



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

KOLEKTORY SŁONECZNE W BUDOWNICTWIE JEDNORODZINNYM – METODA F-CHART OCENY EFEKTYWNOŚCI INSTALACJI

Jan Wajs

Blanka Jakubowska

Katedra Energetyki i Aparatury Przemysłowej

Politechnika Gdańska

Plan prezentacji

1. Wprowadzenie do tematyki.
2. Algorytm obliczeń cieplnych.
3. Metoda $f - \text{chart}$.
4. Charakterystyka obiektu przyjętego do analizy.
5. Wyniki obliczeń dla metody $f - \text{chart}$.
6. Ocena efektywności ekonomicznej.
7. Podsumowanie.

- Zastosowanie energii promieniowania słonecznego
 - Ocena możliwości pokrycia potrzeb cieplnych energią promieniowania słonecznego
 - Wskaźnik udziału energii promieniowania słonecznego w zaspokajaniu całkowitych potrzeb cieplnych
 - Metody korelacyjne w energetyce słonecznej
- Podstawa metod: korelacje przedstawione w formie funkcyjnej zależności między bezwymiarowymi zmiennymi charakteryzującymi urządzenie oraz warunki eksploatacji

Algorytm obliczeniowy

- Gęstość strumienia padającego na powierzchnię pochyloną pod kątem β

$$G_{\beta} = G_b \cdot R_b + G_d \cdot R_d + (G_d + G_b) \rho_o \cdot R_o$$

gdzie:

G_b - gęstość promieniowania bezpośredniego,

G_d - gęstość promieniowania dyfuzyjnego,

ρ_o - *refleksyjność podłoża*,

R_d - współczynnik korekcji promieniowania dyfuzyjnego,

R_b - współczynnik korekcji promieniowania bezpośredniego,

R_o - współczynnik promieniowania odbitego.

- Deklinacja słoneczna,
- Cosinus kąta padania promieniowania bezpośredniego na powierzchnię pochyloną oraz powierzchnię poziomą,
- Szacowanie średniej wartości nasłonecznienia,

Algorytm obliczeniowy

- **Promieniowanie pochłonięte przez płytę absorbera**

$$S = G_b \cdot R_b \cdot (\tau\alpha)\theta_\beta + [G_d \cdot R_d + (G_d + G_b)\rho_o \cdot R_o \cdot (\tau\alpha)_{60^\circ}]$$

gdzie:

$(\tau\alpha)\theta_\beta$ i $(\tau\alpha)_{60^\circ}$ - współczynniki transmisyjno – absorpcyjne dla składowej dyfuzyjnej promieniowania.

- Kąt załamania,
- Współczynniki odbicia od granicy faza szkło – powietrze dla składowej prostopadłej i równoległej,
- Transmisyjność całkowita,
- Transmisyjność osłony kolektora dla danego kąta padania.

Algorytm obliczeniowy

- Łączny współczynnik strat ciepła:
- Współczynnik strat ciepła przez powierzchnię frontową

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{h_{c1} + h_{r1}} + \frac{1}{h_{c2} + h_{r2}}}$$

- h_{r1}, h_{r2} - zastępcze współczynniki przejmowania ciepła przez promieniowanie między absorberem i szybą oraz szybą i nieboskłonem,
- h_{c1} - zastępczy współczynnik przejmowania ciepła dla konwekcji swobodnej,
- h_{c2} - zastępczy współczynnik strat konwekcyjnych do otoczenia.

- Współczynnik strat ciepła przez dno kolektora

$$U_d = \frac{\lambda_d}{d_d}$$

gdzie:

λ_d – przewodność cieplna izolacji,

d_d - grubość izolacji.

Algorytm obliczeniowy

- **Strumień energii użytecznej odbierany przez czynnik przepływający kanałami kolektora**

$$\dot{Q}_u = A_p \cdot F_r [S - U_L (T_{w1} - T_a)]$$

gdzie:

A_p – pole powierzchni czynnej kolektora słonecznego,

F_r – współczynnik odprowadzania ciepła,

T_{w1} – temperatura czynnika roboczego na wlocie do kolektora,

T_a – temperatura otoczenia.

- Współczynnik przejmowania ciepła przez czynnik roboczy,
- Efektywność absorbera,
- Objętość zasobnika magazynującego,
- Dobowe zapotrzebowanie na energię do przygotowania c.w.u.

Algorytm obliczeniowy

- **Średnie dzienne nasłonecznienie w płaszczyźnie kolektora**

$$\overline{H}_\beta = \overline{H}_b \cdot \overline{R}_b + \overline{H}_d \cdot R_d$$

gdzie:

$\overline{H}_b$ – średnie bezpośrednie nasłonecznienie dla danego miesiąca,

$\overline{H}_d$ – średnie dyfuzyjne nasłonecznienie dla danego miesiąca,

$\overline{R}_b$ – średnia miesięczna wartość współczynnika korekcyjnego dla promieniowania bezpośredniego,

R_d – wartość współczynnika korekcyjnego dla promieniowania rozproszonego.

- **Współczynnik korekcyjny zbiornika magazynującego**

$$\psi_x = \left(\frac{V_{zas} / A_{rz}}{75} \right)^{-0,25}$$

Gdzie:

V_{zas} – objętość zbiornika magazynującego,

A_{rz} – całkowita powierzchnia kolektorów słonecznych.

Algorytm obliczeniowy

- Funkcja korelacyjna

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3$$

- Wielkości korelowane (zmiennne niezależne)

$$X = \frac{\text{referencyjne straty ciepła z kolektorów słonecznych do otoczenia}}{\text{całkowite zapotrzebowanie energii na przygotowanie CWU}}$$

$$X = \Psi_x \frac{86400 A_{rz} \overline{F_r U_L} (11,6 + 1,18 t_s + 3,86 t_z - 2,23 t_a)}{m c_w (t_s - t_z) N}$$

$$Y = \frac{\text{energia promieniowania słonecznego pochłoniętego w kolektorach}}{\text{całkowite zapotrzebowanie energii na przygotowanie CWU}}$$

$$Y = \frac{A_{rz} \overline{F_r (\tau \alpha)} \overline{H_\beta}}{m c_w (t_s - t_z) N}$$

Algorytm obliczeniowy

- Ilość energii słonecznej oraz konwencjonalnej wykorzystywanej w celu przygotowania ciepłej wody użytkowej

$$Q_{slon} = f \cdot N \cdot m \cdot c_w \cdot (t_s - t_z)$$

$$Q_{konw} = (1 - f) \cdot N \cdot m \cdot c_w \cdot (t_s - t_z)$$

- Średnia miesięczna sprawność instalacji

$$\eta = \frac{f \cdot N \cdot m \cdot c_w \cdot (t_s - t_z)}{A_{rz} \cdot \overline{H_\beta} \cdot N}$$

gdzie:

N – liczba dni w miesiącu,

m – zużycie ciepłej wody użytkowej

Charakterystyka obiektu przyjętego do analizy

- Lokalizacja budynku - Włocławek
- Powierzchnia domu – 98 m^2
- Ilość pomieszczeń – 3 pokoje, kuchnia i łazienka
- Liczba osób – 3
- Średnie dzienne zużycie wody – $225\frac{\text{l}}{\text{dzień}}$
- Instalacja konwencjonalna – kocioł gazowy
- Ściana frontowa budynku skierowana w kierunku północno – wschodnim

Tabela.1. Dane wejściowe dla metody f – chart

Temperatura zimnej wody	t_z [°C]	13
Temperatura ciepłej wody	t_s [°C]	55
Objętość zasobnika	V_{zas} [m ³]	290
Powierzchnia jednego kolektora	A_p [m ²]	2,23
Całkowita powierzchnia kolektorów	A_{tz} [m ²]	6,69
Średnie nasłonecznienie bezpośrednie	H_b [kJ/m ² dzień]	3187,8
Średnie nasłonecznienie dyfuzyjne	H_d [kJ/m ² dzień]	4402,2
Iloczyn współczynnika odprowadzania ciepła i zastępczego współczynnika strat ciepła	FrU_L [W/m ² K]	3,63
Iloczyn współczynnika odprowadzania ciepła i współczynnika transmisyjno – absorpcyjnego	$Fr(\tau\alpha)$	0,73
Średni współczynnik korekcyjny promieniowania bezpośredniego	R_b	1,74
Współczynnik korekcyjny promieniowania dyfuzyjnego	R_d	0,883
Zużycie c.w.u.	m [l/dzień]	225

Tabela 2. Wyniki obliczeń dla metody f – chart dla marca

Miesięczne nasłonecznienie w płaszczyźnie kolektora	H_β [kJ/m ² dzień]	9424,92
Współczynnik korekcyjny objętości zasobnika	Ψ_x	1,147
Wielkości korelowane	X	0,25
	Y	1,17
Funkcja korelacyjna	f	0,886
Energia słoneczna	$Q_{s\text{łon}}$ [MJ]	1052,4
Energia ze źródła konwencjonalnego	Q_{konw} [MJ]	135,5
Sprawność instalacji	η	0,556

Tabela 3. Zestawienie miesięczne efektów pracy instalacji solarnej z płaskimi kolektorami słonecznymi typu Logasol SKN 3.0

Miesiąc	H_{β}	Q	$Q_{\text{słon}}$	$\frac{Q_{\text{słon}}}{Q}$	Q_{konw}	$\frac{Q_{\text{konw}}}{Q}$	η
	[kJ/m ² dzień]	[MJ]	[MJ]	[%]	[MJ]	[%]	[%]
Styczeń	3179,88	1187,9	411,0	34,6	776,9	65,4	64,4
Luty	6129,88		746,0	62,8	441,9	37,2	60,6
Marzec	9424,92		1052,4	88,6	135,5	11,4	55,6
Kwiecień	13548,15		1187,9	100	0	0	43,7
Maj	17369,36		1187,9	100	0	0	34,1
Czerwiec	17595,52		1187,9	100	0	0	33,6
Lipiec	17052,51		1187,9	100	0	0	34,7
Sierpień	15872,18		1187,9	100	0	0	37,3
Wrzesień	11663,61		1187,9	100	0	0	50,7
Październik	7854,24		918,2	77,3	269,7	22,7	58,7
Listopad	3871,53		497,7	41,9	308,9	58,1	64,1
Grudzień	2355,25		306,4	25,8	881,5	74,2	64,8

Uproszczona analiza ekonomiczna

$$SPBT = \frac{K_i}{WRK}$$

gdzie:

K_i – poniesione koszty inwestycyjne,

WRK – wartość rocznych korzyści finansowych z zaoszczędzonej energii,

K_e – koszt jednostki energii.

Tabela 5. Wyniki uproszczonej analizy ekonomicznej

K_e [zł/GJ]	62
WRK [zł/rok]	685
$SPBT$ [lat]	26

Tabela 4. Koszt zestawu solarnego z płaskimi kolektorami słonecznymi typu Logasol SKN 3.0

Lp	Nazwa	Ilość	Cena [zł]	Suma [zł]
1	Kolektor słoneczny Logasol SKN 3.0	3	3 307	9 921
2	Podstawowy zestaw połączeń do jednego rzędu kolektorów	1	367	367
3	Zestaw podstawowy do montażu pierwszego w rzędzie kolektora	1	360	360
4	Zestaw rozszerzający do montażu kolejnych kolektorów	2	332	664
5	Zestaw do zamocowania zestawów podstawowych i rozszerzających do dachu – dachówka	3	205	615
6	Naczynie wzbiorcze – Flexcon solar 18 dm ³	1	235	235
7	Solarfluid – płyn do napełniania instalacji słonecznej, woda – glikol 50/50% 20 dm ³	1	362	362
8	Stacja regulacyjna pracy instalacji słonecznej ze zintegrowanym regulatorem solarnym Logmatic SC20 KS0105 SC20	1	2 843	2 842
9	Zasobnik biwalentny – Logalux SM 400	1	6 641	6 641
RZAEM				17 714

Podsumowanie

- Średnia roczna sprawność instalacji z płaskimi kolektorami
 $\eta=54,1\%$
 $f \geq 1$ długotrwałe przekroczenie wartości granicznej dla instalacji z kolektorami płaskimi – możliwy problem z nadwyżką pozyskanej energii słonecznej
- Okres zwrotu nakładów inwestycyjnych
SPBT $\approx$ 26lat bez uwzględnienia ewentualnego dofinansowania.
- Na opłacalność inwestycji wpływa:
 - ilość zużywanej wody,
 - sprawność instalacji,
 - rodzaj nośnika energii konwencjonalnej,
 - koszt kompletnego zestawu solarnego,
 - średnie nasłonecznienie w roku w miejscu montażu kolektorów.