0,095	0,105	0,11	0,12	-	-	-

Uwaga! Przy gęstości < 500 kg/m^3 - arboryt służy jako materiał termoizolacyjny, przy gęstości 550 – 650 kg/m^3 - materiał termoizolacyjno-konstrukcyjny, >700 – 850 kg/m^3 - materiał konstrukcyjny.

Wariant I. Zależność $\lambda = f(\rho)$ aproksymowana za pomocą paraboli typu $y = b_0 + b_1x + b_2x^2$, umożliwi wyprowadzenie wzoru

$$\lambda = 0,000001 \rho^2 + 0,00017 \rho + 0,007 \quad (1)$$

gdzie $\lambda = y; \rho = x$.

Kryteria oceny adekwatności i wiarygodności aproksymacji:

wysoka wartość współczynnika korelacji $R = 0,997356$; dokładność wzoru $d = 0,5280\%$; resztkowe średnio-kwadratowe odchylenie $S_{ost} = 0,002$; sprawdzona maksymalna wartość argumentu $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$ przy optymalizacji wartości funkcji $\lambda(\text{max}) = 0,17 \text{ W/m K}$.
 opracowano za pomocą programu „fun. 1_a”,

Wydruk z programu:

1. Dane wejściowe

1.1 Dane stałe:

$$\lambda = f(\rho).$$

1.2 Dane zmienne:

$x[i]$ – ρ (kg/m^3),

$y[i]$ – λ (W/m K).

2. Wyniki aproksymacji eksperymentalnych danych po zastosowaniu wzoru

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 \text{ [*]}$$

2.1 Obliczenie sumy kwadratów i procentowej odchyłki pomiędzy danymi eksperymentalnymi i teoretycznymi:

X[i]	Y[i]	Yo[i]	(Y[i]-ysr)^2	(Y[i]-Yo[i])^2	%
400,000	0,080	0,079	0,002	0,000	1,48 %
450,000	0,090	0,088	0,001	0,000	1,72 %
500,000	0,095	0,098	0,001	0,000	-3,41 %
550,000	0,105	0,108	0,000	0,000	-3,03 %
600,000	0,120	0,118	0,000	0,000	1,44 %
650,000	0,130	0,129	0,000	0,000	1,14 %
700,000	0,140	0,139	0,000	0,000	0,78 %
750,000	0,150	0,149	0,001	0,000	0,36 %
800,000	0,160	0,160	0,001	0,000	-0,09 %
850,000	0,170	0,171	0,002	0,000	-0,59 %

		1,240	1,240	0009	0.000

2.2 Współczynniki do równania $y = b_0 + b_1x + b_2x^2$:

$$b_0 = 0,007,$$

$$b_1 = 0,00017,$$

$$b_2 = 0,0000001.$$

2.3 Optimum funkcji:

$$y = 0,007 + 0,00017 x + 0,0000001 x^2,$$

$$y' = 0,00017 + 2 * 0,0000001 x,$$

$$y'' = 2 * 0,0000001 x + 0,00017 = 0,$$

$$x(\text{max}) = - 0,00017 / 0,0000002 = \text{abs } 850,$$

$$x(\text{max}) = - 0,00017 / 2 * 0,0000002 = \text{abs } 850.$$

*opracowano zgodnie z programem „fun 1_a”, autor prof. T. Bobko .

Wybór modelu matematycznego polega, między innymi, na wyborze wariantów modeli przydatnych i na odrzuceniu nie przydatnych w drodze porównania.

Wariant II.

1. Dane wejściowe:

1.1 Dane stałe:

$$\lambda = f(\rho).$$

1.2 Dane zmienne:

$$x[i] - \rho \text{ (kg/m}^3\text{)},$$

$$y[i] - \lambda \text{ (w/m K)},$$

2. Wyniki aproksymacji eksperymentalnych danych po zastosowaniu wzoru

$$y = x / (b_0 + b_1 \cdot x) \text{ [*]}$$

2.1 Obliczanie sumy kwadratów i procentowej odchyłki pomiędzy danymi eksperymentalnymi i teoretycznymi:

x[i]	y[i]	y0[i]	ryysr(i)	y[i]-y0[i]	ryysr2(i)	ryy02(i)	%
400,0000	0,0800	0,0788	-0,0461	0,0012	0,0021	0,0000	1,45
450,0000	0,0900	0,0889	-0,0361	0,0011	0,0013	0,0000	1,26
500,0000	0,0950	0,0989	-0,0311	-0,0039	0,0010	0,0000	4,13
600,0000	0,1200	0,1192	-0,0061	0,0008	0,0000	0,0000	0,70
650,0000	0,1300	0,1293	0,0039	0,0007	0,0000	0,0000	0,51
700,0000	0,1400	0,1395	0,0139	0,0005	0,0002	0,0000	0,33
750,0000	0,1500	0,1498	0,0239	0,0002	0,0006	0,0000	0,14
800,0000	0,1600	0,1601	0,0339	-0,0001	0,0011	0,0000	0,06
850,0000	0,1700	0,1704	0,0439	-0,0004	0,0019	0,0000	0,25
5700,0000	1,1350			0,0083	0,0000		

2.2 Współczynniki do równania $y = x/(b_0 + b_1 \cdot x)$:

$$b_0 = 5149,8862,$$

$$b_1 = - 0,1908,$$

2.3 Współczynnik korelacji

$$R = 0,99848.$$

Dokładność wzoru d = 0,304%.

Resztkowe średnio kwadratowe odchylenie $S_{ost} = 0,002$.

*opracowano: pr-15

Tabela 6. Porównanie wyników aproksymacji i i wybór wariantu modelu

№	Model aproksymacyjny		Kryteria oceny przydatności modelu			Nazwa funkcji
	Wariant	Funkcja stosowana	R	S_{ost}	d, %	
0	1	2	3	4	5	6
1	I	$y = b_0 + b_1x + b_2x^2$	0,997356	0,002	0,528	parabola
2	II	$y = x / (b_0 + b_1 \cdot x)$	0,99848	0,002	0,304	hiperbola

Podsumowanie:

- ze względu na większą wartość współczynnika korelacji R wariant II do akceptacji;
- ze względu na mniejszą wartość dokładności wzoru S_{ost} warianty I i II do akceptacji, wartość resztkowego średnio kwadratowego odchylenia $S_{ost} = 0.002$ jest bardzo mała i to pozytywnie charakteryzuje każdy z rozpatrywanych wariantów;
- ze względu na mniejszą wartość dokładności wskaźnika wzoru „d” wariant II do akceptacji, za dokładność wzoru w statystyce matematycznej uważa się zawartość procentową ilości danych nie mieszczących się na linii teoretycznej.

Wniosek: model matematyczny zależności współczynnika przewodzenia ciepła λ pod wpływem zmiany gęstości arborytu ρ w stanie suchym, $y = f(x)$, gdzie wypełniaczem są zmielone odpady drzewne, jest najbardziej przydatny (dane w tabeli 5) i ma postać hiperboliczną (wariant II) (2)

$$\lambda = \frac{\rho}{5149,8862 - 0,1908 \rho}$$

Modelowanie matematyczne zależności współczynnika przewodzenia ciepła pod wpływem zmiany gęstości arborytu $y = f(x)$, gdzie wypełniaczem są zmielone łodygi, bawełny słomy, ryżu, paździerz z lnu i konopi, (dane w tabeli 5) wykonane zostało w wariacie przydatnym w celach przeprowadzenia doświadczeń naukowych i realizacji prac projektowych.

1. Dane wejściowe $y = f(x)$

1.1. Dane zmienne:

$x[i]$ - ρ , kg/m³, $y[i]$ - λ , W/m K.

2. Wyniki aproksymacji eksperymentalnych danych po zastosowaniu wzoru

$$y = x / (b_0 + b_1 \cdot x) \text{ [*]}$$

2.1 Obliczanie sumy kwadratów i procentowej odchyłki pomiędzy danymi eksperymentalnymi i teoretycznymi:

$x[i]$	$y[i]$	$y0[i]$	$ryysr(i)$	$y[i]-y_0[i]$	$ryysr2(i)$	$ryy02(i)$	%
400,0000	0,0700	0,0713	-0,0258	-0,0013	0,0007	0,0000	1,89
450,0000	0,0750	0,0797	-0,0208	-0,0047	0,0004	0,0000	6,27
500,0000	0,0950	0,0880	-0,0008	0,0070	0,0000	0,0000	7,40
600,0000	0,1050	0,1042	0,0092	0,0008	0,0001	0,0000	0,78
650,0000	0,1100	0,1121	0,0142	-0,0021	0,0002	0,0000	1,93
700,0000	0,1200	0,2000	0,0242	0,0000	0,0006	0,0000	0,02
3300.0000	0,5750			0,0020	0,0001		

2.2 Współczynniki do równania $y = x/(b_0 + b_1 \cdot x)$

$b_0=5306,1221$; $b_1= 0,7552$ gdzie po podstawieniu uzyskujemy wzór we współrzędnych autentycznych: (3)

$$\lambda = \frac{\rho}{5306,1221 + 0,7552 \rho}$$

2.3 Współczynnik korelacji

$R = 0,96967$,

Dokładność wzoru $d = 5,973\%$

Resztkowe średnio kwadratowe odchylenie $S_{ost} = 0,004$

*program Pr-15, autor prof. T. Bobko

Opracowane modele (2) i (3) stanowią niezawodne narzędzia, przydatne do optymalizacji powiązań między czynnikami natury fizyko-mechanicznej, cieplno-fizycznej i ekonomiczno-organizacyjnej w procesie projektowania i wznoszenia ekologicznych i energooszczędnych budynków z arborytu.

Opracowanie ekonomiczno-matematycznego modelu zależności zmiany powiązań wzajemnych kosztu budynku domu jednorodzinnego, wybudowanego w technologii ekologicznej/energooszczędnej, ocenianego w stanie surowym zamkniętym, a wpływu izolacyjności cieplnej elementów ogrodzenia (ściany zewnętrzne, podłoga na gruncie, ocieplane pokrycie dachowe, okna i drzwi), mierzonej za pomocą współczynnika

przenikania ciepła, polega na rozwiązaniu zadań funkcji wtórnej czterech zmiennych $K_{ks} = F(U_{sz}, U_{pg}, U_{dach}, U_{ok})$ [4],[5].

Rozwiązanie zadań funkcji czterech zmiennych, uzyskane za pomocą metody pełnego eksperymentu czynnikowego i funkcji aproksymującej w postaci wielomianu pierwszego stopnia $y_{po} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$.

Opis i oznaczenie czynników, przedziały ich zmienności i wariancję przedstawiono w tabeli 7. Planowanie i realizacja doświadczeń, określanych zależnością $K_{ks} = F(U_{sz}, U_{pg}, U_{dach}, U_{ok})$ - w tabeli 8, w której zamieszczone zostały: macierze planowania i robocza, doświadczone wartości funkcji celowej: średnie y_{op} i wariantowe y_1, y_2 . Funkcja celu to cena kosztorysowa ekologicznego budynku z arborytu w stanie surowym zamkniętym K_{ks} .

Tabela 7. Kodowanie i przedziały zmienności czynników zależności $K_{ks} = F(U_{sz}, U_{pg}, U_{dach}, U_{ok})$

Lp	Czynniki	Przedziały zmienności			Wariancję
		-1	0	+1	w_1, w_2, w_3, w_4
0	1	2	4	6	7
1	U_{sz} – izolacyjność cieplna ściany zewnętrznej, W/m^2K , $[x_1]$	0,15	0,20	0,25	0,05
2	U_{pg} - izolacyjność cieplna podłogi na gruncie, W/m^2K , $[x_2]$	0,14	0,22	0,30	0,08
3	U_{dach} – izolacyjność cieplna dachu W/m^2K , $[x_3]$	0,16	0,18	0,20	0,02
4	U_{ok} - izolacyjność cieplna okien W/m^2K $[x_4]$	0,70	1,0	1,30	0,30

Tabela 8. Planowanie i realizacja doświadczeń określanych zależnością $K_{ks} = F(U_{sz}, U_{pg}, U_{dach}, U_{ok})$

Lp	Macierze								Funkcja celowa		
	Planowania				Robocza				Wyniki doświadczeń, K_{ks} , zł		
		U_{sz}	U_{pg}	U_{DACH}	U_{OK}	Y_{op}	y_1	y_2	y	y_1	y_2
	x_1	x_2	x_3	x_4	$W/m^2 K$	$W/m^2 K$	$W/m^2 K$	$W/m^2 K$	zł	zł	zł
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	+	+	+	+	0,25	0,30	0,20	1,30	90962	90964	90960
2	-	+	+	-	0,15	0,30	0,20	0,70	121263	121267	121259
3	+	-	+	-	0,25	0,14	0,20	0,70	136470	136473	136467
4	-	-	+	+	0,15	0,14	0,20	1,30	153229	153226	153232
5	+	+	-	-	0,25	0,30	0,16	0,70	157388	157385	157391
6	-	+	-	+	0,15	0,30	0,16	1,30	174146	174148	174144
7	+	-	-	+	0,25	0,14	0,16	1,30	189353	189355	189351
8	-	-	-	-	0,15	0,14	0,16	0,70	219654	219653	219655

Opracowanie modelu zależności $K_{ks} = F(U_{sz}, U_{pg}, U_{dach}, U_{ok})$, odpowiadającej $y = F(x_1, x_2, x_3, x_4)$ za pomocą funkcji aproksymującej

$y_{po} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$ obejmuje:

Dane wejściowe $x_1 = U_{sz}$; $x_2 = U_{pg}$; $x_3 = U_{dach}$; $x_4 = U_{ok}$; $y_{po} = K_{ks}$ (tabl. 7 i 8),

$Q_0 = 0,20$

$w_1 = 0,050$

$m_0 = 0,22$

$w_2 = 0,080$

$t_0 = 0,18$

$w_3 = 0,020$

$p_0 = 1,00$

$w_4 = 0,300$.

Średnia kwadratowa pomyłka jednego doświadczenia $c = 5,657$

Współczynnik Korchena wynosi $g = 0,286$
 Stopień swobody mniejszej wariancji wynosi $f_1 = 1,00$
 Wariancja eksperymentu $z^2y = 1,40$
 Średnia kwadratowa pomyłka całego eksperymentu $z_0 = 3,7417$
 Aproksymowane wyniki teoretyczne funkcji celowej:

y_{po}	y_o	$(y_{po} - y_o)^2$
90962,0000	90962,1250	0,0156
121263,0000	121263,1250	0,0156
136470,0000	136470,1250	0,0156
153229,0000	153228,6250	0,1406
157388,0000	157387,6250	0,1406
174146,0000	174146,1250	0,0156
189353,0000	189353,1250	0,0156
219654,0000	219654,1250	0,0156
1242465,0000	1242465,0000	0,3750

Stopień swobody większej dyspersji $f_2 = 3,0000$
 Obliczana wartość funkcji $F_{oblicz.} = 56,0$
 Współczynnik korelacji $R = 1,000000$
 Współczynnik determinacji $Det = 1,0000$
 Dokładność wzoru $d = 0,00$
 Resztkowa średnio kwadratowa odchyłka $S_{ost} = 0,354$

Równanie regresji w/g autentycznych zmiennych:

$$Y_{po} = b_0 + b_1(x_1 - q_0)/w_1 + b_2(x_2 - m_0)/w_2 + b_3(x_3 - t_0)/w_3 + b_4(x_4 - p_0)/w_4 =$$

$$= 155308,125 - 11764,875(x_1 - 0,20)/0,05 - 19368,375(x_2 - 0,22)/0,08 - 29827,125(x_3 - 0,18)/0,02 - 3385,625(x_4 - 1,00)/0,30 =$$

$$= 155308,125 - 235297,5(x_1 - 0,20) - 242104,6875(x_2 - 0,22) - 1491356,25(x_3 - 0,18) - 11285,417(x_4 - 1,00) =$$

$$= 155308,125 - 235297,5x_1 + 47059,5 - 242104,6875x_2 + 53263,031 - 1491356,25x_3 + 268444,125 - 11285,417x_4 + 11285,417 =$$

$$= 535360,198 - 235297,5x_1 - 242104,6875x_2 - 1491356,25x_3 - 11285,417x_4.$$

Sprawdzenie modelu.

Założenia:

$x_1 = 0,25$; $x_2 = 0,30$; $x_3 = 0,20$; $x_4 = 1,30$. Obliczenie wartości Y_{po} :

$$Y_{po} = 535360,198 - 235297,5x_1 - 242104,6875x_2 - 1491356,25x_3 - 11285,417x_4 =$$

$$= 535360,198 - 58824,375 - 72631,406 - 298271,25 - 14671,042 = 90962,125.$$

Wniosek: 1. Ekonomiko-matematyczny model

$Y_{po} = 535360,198 - 235297,5x_1 - 242104,6875x_2 - 1491356,25x_3 - 11285,417x_4$ (4) spełnia warunki prawdopodobieństwa i adekwatności.

2. Wartości Y_{po} zmniejszają się przy zwiększających się wartościach x .

Obliczono współczynniki regresji równania o wartościach kodowanych:

$$b_0 = 155308,125; b_1 = -11764,875; b_2 = -19368,375; b_3 = -29827,125; b_4 = -3385,625.$$

Równanie regresji o wartościach kodowanych uzyskuje kształt

$$Y_{po} = 155308,125 - 11764,875x_1 - 11764,875x_2 - 29827,125x_3 - 3385,625x_4$$

Korzystając z jednakowych założeń: $x_1 = 0,25$; $x_2 = 0,30$; $x_3 = 0,20$; $x_4 = 1,30$, obliczamy wartość $Y_{po} = 155308,125 - 11764,875 \cdot 0,25 - 19368,375 \cdot 0,30 - 29827,125 \cdot 0,20 - 3385,625 \cdot 1,30 = 155308,125 - 2941,219 - 5810,513 - 5965,425 - 4401,313 = 136189,655 > 90962,125$.

Podsumowanie: równania, oparte na wartościach kodowanych, nie nadają się do kształtowania modelu funkcji celowej. Program komputerowy wyeliminuje współczynniki nieznaczące.

Współczynniki regresji równania $Y_{po} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4$ o wartościach autentycznych oraz kształt modelu ceny kosztorysowej budynku z arborytu w stanie surowym zamkniętym przedstawiono za pomocą równania

$$K_{sz} = 535360,198 - 235297,5 U_{sz} - 242104,6875 U_{pg} - 1491356,25 U_{dach} - 11285,417 U_{ok} \quad (4)$$

Kryteria oceny przydatności wzoru ekonomiko-matematycznego zostały spełnione ze względu na:

1. Uzyskane idealne wartości obliczeniowe kryterium - $F = 1,0$ i dokładności wzoru $d = 0,00$, oznacza to, iż wszystkie eksperymentalne (obliczone) wartości Y_{p0} znajdują się na teoretycznej linii regresji y_0 .
2. Adekwatność modelu (4) zapewniona z prawdopodobieństwem zaufania 95%, co potwierdza się za pomocą porównania nierówności $F_{oblicz} < F_{tabl}$ ($56 < 215,7$) z przewidzianymi tabelarycznymi wielkościami kryterium - F .
3. Resztkowa średnio kwadratowa odchyłka stanowi minimalną wartość $S_{ost} = 0,354$.
4. Ekonomiko-matematyczny model (2) spełnia warunki prawdopodobieństwa i adekwatności.

Opracowanie ekonomiko-matematycznego modelu zależności zmiany powiązań wzajemnych kosztu jednego metra kwadratowego powierzchni użytkowej budynku domu jednorodzinnego, wybudowanego w technologii ekologicznej/energooszczędnej, ocenianego w stanie surowym zamkniętym, a wpływu izolacyjności cieplnej elementów ogrodzenia (ściany zewnętrzne, podłoga na gruncie, ocieplane pokrycie dachowe), mierzonej za pomocą współczynnika przenikania ciepła, polega na rozwiązaniu zadań funkcji wtórnej trzech zmiennych $K_{pu} = F(U_{sz}, U_{pg}, U_{dach})$.

Rozwiązanie zadań funkcji trzech zmiennych, uzyskane za pomocą metody rotabilnego planowania eksperymentu i funkcji aproksymującej w postaci wielomianu drugiego stopnia $y_{op} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{1,2}x_1x_2 + b_{1,3}x_1x_3 + b_{2,3}x_2x_3 + b_{1,1}x_1^2 + b_{2,2}x_2^2 + b_{3,3}x_3^2$ [4],[5].

Opis i oznaczenie czynników, przedziały ich zmienności i wariancje przedstawiono w tabeli 9. Planowanie i realizacja doświadczeń, określanych zależnością $K_{ks} = F(U_{sz}, U_{pg}, U_{dach})$ - w tabeli 10, w której zamieszczone zostały: macierze planowania i robocza, doświadczone wartości funkcji celowej: średnie y_{op} i wariantowe y_1, y_2 . Funkcja celu to cena kosztorysowa ekologicznego budynku z arborytu w stanie surowym zamkniętym K_{kpu} .

Tabela 9. Kodowanie i przedziały zmienności czynników zależności $K_{pu} = F(U_{sz}, U_{pg}, U_{dach})$

Lp	Czynniki	Poziomy zmienności					Wariancja
		-1.682	-1	0	+1	+1.682	
0	1	2	3	4	5	6	7
1	U_{sz} - izolacyjność cieplna ściany zewnętrznej, W/m^2K , $[x_1]$	0,1159	0,15	0,20	0,25	0,2841	0,05
2	U_{pg} - izolacyjność cieplna podłogi na gruncie, W/m^2K , $[x_2]$	0,08544	0,14	0,22	0,30	0,35456	0,08
3	U_{DACH} - izolacyjność cieplna dachu W/m^2K , $[x_3]$	0,09272	0,12	0,16	0,20	0,21364	0,04

Tabela 10. Planowanie i realizacja doświadczeń zależności $K_{pu} = F(U_{sz}, U_{pg}, U_{dach})$

	Macierze						Dane doświadczeń (wg obliczeń)		
	Planowania			Robocza			Cena 1 m ² p.u.		
\bar{y}	x_1	x_2	x_3	U_{sz}	U_{pg}	U_{dach}	\bar{y}	y_1	y_2
				W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	zł/m ² p.u.	zł/m ² p.u.	zł/m ² p.u.
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	+	+	+	0,25	0,30	0,20	1759	1758	1760
2	+	+	-	0,25	0,30	0,12	1762	1761	1763
3	+	-	+	0,25	0,14	0,20	1566	1565	1567
4	+	-	-	0,25	0,14	0,12	1565	1564	1566
5	-	+	+	0,15	0,30	0,20	1486	1487	1485
6	-	+	-	0,15	0,30	0,12	1485	1486	1484
7	-	-	+	0,15	0,14	0,20	1516	1517	1515
8	-	-	-	0,15	0,14	0,12	1515	1516	1514
9	-1,682	0	0	0,1159	0,22	0,16	1517	1518	1516
10	+1,682	0	0	0,2841	0,22	0,16	1785	1786	1784
11	0	-1,682	0	0,20	0,08544	0,16	1474	1475	1473
12	0	+1,682	0	0,20	0,3546	0,16	1614	1613	1615
13	0	0	-1,682	0,20	0,22	0,09272	1545	1544	1546
14	0	0	+1,682	0,20	0,22	0,22728	1548	1547	1549
15	0	0	0	0,20	0,22	0,16	1549	1550	1548
16	0	0	0	0,20	0,22	0,16	1555	1554	1556
17	0	0	0	0,20	0,22	0,16	1559	1558	1560
18	0	0	0	0,20	0,22	0,16	1562	1561	1563
19	0	0	0	0,20	0,22	0,16	1565	1564	1566
20	0	0	0	0,20	0,22	0,16	1569	1568	1570

Określenie parametrów zależności $y_0 = F(x_1, x_2, x_3)$ i stopnia przydatności wzoru $y_0 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{1,2}x_1x_2 + b_{1,3}x_1x_3 + b_{2,3}x_2x_3 + b_{1,1}x_1^2 + b_{2,2}x_2^2 + b_{3,3}x_3^2$ do aproksymacji danych eksperymentalnych (obliczanych).

Dane wejściowe :

$$x_1 = U_{sz}; x_2 = U_{pg}; x_3 = U_{dach}; Y_0 = K_{p.u.};$$

$$Q_0 = 0,20 \quad w_1 = 0,05$$

$$m_0 = 0,22 \quad w_2 = 0,08$$

$$t_0 = 0,16 \quad w_3 = 0,04.$$

Współczynnik Kochrena wynosi

$$G = 5,000000074505806E-002$$

Stopień swobody mniejszej dyspersji

$$f1 = 1$$

Dyspersja eksperymentu

$$z^2y = 51,36666870117188$$

Średnia kwadratowa pomyłka eksperymentu $zy = 7,167054176330566$.

Dane doświadczalne (obliczane) Y_p , i teoretyczne Y_0 :

Y_p	Y_0	$(Y_p - Y_0)^2$
1759,00000	1742,32068	278,19977

1762,00000	1742,32068	387,27570
1566,00000	1581,50867	240,51875
1565,00000	1581,50867	272,53607
1486,00000	1468,66711	300,42892
1485,00000	1468,66711	266,76315
1516,00000	1532,85510	284,09448
1515,00000	1532,85510	31880469
1517,00000	1514,99487	4,02053
1785,00000	1786,05518	1,11340
1474,00000	1502,84204	831,86334
1614,00000	1584,10291	893,83624
1545,00000	1545,97351	0,94772
1548,00000	1545,97351	4,10666
1549,00000	1557,67969	75,33698
1555,00000	1557,67969	7,18073
1559,00000	1557,67969	1,74323
1562,00000	1557,67969	18,66510
1565,00000	1557,67969	53,58698
1569,00000	155767969	128,14948

 31496,00000 31476,72266 4369,17139

Stopień swobody większej dyspersji $f_2 = 5,00$

Współczynnik Fischera wynosi $F = 173,83$

Współczynnik korelacji wynosi $R = 0,941767$

Wartości gładkości funkcji:

L1	L2	L3
202,462	0,000	65,635
118,769	0,000	-10,044
13,919	0,000	-8,275

Równanie regresji w/g autentycznych zmiennych:

$$Y_{po} = b_0 + b_1 \cdot (Q - Q_0) / w_1 + b_2 \cdot (m - m_0) / w_2 + b_3 \cdot (t_4 - t_0) / w_3 + b_{12} \cdot (Q - Q_0) \cdot (m - m_0) / (w_1 \cdot w_2) + b_{13} \cdot (Q - Q_0) \cdot (t_4 - t_0) / (w_1 \cdot w_3) + b_{23} \cdot (m - m_0) \cdot (t_4 - t_0) / (w_2 \cdot w_3) + b_{11} \cdot ((Q - Q_0) / w_1)^2 + b_{22} \cdot ((m - m_0) / w_2)^2 + b_{33} \cdot ((t_4 - t_0) / w_3)^2$$

Testowane współczynniki regresji o wartościach kodowanych:

$$b = 1557,680$$

$$b_1 = 80,77$$

$$b_2 = 24,56$$

$$b_{12} = 56,250$$

$$b_{11} = 32,818$$

$$b_{22} = -5,022$$

$$b_{33} = -4,13774.$$

Pozostałe współczynniki są wyeliminowane jako nieznaczące

Testowane współczynniki regresji o wartościach autentycznych:

$$b_0 = 2208,596$$

$$b_{01} = -6733,046$$

$$b_{02} = -2165,303$$

$$b_{03} = 827,548$$

$$b_{012} = 14062,500$$

$$b_{011} = 13127,081$$

$$b_{022} = -784,652$$

$$b_{033} = -2586,0884.$$

 * wg programu pr_10

Postać modelu ekonomiko – matematycznego w argumentach kodowanych przedstawiono za pomocą wielomianu drugiego stopnia.

$$\hat{Y} = 2208.596 - 6733.046x_1 - 2165.303x_2 + 827.548x_3 - 14062.5x_1x_2 + 13127.081x_1^2 - 784.652x_2^2 - 2586,0884x_3^2.$$

Postać modelu ekonomiko–matematycznego we współrzędnych autentycznych ilustruje zależność zmiany wartości kosztu jednego metra kwadratowego powierzchni domu jednorodzinego z arborytu, pod wpływem zmiany wartości izolacyjności cieplnej podstawowych jego elementów (ściany zewnętrznej, podłogi na gruncie, dachu) w stanie surowym zamkniętym i przedstawia się następująco:

$$K_{p.u.} = 2208,596 - 6733,046U_{sz} - 2165,303U_{pg} + 827,548U_{dach} - 14062,5U_{sz}U_{pg} + 13127,081U_{sz}^2 - 784,652U_{pg}^2 - 2586,0884U_{dach}^2 \quad (5)$$

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Efektywność budownictwa ekologicznego określa się za pomocą wskaźników i ich grup takich jak: stopień szkodliwości dla zdrowia człowieka, cena rynkowa, cena kosztorysowa, koszt własny, materiało-, i energo-, chłonność, praco-, i maszynochłonność, energooszczędność i in.

2. Wychodząc z założenia, potwierdzonego praktyką zawodową, opracowane modele (2) i (3), zarówno, jak i inne stosowane, stanowią niezawodne narzędzia, niezbędne w sprawie modelowania, optymalizacji i podjęcia decyzji realizacyjnych w nowoczesnym budownictwie ekologicznym. Oparte na wzbogaconej współczesnej wiedzy, modelowanie jednoczynnikowych powiązań natury fizyko-mechanicznej, ciepłno-fizycznej ekonomiko - organizacyjnej w procesie projektowania i wznoszenia ekologicznych i energooszczędnych budynków przedstawione zostało w postaci modeli funkcji $\lambda = f(\rho)$ w budynkach z arborytu

$$\lambda = \frac{\rho}{5149,8862 - 0,1908\rho} \quad (2) \qquad \lambda = \frac{\rho}{5306,1221 + 0,7552\rho} \quad (3)$$

Wzór jest nie tylko najlepszym sposobem prezentowania funkcji celowej, lecz i jej optymalizacji.

3. Określono wpływ izolacyjności cieplnej elementów budynku w stanie surowym zamkniętym na wartość ceny kosztorysowej. Rozwiązanie zadań funkcji odpowiedzi czterech zmiennych $K_{ks} = F(U_{sz}, U_{pg}, U_{dach}, U_{ok})$, uzyskane za pomocą metody pełnego eksperymentu czynnikiem i funkcji aproksymującej w postaci wielomianu pierwszego stopnia $y_{po} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$, jest możliwe za pomocą modelu ekonomiko-matematycznego (4). Kryteria oceny przydatności wzoru ekonomiko-matematycznego zostały spełnione.

Stwierdzono następującą prawidłowość: zmniejszenie kosztu budowy domu z arborytu przy zwiększających się wartościach współczynnika izolacyjności cieplnej przegrody zewnętrznej budynku (ścian zewnętrznych, podłogi na gruncie, dachu, okien).

Udział wartości współczynnika przenikania ciepła poszczególnych elementów przegrody zewnętrznej w procesie kształtowania ceny budynku następujący: $U_{dach} > U_{pg} > U_{sz} > U_{ok} = 279 > 45 > 44 > 2$.

4. Określono wpływ izolacyjności cieplnej elementów budynku w stanie surowym zamkniętym na wartość ceny kosztorysowej powierzchni użytkowej. Rozwiązanie zadań funkcji odpowiedzi trzech zmiennych $K_{pu} = F(U_{sz}, U_{pg}, U_{dach})$, uzyskane za pomocą metody rotabilnego planowania eksperymentu i funkcji aproksymującej w postaci wielomianu drugiego stopnia $y_{op} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{1,2}x_1x_2 + b_{1,3}x_1x_3 + b_{2,3}x_2x_3 + b_{1,1}x_1^2 + b_{2,2}x_2^2 + b_{3,3}x_3^2$ jest możliwe za pomocą modelu ekonomiko-matematycznego (5). Kryteria oceny przydatności wzoru ekonomiko-matematycznego zostały spełnione.

5. Przedstawiono wygodny sposób i modele matematyczne, przydatne w korzystaniu jako źródło i instrument w celach naukowo-badawczych, programach dydaktycznych i pracach studenckich.

6. Wspomaganie programowe procesu modelowania ekonomiko-matematycznego wspierano za pomocą programów komputerowych „fun. 1_a”, „pr 10. 1”, „pr 15” ,

*autor prof. zw. dr hab. inż. Tadeusz Bobko

Literatura

[1] Rybjev I.A.: Badania prawidłowości w strukturze i właściwościach arborytu. Izwestia wuzów. Budownictwo i architektura, 1999, nr 2.

[2] Bobko T.: Ocena rozwiązań ekologicznych technologii budowlanych. W: Tradycyjne i współczesne budownictwo drewniane. M. Rajczyk, J. Rajczyk, T. Bobko, N. Kazuar. Częstochowa: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej 2008. ISBN 978-83-7193-414-8.

[3] Bobko T.: Ekologiczne budownictwo z arborytu. W: Tradycyjne i współczesne budownictwo drewniane. M. Rajczyk, J. Rajczyk, T. Bobko, N. Kazuar. Częstochowa: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej 2008. ISBN 978-83-7193-414-8.

[4] Bobko T.: Optymalizacja potencjału energetycznego tężenia mieszanki w aspekcie zapewnienia wymaganej mrozoodporności betonu i elementów konstrukcyjnych. Wyniki badań. Podstawy modelowania i prognozowania. Monografia Nr 47. Częstochowa: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 1997, s. 243. ISBN 83-85031-95-2, ISSN 0860-5017.

[5] Адлер Ю. П.: Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва 1976. с. 277.

MODELING OF EFFICIENCY OF ECOLOGICAL CONSTRUCTION FROM ARBORYTU

SUMMARY

It present concept of management efficiency energy economical / ecological construction houses with (from) arboryt at help modeling economical – mathematical

KEYWORDS:

management, efficiency, model economical – mathematical, ecological technologies, energy austerity, houses with (from) arboryt.