

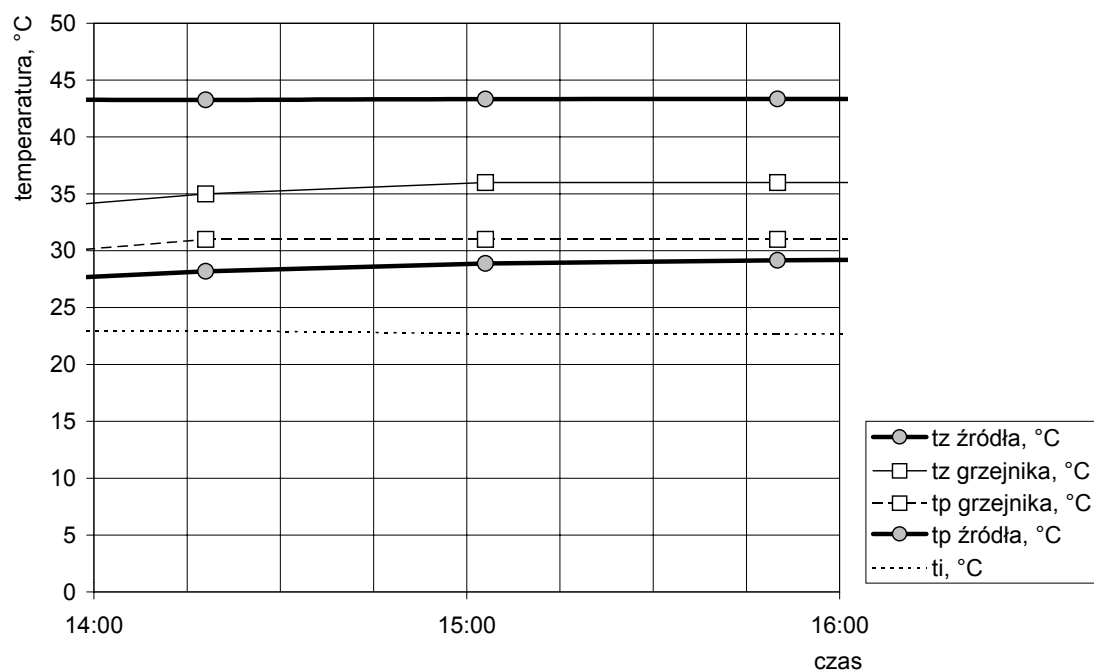
Robert Rabjasz
 Michał Strzeszewski
 Politechnika Warszawska
 Warszawa

BADANIA STRAT CIEPŁA PRZEWODÓW CENTRALNEGO OGRZEWANIA, PROWADZONYCH W PRZEGRODACH BUDOWLANYCH

1. Wprowadzenie

W celu zilustrowania skali zjawiska strat ciepła w przewodach c.o. prowadzonych w przegrodach budowlanych, na rysunkach 1–3 zamieszczono przykładowe wyniki badań pomiarowych, przeprowadzonych na instalacji badawczej w skali półtechnicznej w Instytucie Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej. Przewody wykonano z rur polietylenowych o średnicy wewnętrznej 8,4 mm, średnicy zewnętrznej 12,0 mm i długości 6 m. Przewody umieszczono w peszlu o średnicy zewnętrznej 20,7 mm i poprowadzono – w jednym wariancie w podłodze (10 cm pod powierzchnią podłogi), a w drugim w ścianie (2 cm od powierzchni ściany). Prędkość wody wynosiła 0,11 m/s. Do rozdzielaczy woda była doprowadzana przewodami stalowymi DN15 o długości ok. 3 m, umieszczonymi w powietrzu.

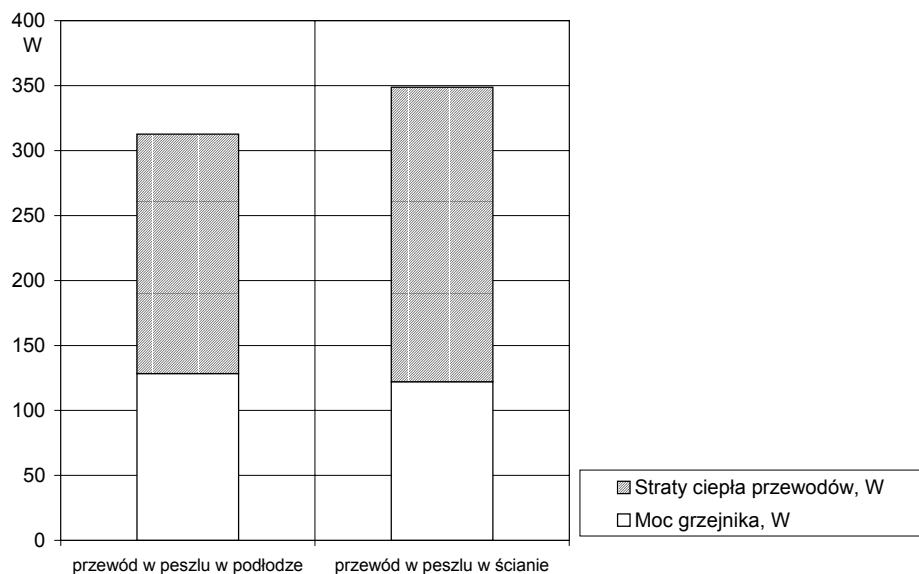
Przykładowy przebieg temperatury zasilania i powrotu dla źródła ciepła i grzejnika dla wariantu z przewodami w ścianie przedstawiono na rys. 1. Natomiast porównanie mocy grzejnika i strat ciepła przewodów dla przewodów (prowadzonych w ścianie i w podłodze) pokazano na rys. 2 i 3.



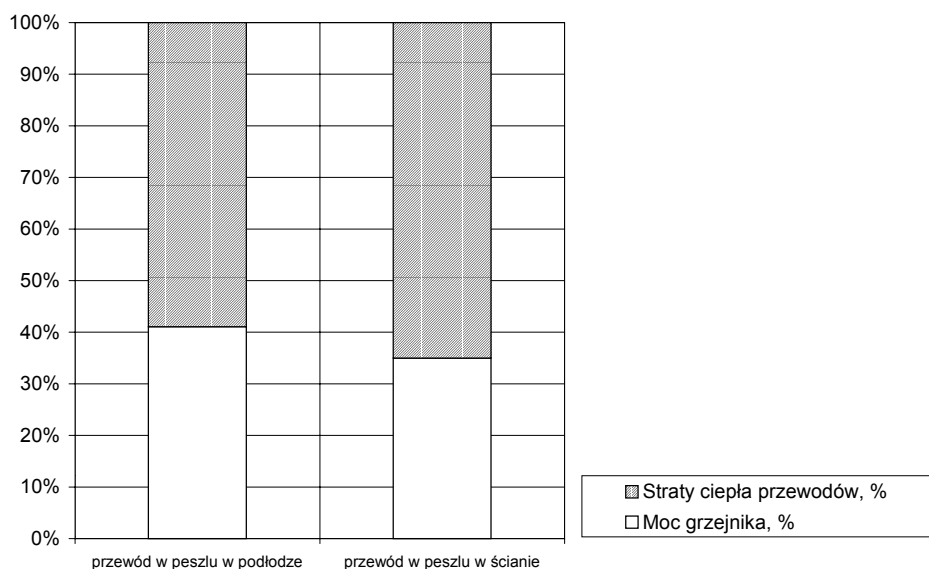
Rys. 1. Przykładowy przebieg temperatur na podstawie pomiarów. Przewody prowadzone w peszlu w ścianie. Nagrzewanie ściany. Opracowanie własne.

W prezentowanych przypadkach schłodzenie wody w przewodach jest znaczne. Jednocześnie straty ciepła od przewodów przewyższają moc przekazywaną do pomieszczenia przez grzejnik. Dlatego niedoszacowanie strat ciepła na etapie projektowania instalacji może prowadzić do poważnych problemów eksploatacyjnych.

Stosunkowo najmniejszy problem stanowi ta część strat ciepła, która jest przekazywana do pomieszczenia, w którym znajduje się zaopatrywany grzejnik. Natomiast część strat ciepła może być przekazywana na drugą stronę przegrody (do pomieszczeń przylegających i na zewnątrz budynku) a część – do pomieszczeń, znajdujących się na drodze przewodów c.o. (przedpokoje, klatki schodowe). Dlatego, jeśli na etapie projektowania nie zostaną prawidłowo określone transportowe straty ciepła, w warunkach eksploatacyjnych może wystąpić znaczny deficyt mocy w niektórych pomieszczeniach i przegrzewanie innych.



Rys. 2. Przykładowa moc grzejnika i strat ciepła przewodów doprowadzających na podstawie pomiarów. Opracowanie własne.



Rys. 3. Udział procentowy mocy grzejnika i strat ciepła przewodów doprowadzających dla sytuacji z rys. 2. Opracowanie własne.

2. Sprawność izolacji

Obecnie projektanci przyjmują w obliczeniach określoną sprawność izolacji. Takie zalecenie znalazło się np. w Poradniku Projektanta KAN-therm® [15]. Taką możliwość daje również program *Audytork C.O.* mgr. inż. Piotra Wereszczyńskiego [23].

Sprawność izolacji jest to stosunek zmniejszenia strat ciepła w skutek zaizolowania przewodu do strat ciepła przewodu nieizolowanego:

$$\eta = \frac{q - q_{str}}{q} = 1 - \frac{q_{str}}{q} \quad (1)$$

gdzie:

η – sprawność izolacji;

q_{str} – jednostkowe straty ciepła przewodu zaizolowanego, W/m;

q – jednostkowe straty ciepła przewodu nieizolowanego, W/m.

Przy czym istotne znaczenie ma fakt, czy sprawność izolacji określona jest w odniesieniu do strat ciepła przewodu niez izolowanego umieszczonego w powietrzu, czy zabudowanego w przegrodzie budowlanej. W praktyce projektowej sprawność izolacji odnosi się do przewodu niez izolowanego znajdującego się w powietrzu.

W projektowaniu korzysta się z następującego równania:

$$Q_{str} = qL(1 - \eta), \text{ W} \quad (2)$$

gdzie:

Q_{str} – straty ciepła przewodu zaizolowanego, W;

q – jednostkowe straty ciepła przewodu niez izolowanego, W/m;

L – długość przewodu, m;

η – sprawność izolacji.

Dla izolacji z pianki polietylenowej lub poliuretanowej projektanci dotychczas najczęściej przyjmowali sprawność izolacji w zakresie 0,75–0,95 (orientacyjnie, w zależności od grubości izolacji i zagłębienia), natomiast dla przewodów prowadzonych w peszlu od 0,30 do 0,60.

Na podstawie tak określonych strat ciepła oblicza się schłodzenie wody w przewodach. Straty te są jednocześnie zyskami ciepła w pomieszczeniach, przez które biegną przewody; przy czym w bilansie pomieszczenia uwzględnia się zazwyczaj tylko pewną ich część. Np. w programie *Audytora C.O.* [23] w „parametrach obliczeń” ustawia się „udział zysków ciepła od przewodów w bilansie cieplnym pomieszczenia”. Domyślnie jest to 70%¹.

Niniejszą analizę przeprowadzono dla przewodów tworzywowych $d_z/d_w=12,0/8,4$ mm o współczynniku przewodzenia ciepła 0,46 W/(mK). Temperatura powietrza w pomieszczeniach nad i pod stropem wynosiła 20°C.

Liniowa gęstość strat ciepła przewodu poziomego, zastosowanego w niniejszych badaniach, wg danych producenta (które są wykorzystywane w projektowaniu) wynosi:

$$q_l = 9,6183 \cdot \Delta t_{ar}^{1,2105} d_z^{0,8066}, \text{ W/m} \quad (3)$$

gdzie:

d_z – zewnętrzna średnica przewodu, m;

Δt_{ar} – średnia arytmetyczna różnica temperatury, K.

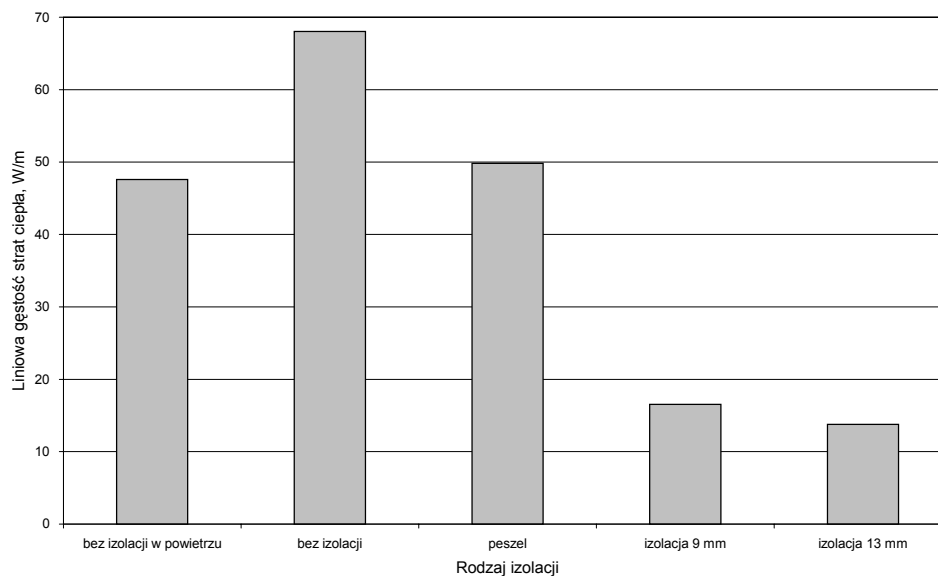
Ponieważ niniejsza analiza dotyczy dwuwymiarowego przekroju stropu, za Δt_{ar} przyjęto różnicę temperatury wody i powietrza. W tabelach 1 i 2 przedstawiono porównanie strat ciepła przewodów niez izolowanych, prowadzonych na wierzchu oraz przewodów umieszczonych w warstwie podłogowej. W przypadku przewodów w podłodze uwzględniono trzy sposoby prowadzenia: bez izolacji, w peszlu o średnicy zewnętrznej 20,7 mm oraz w izolacji o grubości 9 mm i 13 mm. W tabelach zamieszczono również sprawność izolacji w dwóch wersjach – odniesioną do strat ciepła przewodów niez izolowanych, prowadzonych w analogiczny sposób w podłodze oraz do przewodów prowadzonych po wierzchu. Wielkości strat ciepła zilustrowano na wykresach (rys. 4 i 5). Obliczenia przeprowadzono przy pomocy zewryfikowanego doświadczalnie [19] programu komputerowego *Micro 2D* [16].

Rozstaw przewodów wynosił 3 mm (pomiędzy zewnętrznymi powierzchniami). Analizę przeprowadzono dla dwóch grubości wylewki, tj. 5,7 i 10 cm. Wyniki dla wylewki o grubości 5,7 cm zamieszczono w tabeli 1 i na rys. 4.

Tab. 1. Sprawność izolacji dla różnego sposobu prowadzenia przewodów w podłodze oraz w powietrzu. Grubość wylewki 5,7 cm. Temperatura czynnika 70/50°C. Prędkość czynnika 0,20 m/s. Opracowanie własne.

rodzaj izolacji	q.g. W/m	q.d. W/m	q.sum. W/m	spraw. izolacji odniesiona do przewodów w podłodze	spraw. izolacji odniesiona do przewodów w powietrzu
bez izolacji w powietrzu			47,59		0,00
bez izolacji	46,87	21,18	68,05	0,00	-0,43
peszel	34,74	15,10	49,84	0,27	-0,05
izolacja 9 mm	11,57	4,98	16,55	0,76	0,65
izolacja 13 mm	9,72	4,05	13,77	0,80	0,71

¹ W wersji 3.1 *Audytora* [23] można dodatkowo określić jaki maksymalny procent strat ciepła w pomieszczeniu może być pokrywany przez zyski ciepła.

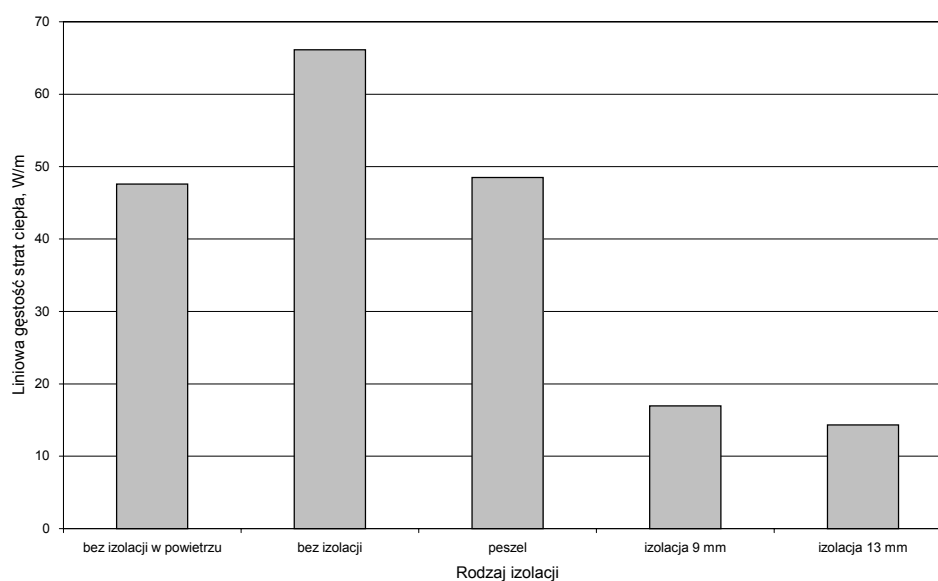


Rys. 4. Porównanie strat ciepła dla różnego sposobu izolacji w podłodze oraz przewodów w powietrzu. Grubość wylewki 5,7 cm. Temperatura czynnika 70/50°C. Prędkość czynnika 0,20 m/s. Opracowanie własne.

Wyniki dla wylewki o grubości 10 cm przedstawia tabela 2 i na rys. 5.

Tab. 2. Sprawność izolacji dla różnego sposobu prowadzenia przewodów w podłodze oraz w powietrzu. Grubość wylewki 10 cm. Temperatura czynnika 70/50°C. Prędkość czynnika 0,20 m/s. Opracowanie własne.

rodzaj izolacji	q.g. W/m	q.d. W/m	q.sum. W/m	spraw. izolacji odniesiona do przewodów w podłodze	spraw. izolacji odniesiona do przewodów w powietrzu
bez izolacji w powietrzu			47,59		0,00
bez izolacji	41,64	24,48	66,12	0,00	-0,39
peszel	30,93	17,57	48,50	0,27	-0,02
izolacja 9 mm	10,54	5,87	16,41	0,75	0,66
izolacja 13 mm	8,85	4,79	13,64	0,79	0,71



Rys. 5. Porównanie strat ciepła dla różnego sposobu izolacji w podłodze oraz przewodów w powietrzu. Grubość wylewki 10 cm. Temperatura czynnika 70/50°C. Prędkość czynnika 0,20 m/s. Opracowanie własne.

Powyższe wyniki pozwalają stwierdzić, że straty ciepła przewodów c.o., umieszczonych w warstwie podłogowej, mogą być znacznie wyższe niż straty ciepła przewodów, prowadzonych na wierzchu, określone na podstawie charakterystyki producenta. W analizowanych przypadkach straty przewodów umieszczonych w konstrukcji podłogi były o ok. 40% większe (o 39%, dla wylewki o grubości 10 cm i 43% dla wylewki 5,7 cm). Fakt ten można wytłumaczyć tym, że podłoga działa jak żebro, zwiększając znacznie powierzchnię wymiany ciepła.

Jak wynika z tabel 1–2 przyjmowane dotychczas w projektowaniu sprawności izolacji dla przewodów prowadzonych w peszlu są w analizowanych przypadkach znacznie przeszacowane (w projektowaniu odnosi się sprawność izolacji do przewodów prowadzonych na wierzchu). Tak zdefiniowana sprawność izolacji dla przewodów, prowadzonych w peszlu, w niniejszej analizie wyniosła –0,05 dla wylewki o grubości 5,7 cm oraz –0,02 dla wylewki 10 cm. Tzn. przewody prowadzone w peszlu, w wylewce podłogowej miały o 2% lub 5% większe straty ciepła w porównaniu do przewodów nieizolowanych, prowadzonych na wierzchu.

A więc właściwości izolacyjne peszla nie są tak duże jak się powszechnie uważa. Istotnie następuje pewna redukcja strat ciepła, ale w odniesieniu do przewodów nieizolowanych, prowadzonych w konstrukcji podłogi. W analizowanych przypadkach można by uznać przyjmowanie sprawności izolacji na poziomie ok. 0,30, gdyby odnosić ją do strat ciepła przewodów nieizolowanych, w podłodze. Tak określona sprawność wyniosła w niniejszej analizie 0,27 dla obu grubości wylewki.

Również w przypadku stosowania izolacji z pianki można by uznać za właściwe przyjęcie sprawności izolacji ok. 0,70 do 0,80, gdyby odnosić ją do strat ciepła analogicznie poprowadzonych przewodów nieizolowanych. Natomiast w porównaniu ze stratami ciepła przewodów, umieszczonych na wierzchu, uzyskano sprawności od 0,65 do 0,71 (w zależności od grubości izolacji i rozstawu przewodów).

W związku z tym, dotychczas stosowana metodyka określania strat ciepła przewodów prowadzonych w przegrodach budowlanych może prowadzić do znacznego niedoszacowania strat ciepła, a co za tym idzie również schłodzenia wody w przewodach (zwłaszcza w przypadku prowadzenia ich w peszlu).

W celu precyzyjniejszego określania strat ciepła przewodów prowadzonych wewnątrz przegród budowlanych należy w przyszłości wyznaczyć indywidualne charakterystyki cieplne dla różnych systemów instalacyjnych.

Natomiast skorygowana metoda „sprawności izolacji” może być wykorzystywana do orientacyjnego określania strat ciepła. Zachowując samą ideę sprawności izolacji, należało by albo odnosić ją do strat ciepła analogicznie prowadzonych przewodów nieizolowanych albo przyjmować znacznie niższe sprawności izolacji.

2.1. Korekta strat ciepła nieizolowanych przewodów w przegrodzie

W pierwszym wariancie straty ciepła nieizolowanych przewodów w przegrodzie budowlanej mogą również zostać określone wskaźnikowo (orientacyjnie). W tym celu można zaproponować następującą modyfikację równania (2):

$$Q_{str} = (1 + a)qL(1 - \eta), W \quad (4)$$

gdzie:

Q_{str} – straty ciepła przewodu zaizolowanego w przegrodzie budowlanej, W;

q – jednostkowe straty ciepła nieizolowanego przewodu prowadzonego na wierzchu, W/m;

L – łączna długość przewodów, m;

η – sprawność izolacji, odniesiona do nieizolowanych przewodów prowadzonych w przegrodzie budowlanej (dla peszla 0,27; dla izolacji z pianki 0,70–0,90);

a – współczynnik poprawkowy określony równaniem:

$$a = \frac{q_p}{q} - 1 \quad (5)$$

gdzie:

q_p – jednostkowe straty ciepła nieizolowanego przewodu prowadzonego w przegrodzie budowlanej, W/m.

W analizowanym przypadku współczynnik a wynosi 0,43 (dla wylewki 5,7 cm) oraz 0,39 (dla wylewki 10 cm).

W związku z tym można przyjąć, że w zakresie wylewki o grubości od 5 do 10 cm, współczynnik a wynosi ok. 0,40, a więc równanie (4) przybiera postać:

$$Q_{str} = 1,4qL(1 - \eta), W \quad (6)$$

oznaczenia j.w.

2.2. Korekta sprawności izolacji

Natomiast w przypadku wybrania drugiego z proponowanych wariantów, tzn. bez określania strat ciepła nieizolowanych przewodów w przegrodzie budowlanej, należy przyjmować odpowiednie wartości sprawności izolacji. W analizowanym przypadku należało by przyjmować sprawności izolacji wg tabel 1–2.

Literatura

1. Cichowlas M., Serafin P., Wasielewski M.: *Poradnik projektanta instalacji sanitarnych w technologii WIRSBO. Woda zimna i ciepła, c.o. grzejnikowe, c.o. podłogowe*, Organika Propex S.A., Warszawa, 2000. (http://www.propex.organika.pl/poradniki/poradnik_projektanta.shtml)
2. CEN REPORT CR 1752:1998. *Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment*, European Committee for Standardization, Brussels, 1998.
3. Fachinformationsdienst Flächenheizung BVF: *Richtlinie zur Herstellung beheizter Wandkonstruktionen im Wohnungs-, Gewerbe- und Industriebau*, Bundesverband Flächenheizungen e.V., Hagen, Niemcy, 1999. (<http://www.flaecheheizung.de/MerkblattG.pdf>)
4. Gundersen P.: *Energy-Efficient Heating Plants Using Low-Temperature Water-Borne Heat*, Future Building Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop, Stockholm 11 - 12 June 1998. (http://www.bim.kth.se/fbf/papers/paper6/energy_efficient.pdf)
5. Kędzierski P.: *Wpływ transportowej straty ciepła na wymiarowanie i eksploatację tradycyjnej instalacji centralnego ogrzewania*, materiały konferencyjne XII Konferencji Ciepłowników, Solina 2000.
6. Kędzierski P.: *Charakterystyki cieplne nieizolowanych przewodów stalowych w instalacjach centralnego ogrzewania*, wydawnictwo PZITS nr 793/2001, materiały konferencyjne XIII Konferencji Ciepłowników, Wydawnictwo PZITS nr Solina 2001.
7. Kędzierski P.: *Charakterystyki cieplne nieizolowanych pionów stalowych w instalacjach centralnego ogrzewania*, COW 5/2002.
8. Kowalczyk A., Strzeszewski M.: *Porównanie metod obliczania gęstości strumienia cieplnego grzejników podłogowych*, materiały konferencyjne II Forum Ciepłowników Polskich, 1998 oraz COW nr 3/99 i 4/99.
9. Norma EN ISO 7730. Moderate Thermal Environment – Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort.
10. Norma PN-85/N-08013. Ergonomia. Środowisko termiczne umiarkowane. Określenie wskaźników PMV, PPD i wymagań dotyczących komfortu termicznego.
11. Rabjasz R., Dzierzgowski M.: *Ogrzewanie podłogowe - poradnik*, Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa 1995.
12. Rabjasz R., Dzierzgowski M.: *Instalacje centralnego ogrzewania z rur wielowarstwowych*, Wyd. KANON, Gdańsk, 1998.
13. Rabjasz R., Dzierzgowski M., Strzeszewski M.: *Centralne ogrzewania mieszkaniowe mikroprzewodowe*, materiały konferencyjne V Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje 17-19 września 2001. (http://www.is.pw.edu.pl/~michal.strzeszewski/articles/międzyzdroje2001_mikroprzewodowe.pdf)
14. Rabjasz R., Strzeszewski M.: *Dopuszczalna temperatura powierzchni podłogi*, COW nr 2/2002.
15. Sękowski K., Juchnicki J.: *Nowoczesne wewnętrzne instalacje wody ciepłej i zimnej, centralnego ogrzewania i ogrzewania podłogowego. Poradnik projektanta, System KAN-therm®*, Firma KAN, Warszawa 2001.
16. Strzeszewski M.: *Micro 2D*, program komputerowy, Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997-2002.
17. Strzeszewski M.: *Zasięg cieplny pojedynczego liniowego źródła ciepła w stropie na podstawie modelu numerycznego*, wydawnictwo PZITS nr 793/2001, materiały konferencyjne XIII Konferencji Ciepłowników „Efektywność dystrybucji i wykorzystania ciepła” Solina 27-29 września 2001. (http://www.is.pw.edu.pl/~michal.strzeszewski/articles/solina2001_zasięg.pdf)
18. Strzeszewski M., Rabjasz R.: *Ogrzewanie mikroprzewodowe. Podstawowe informacje*, Rynek Instalacyjny, 3/2002.
19. Strzeszewski M.: *Model obliczeniowy ogrzewań mikroprzewodowych. Rozprawa doktorska*, Politechnika Warszawska, Warszawa 2002.
20. Wasilewski W.: *Model obliczeniowy i metodyka określania mocy cieplnej grzejników płaszczyznowych*, Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji PW, Warszawa 1974.
21. Wasilewski W.: *Wymiana ciepła. Poradnik*, Warszawa, 1995.
22. Wasilewski W.: *Straty ciepła rur preizolowanych zagłębionych w gruncie*, COW 5/1999.
23. Wereszczyński P.: *Audytor CO 3.1*, Narodowa Agencja Poszanowania Energii, Warszawa, 1994-2002.