

5.7. WPLYW ZASTOSOWANIA OGRZEWAŃ NISKO- TEMPERATUROWYCH NA EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ DYSTRYBUCJI CZYNNIKA*

Zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków wynika ze zwiększenia się izolacyjności cieplnej przegród budowlanych, która wzrosła znacząco w ciągu ostatnich pięćdziesięciu lat. Najpierw poprawiono izolacyjność cieplną przegród nieprzezroczystych, a ostatnio szczególnie duży postęp miał miejsce w zakresie ograniczania strat ciepła przez okna. O ile w latach osiemdziesiątych nastąpiła poprawa izolacyjności samych szyb okiennych, to w latach dziewięćdziesiątych skoncentrowano się na zwiększeniu izolacyjności ram okiennych. Obecnie współczynnik przenikania ciepła U dla układu szyb osiąga często wartość poniżej $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, co daje współczynnik U dla całego okna poniżej $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (Feustel 1998).

W związku z malejącymi stratami ciepła, obniżeniu może ulec wielkość powierzchni grzejnych lub ich temperatura. Ta ostatnia możliwość doprowadziła do powstania ogrzewań niskotemperaturowych. Pracują one przy obliczeniowej temperaturze zasilania czynnika grzejnego bliskiej temperaturze powietrza wewnętrznego, najczęściej w zakresie $+25$ do $+55 \text{ }^\circ\text{C}$. Feustel (1998) przedstawił nawet studium na temat systemu wodnego o stałej temperaturze wody wynoszącej $22 \text{ }^\circ\text{C}$. System ten ma w zależności od bieżących potrzeb ogrzewać lub ochładzać budynek.

Tradycyjnie w ogrzewaniach grzejnikowych obliczeniowa temperatura zasilania wynosiła najczęściej $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Obecnie zazwyczaj projektanci przyjmują temperaturę zasilania w zakresie 70 – $75 \text{ }^\circ\text{C}$. W systemach niskotemperaturowych nie przekracza ona najczęściej $55 \text{ }^\circ\text{C}$. Podział systemów ogrzewania ze względu na temperaturę czynnika grzejnego jest sprawą umowną i zmienia się w czasie. Przykładowo w tabeli 1 przytoczono szczegółową systematykę przyjętą przez Annex 37 Międzynarodowej Agencji Energii (Eijdemans *et al.* 2000).

Niższa temperatura powierzchni grzejnych ułatwia tworzenie warunków komfortu cieplnego i zapewnienie odpowiedniej jakości powietrza wewnętrznego (Eijdemans *et al.* 2000, Strzeszewski 2002b).

Tab. 5.9. Podział systemów ogrzewania w zależności od temperatury czynnika

Rodzaj systemu		Temperatura zasilania	Temperatura powrotu
Klasyfikacja ogólna	Klasyfikacja szczegółowa ¹⁾		
tradycyjny	wysokotemperaturowy	$90 \text{ }^\circ\text{C}$	$70 \text{ }^\circ\text{C}$
niskotemperaturowy	średniotemperaturowy	$55 \text{ }^\circ\text{C}$	$35 \div 45 \text{ }^\circ\text{C}$
	niskotemperaturowy	$45 \text{ }^\circ\text{C}$	$25 \div 35 \text{ }^\circ\text{C}$
	bardzo niskotemperaturowy	$35 \text{ }^\circ\text{C}$	$25 \text{ }^\circ\text{C}$

¹⁾ Eijdemans *et al.* 2000.

Kolejną zaletą ogrzewań niskotemperaturowych jest często wyższa efektywność energetyczna wytwarzania i dystrybucji ciepła. Nowoczesne źródła ciepła, takie jak gazowe kotły kondensacyjne, pompy ciepła, kolektory słoneczne czy źródła geotermalne, charakteryzują się wyższą sprawnością (efektywnością) energetyczną, jeśli wytwarzają ciepło o niższej temperaturze (Rubik 2000). W tym przypadku również transportowe straty ciepła od przewodów są zazwyczaj niższe i większa część ciepła dociera do odpowiednich pomieszczeń.

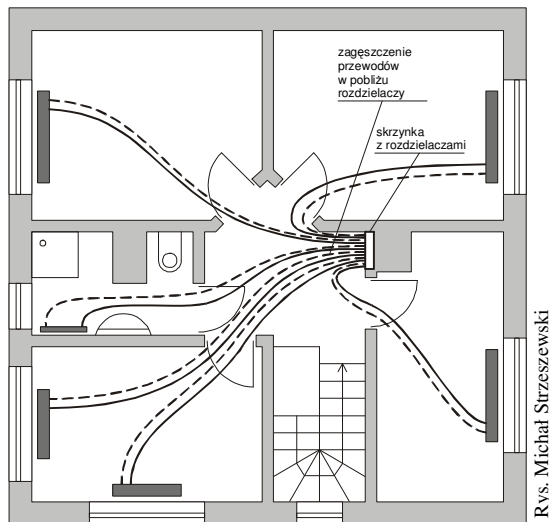
Dystrybucja czynnika

W czasie ostatnich piętnastu lat rozpowszechniły się w Polsce w nowych budynkach

* autor: **Michał Strzeszewski**

Politechnika Warszawska, Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji
redakcja: Cezary Kolasa

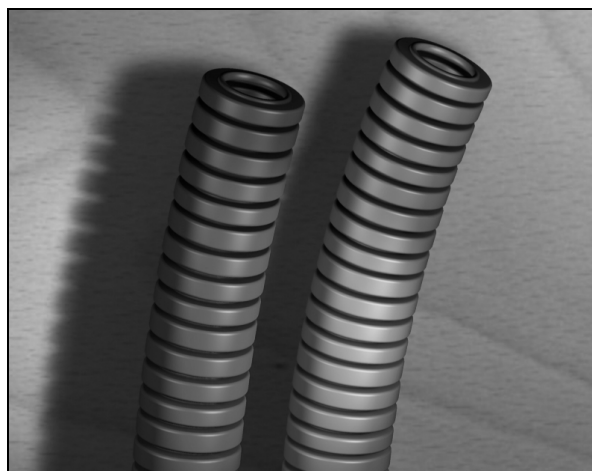
instalacje centralnego ogrzewania, charakteryzujące się poziomym rozprawdzeniem czynnika w obrębie kondygnacji (rys. 5.46). W tym przypadku przewody prowadzone są najczęściej w podłodze. Rury układa się albo w otulinie izolacyjnej, albo w rurze osłonowej typu peszel (rys. 5.47) – jest to tzw. system „rura w rurze”. Stosunkowo rzadko rury są okładane bezpośrednio w betonie.



Rys. 5.46.

Przykład instalacji o poziomym rozprawdzeniu czynnika grzejmego w układzie rozdzielaczowym

W Polsce wciąż dominuje stosowanie peszla, z uwagi na kilkakrotnie niższą cenę w stosunku do otulin izolacyjnych. Jednak rura osłonowa nie zapewnia wystarczającej izolacyjności. W związku z tym mogą występować znaczne straty ciepła od przewodów prowadzonych w peszlu. Wielkość strat ciepła zależy przede wszystkim od rodzaju izolacji oraz różnicy temperatury czynnika i temperatury w pomieszczeniu.



Rys.5.47.

Rury osłonowe typu peszel

Efektywność zysków ciepła

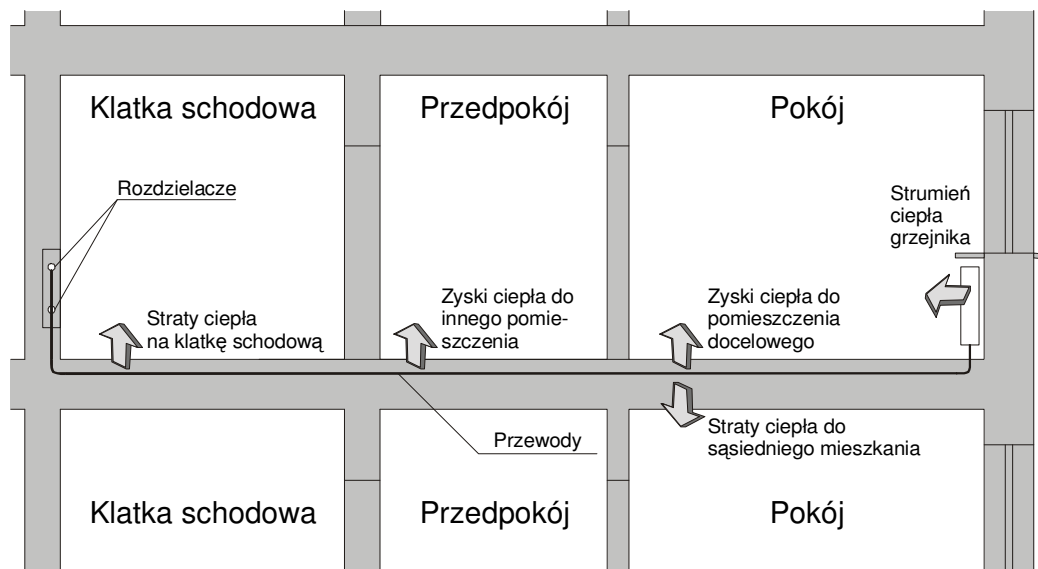
Należy zwrócić uwagę na to, że zazwyczaj przewody częściowo zlokalizowane są poza obszarem docelowego pomieszczenia, np. w przedpokoju, lub wręcz poza mieszkaniem, np. na klatce schodowej. Dlatego niebezpiecznie jest przyjmować, a tak czasami projektanci postępują, że straty ciepła od przewodów „nie mają większego znaczenia cieplnego”, ponieważ całe ciepło tracone przez przewód i tak dostarczane jest do pomieszczeń. Zgadza się, ciepło będzie dostarczane, ale niekoniecznie do odpowiedniego pomieszczenia. W tej sytuacji niektóre grzejniki mogą mieć zbyt niską moc z powodu nieuwzględnienia (lub niedoszacowania) w projekcie schłodzenia wody zasilającej. Z kolei inne pomieszczenia, tam gdzie nagromadzona jest duża ilość przewodów (zwłaszcza przedpokoje i klatki schodowe) mogą być przegrzewane w wyniku zysków ciepła od przewodów (Nowak 2004, Strzeszewski 2004b). Niektóre potencjalne straty ciepła przewodu prowadzonego w podłodze przedstawiono na rys. 5.48.

Inne niebezpieczne zjawiska, które mogą potencjalnie wystąpić, w przypadku prowadzenia przewodów centralnego ogrzewania w podłodze to:

1. przekroczenie dopuszczalnej temperatury podłogi (29–35 °C),
2. niższa temperatura czynnika dopływającego do grzejnika niż założona w projekcie,
3. „krótkie spięcie” pomiędzy przewodem zasilającym i powrotnym – ciepło może przepływać pomiędzy przewodami z pominięciem pomieszczenia.

Opis badanego systemu

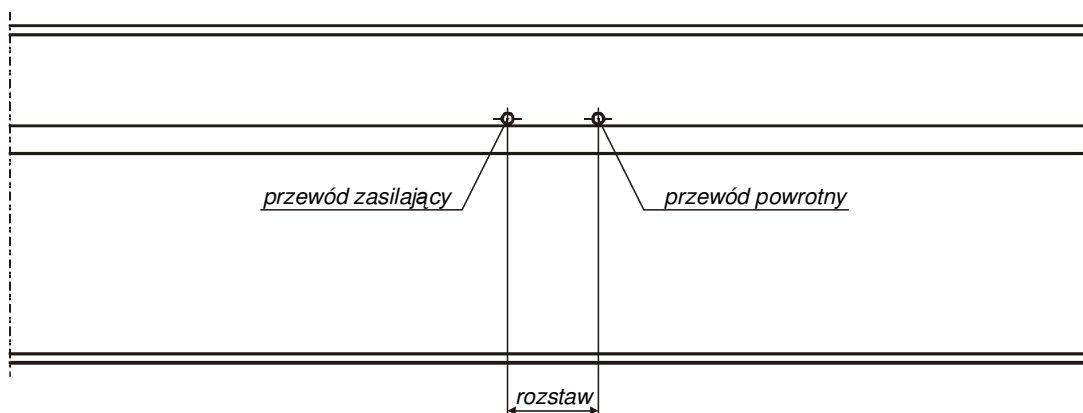
Instalacja badawcza została wykonana w Gmachu Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Konstrukcja podłogi została przedstawiona na rys. 5.49 i w tabeli 5.10. Przewody z polietylenu 12,0x1,8 mm charakteryzowały się współczynnikiem przewodzenia ciepła 0,46 W/(m·K). Przewody miały długość 6 m każdy.



Rys. 5.48.

Niektóre potencjalne straty ciepła przewodów prowadzonych w podłodze.

Przekrój pionowy przez budynek



Rys. 5.49.
Przekrój przez podłogę

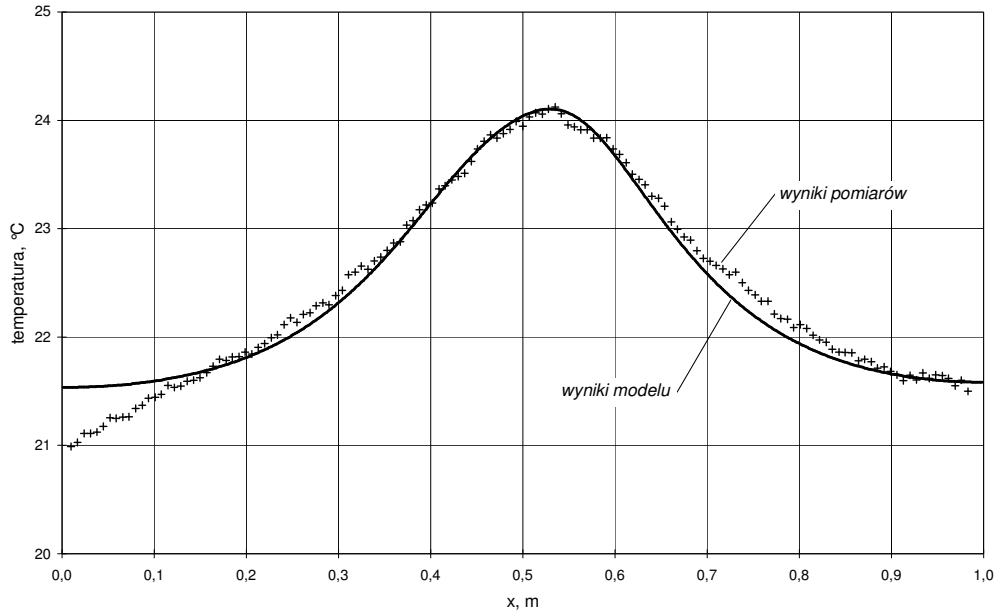
Tab. 5.10. Konstrukcja podłogi

Lp	Warstwa	Grubość, m	Współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K)	Opór cieplny, m ² ·K/W
1	Terakota	0,010	1,05	0,010
2	Beton	0,100	1,00	0,100
3	Styropian	0,030	0,040	0,750
4	Warstwa konstrukcyjna	0,220	–	0,180
5	Tynk	0,010	0,820	0,012

Weryfikacja empiryczna modelu numerycznego

Model numeryczny wymiany ciepła dla przewodów prowadzonych w podłodze został zweryfikowany doświadczalnie (Strzeszewski 2002c, 2003). Przykład rozkładu temperatury – zmierzonego i uzyskanego z modelu – przedstawiono na rys. 5.50. Profile charakteryzuje wysoka zgodność. Jedynie w skrajnym zakresie ($x = 0 \div 10$ cm) zmierzono niższą temperaturę od wyników modelu. Wynikało to z chłodzącego oddziaływania ściany, co nie zostało uwzględnione w modelu.

Zweryfikowany doświadczalnie model został wykorzystany do analizy wpływu różnicy temperatury i typu izolacji na warunki wymiany ciepła.



Rys. 5.50.

Rozkład temperatury na powierzchni podłogi. Porównanie wyników pomiarów z wynikami obliczeń modelu numerycznego

Wpływ różnicy temperatury na wymianę ciepła

Przeanalizowano wpływ średniej arytmetycznej różnicy temperatury na warunki wymiany ciepła:

$$\Delta t_{ar} = \frac{(t_z + t_p)}{2} - t_i \quad (5.21)$$

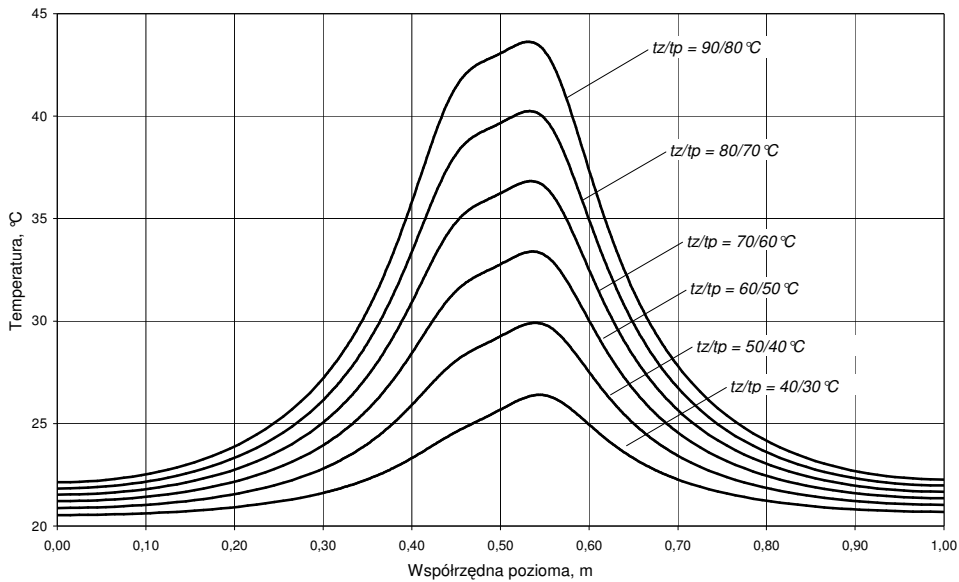
Analizę przeprowadzono dla różnicy temperatury wody pomiędzy przewodem zasilającym i powrotnym 10 K i 20 K. Prędkość wody wynosiła 0,075 m/s, a rozstaw przewodów 10 cm. Przewody nie były izolowane cieplnie.

Oznaczenia na rysunkach:

- Δt_{ar} – średnia arytmetyczna różnica temperatury, K,
- t_z – temperatura zasilania, °C;
- t_p – temperatura powrotu, °C;
- t_i – temperatura wewnętrzna, °C.
- $q.g.$ – liniowa gęstość strumienia ciepła, przepływającego do pomieszczenia nad podłogą, W/m,
- $q.d.$ – liniowa gęstość strumienia ciepła, przepływającego do pomieszczenia pod podłogą, W/m,
- $q.sum.$ – liniowa gęstość całkowitego strumienia ciepła, przepływającego do pomieszczeń nad i pod podłogą, W/m,
- $q.r.z.$ – liniowa gęstość strat ciepła od przewodu zasilającego, W/m,
- $q.r.p.$ – liniowa gęstość strat ciepła od przewodu powrotnego, W/m,
- $q.k.s.$ – liniowa gęstość „krótkiego spięcia”, W/m.

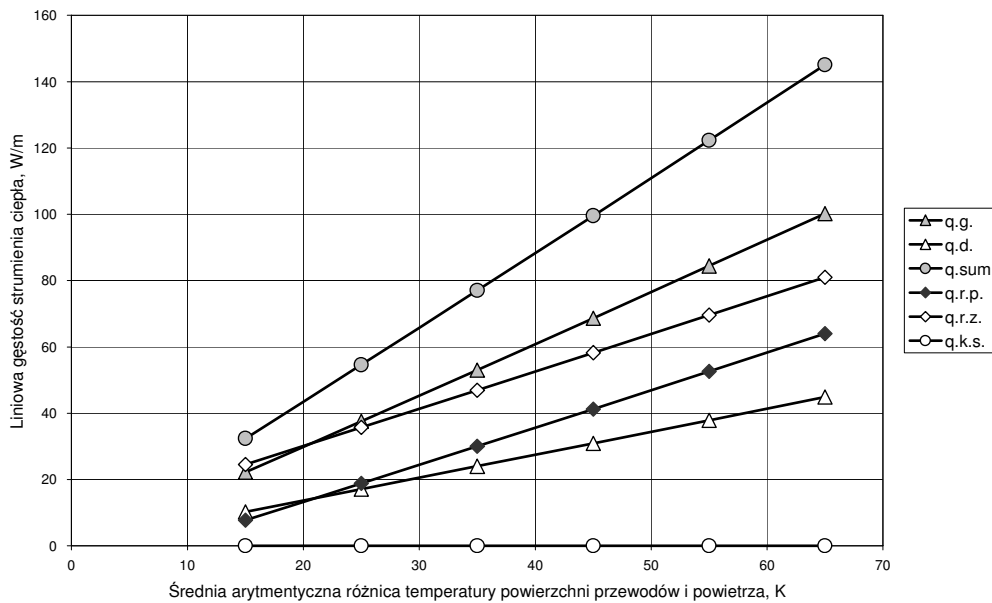
Różnica temperatury $t_z - t_p$ 10 K

Rozkłady temperatury na powierzchni podłogi, dla różnicy temperatury $t_z - t_p$ 10 K, dla różnych temperatur czynnika pokazano na rys. 5.51. Strumienie ciepła pokazano na rys. 5.52.



Rys. 5.51.

Rozkłady temperatury na powierzchni podłogi dla różnych temperatur czynnika.
Różnica temperatury $t_z - t_p$ 10 K

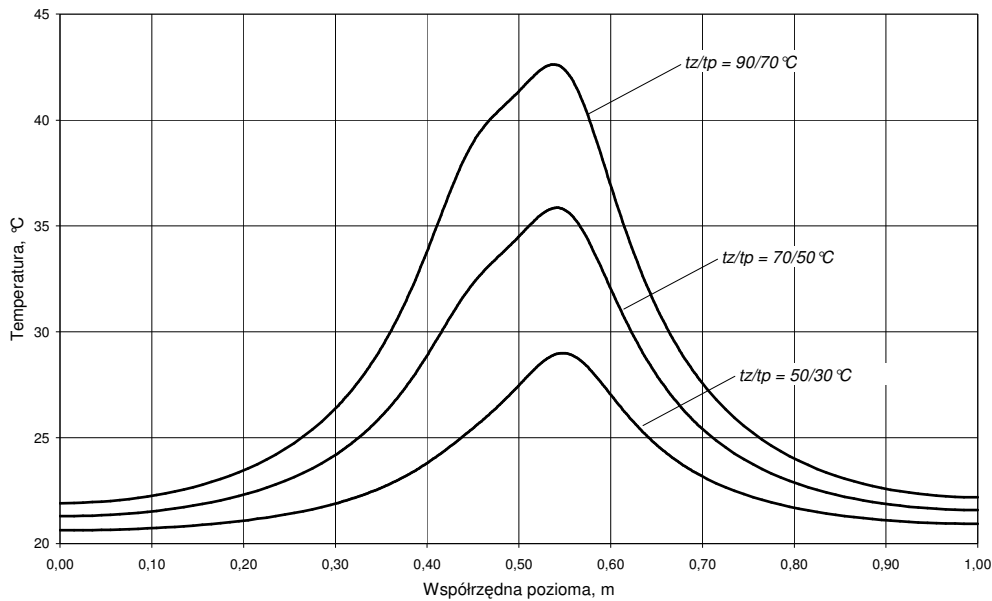


Rys. 5.52.

Wpływ średniej arytmetycznej różnicy temperatury na strumienie ciepła.
Różnica temperatury $t_z - t_p$ 10 K

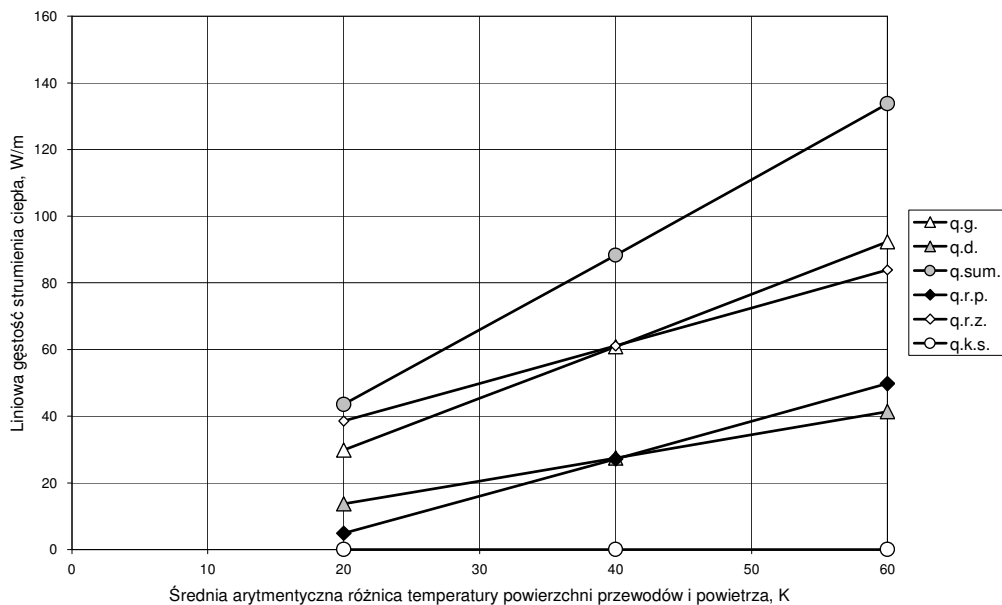
Różnica temperatury $t_z - t_p$ 20 K

Rozkłady temperatury na powierzchni podłogi, dla różnicy temperatury $t_z - t_p$ 20 K, dla różnych temperatur czynnika pokazano na rys.5.53. Strumienie ciepła pokazano na rys. 5.54.



Rys. 5.53.

Rozkłady temperatury na powierzchni podłogi dla różnych temperatur czynnika.
Różnica temperatury $t_z - t_p$ 20 K



Rys. 5.54.

Wpływ średniej arytmetycznej różnicy temperatury na strumienie ciepła.
Różnica temperatury $t_z - t_p$ 20 K

Analiza powyższych wykresów wskazuje, że straty ciepła od przewodów mogą być znacząco niższe w przypadku temperatury czynnika, typowej dla ogrzewań niskotemperaturowych w porównaniu z systemami wysokotemperaturowymi. Jednocześnie zminimalizowane staje się ryzyko przekroczenia dopuszczalnej temperatury powierzchni podłogi.

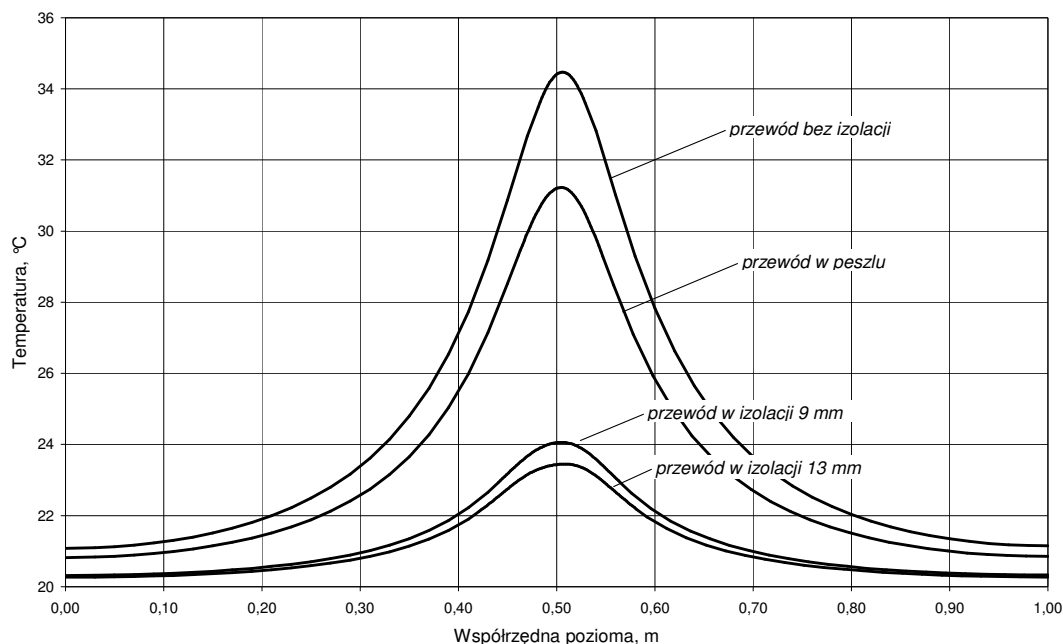
Wpływ izolacji na wymianę ciepła

W dalszej analizie przyjęto grubość warstwy betonu 5,7 cm, temperaturę wody 70/50 °C oraz prędkość wody 0,2 m/s. Uwzględniono cztery warianty izolacji:

1. rury nieizolowane,
2. rury w rurze osłonowej typu peszel (system „rura w rurze”),
3. rury w otulinie izolacyjnej z pianki polietylenowej o grubość 9 mm,
4. rury w otulinie izolacyjnej z pianki polietylenowej o grubość 13 mm.

Współczynnik przewodzenia ciepła otuliny izolacyjnej wyniósł 0,037 W/(m·K). Odległość pomiędzy zewnętrznymi powierzchniami przewodów lub otulin izolacyjnych przyjęto 3 mm.

Zastosowanie otuliny izolacyjnej spowodowało znaczne zredukowanie strat ciepła w stosunku do przewodu nieizolowanego. Dla izolacji o grubości 9 mm stopień redukcji wyniósł 76%. Otulina o grubość 13 mm umożliwiła jeszcze większą redukcję strat ciepła – o 80% w odniesieniu do przewodu niezaizolowanego. Zastosowanie izolacji zapobiegło również przekroczeniu dopuszczalnej temperatury podłogi (dla większość przypadków 29°C). Np. dla izolacji o grubości 9 mm maksymalna temperatura powierzchni podłogi wyniosła 24,1°C.

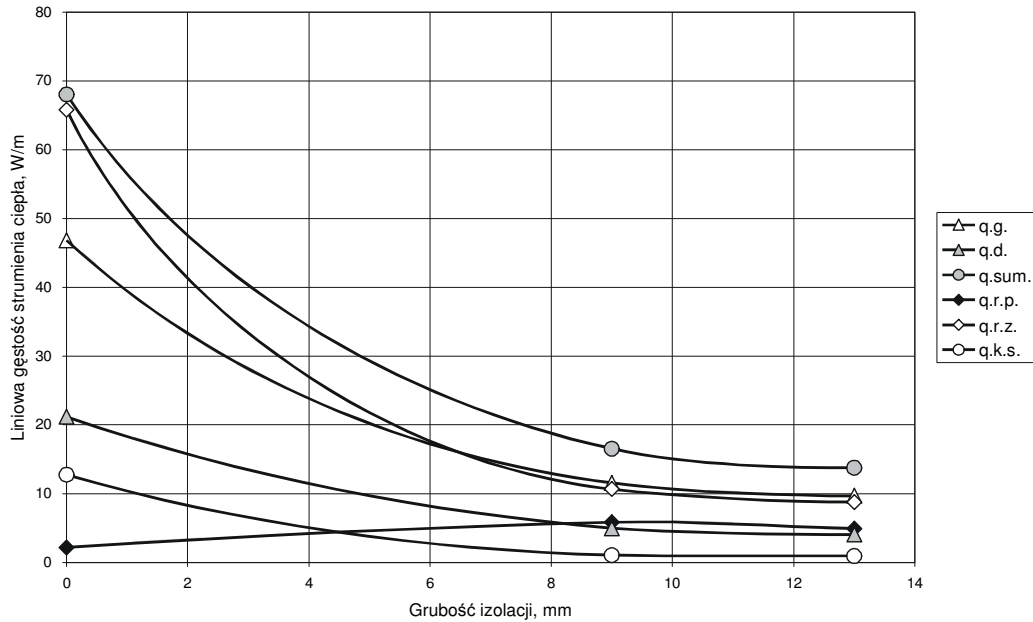


Rys. 5.55.

Rozkłady temperatury na powierzchni podłogi dla różnych typów izolacji.

Natomiast jak wynika z rysunku 5.56, system „rura w rurze” nie powoduje zmniejszenia strat ciepła w takim stopniu, jak otuliny izolacyjne. Dlatego w celu uzyskania wysokiej efektywności energetycznej dystrybucji czynnika, wskazane jest stosowanie otulin izolacyjnych. System „rura w rurze” można natomiast dopuszczać w uzasadnionych

przypadkach, tam gdzie zyski ciepła od przewodów mogą być użytecznie zagospodarowane. Instalacja tego typu staje się ogrzewaniem grzejnikowo-podłogowym (Strzeszewski 2002a). W związku z tym w czasie projektowania i wykonywania tych systemów należy spełnić wymagania stawiane ogrzewaniom podłogowym, zwłaszcza dotyczące materiałów podłogowych oraz izolacji pod rurami.



Rys. 5.56.
Wpływ rodzaju izolacji na strumień ciepła

Wnioski

Zastosowanie ogrzewań niskotemperaturowych ułatwia uzyskanie wyższej efektywności energetycznej dystrybucji czynnika poprzez ograniczenie strat ciepła od przewodów. Choć straty ciepła tego typu mogą częściowo stanowić użyteczne zyski ciepła, to zyski te nie są całkowicie efektywne.

W celu uzyskania wysokiej efektywności energetycznej dystrybucji czynnika, wskazane jest stosowanie odpowiedniej izolacji cieplnej przewodów. Stosowanie rury osłonowej (system „rura w rurze”) powinno być ograniczone do uzasadnionych przypadków.

LITERATURA DO ROZDZIAŁU 5

- ASHRAE Handbook, Fundamentals 1997: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, SI Edition, Atlanta
- Braun J.E. 1990: Reducing energy cost and peak electrical demand through optimal control of building thermal storage. *ASHRAE Transactions*, Vol. 96, Nb. 2
- Chochowski A., Czekalski D. 1999: Słoneczne instalacje grzewcze. *COIT*, Warszawa
- Christoffers D. and Thron U. (Eds.) 2000: Development and test of modern control techniques applied to solar buildings. Final Report, E.U. Research Contract JOE3-CT97-0076. European Union, Brussels, Belgium
- Ciuman H., Kolasa C. i Popiołek Z. 2005: Calculation of individual heating costs in multifamily buildings, International Conference Energy Efficient Technologies in Indoor Environment", Gliwice
- Ciuman H. (2000): Badanie charakterystyki cieplnego sprzężenia grzejnika i wyparnego podzielnika kosztów ogrzewania. Praca doktorska, Politechnika Śląska. Gliwice
- Ciuman H., Kolasa C., Popiołek Z. (2001a): Możliwości korygowania wskazań wyparnych podzielników kosztów ogrzewania. Konferencja „Indywidualne koszty ogrzewania, oszczędzanie ciepła a komfort cieplny”, Jodłowy Dwór
- Ciuman H., Kolasa C., Popiołek Z. (2001b): Temperatura płynu w wyparnym podzielniku kosztów ogrzewania w rzeczywistych warunkach pracy grzejnika c.o. VII Ogólnopolskie Sympozjum „Zastosowanie mechaniki płynów w inżynierii i ochronie środowiska”, Wisła
- Dziekońska J. 2003: Wpływ eksploatacji i użytkowania pomieszczeń na zmienność wewnętrznych zysków ciepła. Praca dyplomowa magisterska, Gliwice
- Eijdens H. H. E. W. et al. 2000: Low Temperature Heating Systems: Impact on IAQ, Thermal Comfort and Energy Consumption, LowEx Newsletter no 1, Annex 37, Finland
<http://www.vtt.fi/rte/projects/annex37>
- ESRU 1999: ESP-r: a building and plan energy simulation environment. User Guide. Version 9 Series. ESRU Publication, University of Strathclyde, Glasgow
- EURO PROJEKT DR FROSS 2004: Projekt zespołu rekreacyjno-sportowo-usługowego Tropikalna Wyspa w centrum gminy Marklowice. Dokumentacja budowlana, część architektoniczna i instalacyjna 2004
- Fanger O.P. 1974: Komfort cieplny. *Arkady*, Warszawa
- Fanger P.O. 1972: Thermal comfort analysis and application in environmental design. *Mac Graw Hill*
- Feustel H. E. 1998: Hydronic Thermal Conditioning of Buildings by Means of Constant Supply Water Temperature, Future Building Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop, Stockholm 11 - 12 June 1998
- Flake B.A. 1998: Parameter estimation and optimal supervisory control of chilled water plants. Ph. D. Thesis. University of Wisconsin-Madison
- Foit H. 1999: Instrukcja obsługi programu komputerowego MULIWAL - Gliwice
- Foit H., Lubina P. 2002: Model matematyczny przekazania ciepła do ogrzewanego mieszkania przez wodną instalację c.o. Gliwice (niepublikowana)
- Fross K. 2005: Facility management profesjonalne zarządzanie nieruchomościami. Materiały seminarium Izba Budownictwa w Katowicach, lipiec 2005
- Fross K. 2005: Jakość techniczna w architekturze. Materiały seminarium Targi Budownictwa w Katowicach, kwiecień 2005
- Fross K. 2005: Park wodny Tropikalna Wyspa w centrum gminy Marklowice – przykład rewitalizacji terenu pokopalnianego z jednoczesnym wykorzystaniem źródeł energii odnawialnej i odpadowej. Materiały międzynarodowej konferencji naukowej ULAR pt. Odnowa krajobrazu miejskiego, Wydział Architektury Pol. Śl. czerwiec 2005
- Fross K. 2005: Samowystarczalny energetycznie park wodny – Tropikalna Wyspa. Facility Manager nr 3-4 czerwiec '05
- Fross K. 2005: Tropikalna Wyspa – park wodny samowystarczalny energetycznie. Kwartalnik *Instalacje* '05 kwiecień-czerwiec
- Fross K., Ostrowski P. 2005: Projekt parku wodnego Tropikalna Wyspa. Materiały V sympozjum naukowo-technicznego pt. „Instalacje basenowe, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków”, Politechnika Śląska w Gliwicach, Ustroń luty 2005
- Henze G.P., Doder R.H. and Krarti M. 1997: Development of a Predictive Optimal Controller for Thermal Energy Storage Systems. *HVAC&R Research*, Vol. 3, Nb. 3. pp 233-264
- ISO 9164, 1989: Thermal insulation - Calculation of space heating requirements for residential buildings.
- Keeney K. and Braun J.E. 1996: A simplified method for determining optimal cooling control strategies for thermal storage in building mass. *HVAC&R Research*, Vol. 2, Nb. 1

- Kolasa C. i Ciuman H. 1997: Wpływ modernizacji termicznej budynku na warunki funkcjonowania systemu podziału kosztów ogrzewania, Sympozjum Szkoleniowe nt. „Techniczne i ekonomiczne problemy wynikające z opomiarowania i rozliczenia energii ciepłej, wodnej i ściekowej”, PZITS, Kiekrz k.Poznania
- Kolasa C. i in. 2001b: Doskonalenie metodyki podziału kosztów centralnego ogrzewania w budynkach mieszkalnych z uwzględnieniem rzeczywistych stanów eksploatacyjnych. Raport z realizacji Projektu Badawczego 7 TO7G 013 15, Gliwice 2001
- Kossecka E, Gawin D, i Więckowska A. 2001: Metodyka opracowania typowego roku meteorologicznego dla Warszawy, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Fizyka budowli w teorii i praktyce”, Łódź
- Kossecka E, Łoskot K, i Prętczyński Z. 1992: Skrócony testowy sezon grzewczy (STSG). Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa
- Krause T. 1999: Ogrzewanie słoneczne. *Polski Instalator* **4, 5**
- Kummert M. 2001: Contribution to the application of modern control techniques to solar buildings. Simulation-based approach and experimental validation. Ph.D. Thesis. Fondation Universitaire Luxembourgeoise (Now University of Liège), Arlon, Belgium
- Kummert M., André Ph. and Nicolas J. 1996: Development of simplified models for solar buildings optimal control. in Proceedings of ISES Eurosun 96 congress. Freiburg
- Kummert M., André Ph. and Nicolas J. 2001: Optimal heating control in a passive solar commercial building. *Solar Energy*, vol. **69** (0) pp. 103-116
- Liébard A., De Herde A. 1996: Guide de l'architecture bioclimatique, Tome 1 - Connaître les bases, Systèmes Solaires, Paris
- Lubina P. 2001: Analiza występowania wewnętrznych zysków ciepła oraz ich wpływ na obciążenia cieplne w budynkach biurowych. Materiały konferencyjne VIII Konferencji Naukowo-Technicznej „Fizyka budowli w teorii i praktyce”, Łódź
- Lubina P. 2004: Badania zmienności wewnętrznych zysków ciepła z uwagi na dynamikę potrzeb cieplnych w budynkach. Praca doktorska, Gliwice
- McIntyre D.A. 1980: Indoor Climat. Applied Science Publishers, Ltd, London
- Meissner R. 2000: Duże instalacje słoneczne, *Polski Instalator* **2**
- Nowak D. 2004: „Analiza porównawcza metodyk określania strat ciepła przewodów instalacji c.o. w układzie rozdzielaczowym, praca magisterska wykonana pod kierunkiem dr. Michała Strzeszewskiego, Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Nygaard-Fergusson A.-M. 1990: Predictive thermal control of building systems. Ph. D. Thesis. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
- Oestreicher Y., Bauer M. and Scartezzini J.-L. 1996: Accounting free gains in a non residential building by means of an optimal stochastic controller. *Energy and Buildings*, **Vol. 24**, Nb. 3
- Papakostas K.T., Sotiropoulos B.A. 1997: Occupational and energy behaviour patterns in Greek residences. *Energy and Buildings* **26**
- PN EN 834,1998: Podzielniki kosztów ogrzewania do rejestrowania zużycia ciepła przez grzejniki. Przyrządy zasilane energią elektryczną.
- PN EN 835, 1998: Podzielniki kosztów ogrzewania do rejestrowania zużycia ciepła przez grzejniki. Przyrządy bez zasilania energią elektryczną działające na zasadzie parowania dyfuzyjnego.
- PN-B-02025, 2001: Ogrzewnictwo. Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego
- PN-B-03406, 1994: Ogrzewnictwo. Obliczanie nominalnego zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń o kubaturze do 600 m³
- PN-EN 832, 2001: Właściwości cieplne budynków. Obliczanie zapotrzebowania na energię do ogrzewania. Budynki mieszkalne
- PN-N-08013, 1985: Ergonomia. Środowiska termiczne umiarkowane. Określanie wskaźników PMV, PPD i wymagań dotyczących komfortu termicznego
- Recknagel H., Sprenger E., Hönnmann W., Schramek 1994: Poradnik. Ogrzewanie i klimatyzacja, *EWFE*, Gdańsk
- Rocznik Statystyczny 2001: Główny Urząd Statystyczny, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz. U. nr 75 poz. 690 z 2002 r. ze zmianami Dz. U. Nr 109 poz. 1156 z 2004 r.)
- Rubik M. 2000: Nowoczesne rozwiązania w technice ogrzewania, Instalacje 4/2000
- Smolec W. 2000: Fototermiczna konwersja energii słonecznej. *PWN*, W-wa.
- Specjał A, Kolasa C, i Popiołek Z. 2002^a: FOURIER, Program komputerowy, Politechnika Śląska, Gliwice
- Specjał A, Kolasa C, i Popiołek Z. 2002^b: FOURIER 2, Program komputerowy. Politechnika Śląska, Gliwice
- Specjał A. i Kolasa C. 2002: CUBIC SPLINE, Program komputerowy. Politechnika Śląska, Gliwice

- Specjał A, Kolasa C, i Popiołek Z. 2004: Laboratorium do badań grzejników i podzielników kosztów ogrzewania w warunkach dynamicznych, *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* nr 10/2004
- Specjał A, Kolasa C, i Popiołek Z. 2005^a: Możliwość zastosowania skróconego zestawu danych meteorologicznych w badaniach laboratoryjnych elementów instalacji centralnego ogrzewania, *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* nr 3/2005
- Specjał A. 2002: Możliwości kształtowania zmiennych warunków cieplnych w badaniach laboratoryjnych grzejników i podzielników kosztów ogrzewania. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice
- Specjał A., Kolasa C., Popiołek Z. 2005^b: Reproduction of the external climate in laboratory tests of radiators and heat cost allocators, International Conference: Energy Efficient Technologies in Indoor Environment, Gliwice
- Straszewski M. 2002a: Low-Temperature Combined Floor/Radiator Heating Systems, Proceedings of International Conference Sustainable Building 2002, Oslo, Norway, September 23-25
- Straszewski M. 2002b: Wpływ ogrzewania podłogowego na jakość powietrza wewnętrznego”, Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2001, Wydawnictwa Instytutu Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej
- Straszewski M. 2002c: Model numeryczny wymiany ciepła w przegrodzie budowlanej z przewodami centralnego ogrzewania, Prace Naukowe PW. *Seria Inżynieria Środowiska* nr 42/2002
- Straszewski M. 2003: Weryfikacja empiryczna modelu numerycznego wymiany ciepła w przegrodzie budowlanej z przewodami centralnego ogrzewania, Prace Naukowe PW. *Seria Inżynieria Środowiska* nr 45/2003
- Straszewski M. 2004a: Identification of Dynamical Properties of Central Heating Pipes Buried in a Floor, Proceedings of International Workshop on Dynamic Analysis Methods Applied to Energy Performance Assessment of Buildings. PASLINK EEIG, Warsaw University of Technology and JRC Ispra. 13-14 May 2004, Warsaw, Poland
- Straszewski M., Joński M. 2004b: Porównanie instalacji c.o. w układzie rozdzielaczowym i trójnikowym na przykładzie budynku jednorodzinne, *COW* 11/2004, 10–15.
- TRNSYS. 1994: A Transient System Simulation Program, Madison: Solar Energy Laboratory University of Wisconsin
- Vandaele L. and Wouters P. 1994: The Passys Services. European Commission, Publication No EUR 15113 EN
- Wiśniewski G., Gołbiowski S., Gryciuk M. 2001: Kolektory słoneczne. *COIB*. Warszawa
- Zawadzki M. 2003: Kolektory słoneczne, pompy ciepła na tak . Polska Ekologia.