

NOWOCZESNE SYSTEMY OGRZEWANIA BUDYNKÓW *

MICHAŁ STRZESZEWSKI¹

¹ Politechnika Warszawska,
Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji,
ul. Nowowiejska 20,00-653 Warszawa.

E-mail: Michal.Strzeszewski@is.pw.edu.pl
http://www.is.pw.edu.pl/~michal_strzeszewski

* Referat wygłoszony na FORUM TERMOMODERNIZACJA 2005 – Audytor energetyczny – zawód z przyszłością, Zrzeszenie Audytorów Energetycznych, Warszawa 22 lutego 2005.

Referat omawia wybrane aktualne zagadnienia, dotyczące systemów ogrzewania budynków. Skoncentrowano się na dystrybucji ciepła w obrębie budynku i dostarczaniu go do pomieszczeń. Natomiast nowoczesne metody wytwarzania ciepła stanowią temat oddzielnego referatu.

W niniejszym referacie omówiono m.in. tendencję do stosowania ogrzewań niskotemperaturowych oraz problemy związane z brakiem izolacji cieplnej przewodów c.o. prowadzonych w podłodze. Przedstawiono również wybrane rozwiązania integrujące ogrzewanie i wentylację.

1. WPROWADZENIE

Systemy ogrzewania budynków rozwijają się w kierunku zapewnienia warunków komfortu cieplnego przy możliwie niskim zużyciu energii. Korzystne warunki komfortu cieplnego można uzyskać stosując ogrzewania niskotemperaturowe. Ograniczenie zużycia energii jest możliwe dzięki podnoszeniu sprawności procesów i urządzeń stosowanych w ogrzewnictwie. Między innymi należy zapewnić odpowiednio wysoką sprawność przesyłu ciepła poprzez ograniczenie transportowych strat ciepła. Jednocześnie ważne jest, aby redukcji zużycia ciepła nie towarzyszyło pogorszenie warunków higienicznych w pomieszczeniach.

Miarami jakości nowoczesnych systemów grzewczych mogą być nie tylko kryteria energetyczne i ekonomiczne, ale również ekologiczne, takie jak zużycie energii pierwotnej czy emisja zanieczyszczeń w cyklu życia, obejmującym budowę, eksploatację i rozbiórkę systemu.

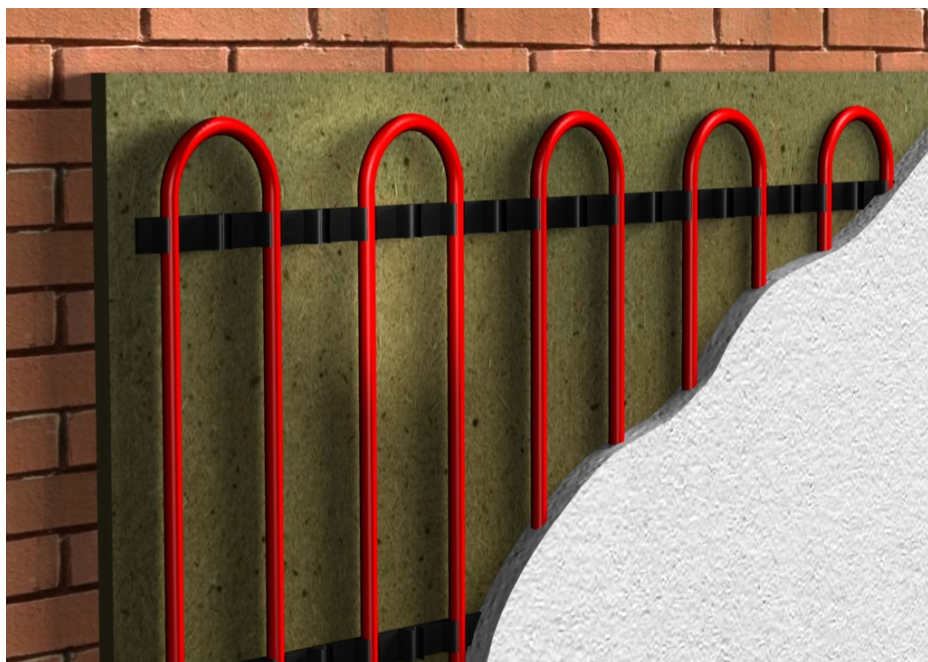
Jednak w każdym przypadku, sprawność eksploatacyjna systemu grzewczego ma wpływ na jego końcową ocenę [1, 4].

2. OGRZEWANIA NISKOTEMPERATUROWE

W ostatnich latach obserwuje się tendencję do obniżania temperatury obliczeniowej czynnika grzejącego w systemach centralnego ogrzewania, co jest bardzo korzystne z uwagi na poprawę komfortu cieplnego i jakości powietrza w ogrzewanych pomieszczeniach oraz redukcję negatywnego oddziaływania na środowisko [2, 9].

Najczęściej występujące ogrzewania niskotemperaturowe to:

- ogrzewania podłogowe,
- ogrzewania ścienne (rys. 1),
- ogrzewania sufitowe,
- płaszczyznowe ogrzewania powietrzne [10] (patrz punkt 4.1),
- ogrzewania konwekcyjne (o obniżonej temperaturze),
- ogrzewania powietrzne.



Rys. Michał Strzeszewski

Rys. 1. Przykład grzejnika niskotemperaturowego – grzejnik ścienny.

Ogrzewania niskotemperaturowe charakteryzują się zazwyczaj większym udziałem wymiany ciepła przez promieniowanie w porównaniu do tradycyjnych ogrzewań konwekcyjnych. Dlatego z uwagi na zwiększone promieniowanie cieplne, temperatura powietrza może być obniżona o $1\div 2$ K, przy zapewnieniu porównywalnego komfortu cieplnego [2]. Niższa temperatura powietrza sprawia, że ulegają redukcji straty ciepła przez przegrody¹. Jednocześnie zapotrzebowanie na ciepło do wentylacji jest niższe o ok. 2–7% przy zachowaniu strumienia powietrza wentylacyjnego [15].

Przypuszcza się nawet, że większy udział promieniowania (tzn. nieco zimniejsze powietrze i cieplejsze powierzchnie w pomieszczeniu) bardziej odpowiada naturalnym wymaganiom cieplnym ludzi, niż ma to miejsce w przypadku ogrzewań tradycyjnych (tzn. cieplejsze powietrze i zimniejsze powierzchnie przegród budowlanych).

Obniżenie temperatury w pomieszczeniu ma również istotny aspekt higieniczny, ponieważ przy temperaturze powietrza powyżej $22\div 24^{\circ}\text{C}$ wzrasta znacząco ryzyko podrażnienia błony śluzowej. Podobną korelację znaleziono również pomiędzy występowaniem **syndromu chorego budynku** (ang. *Sick Building Syndrome*) i podwyższoną temperaturą powietrza wewnętrznego [2].

Wdychanie kurzu może powodować reakcje alergiczne, przy czym decydująca jest nie ilość cząstek, lecz ich rodzaj. Powyżej temperatury 55°C zachodzi proces przypiekania kurzu, w wyniku którego cząstki stają się większe i bardziej drażniące. Dlatego ogrzewania niskotemperaturowe powodują mniejsze reakcje alergiczne w porównaniu do systemów tradycyjnych, gdyż cząstek kurzu jest mniej i są mniej agresywne.

Ostatnio dostrzegany jest również problem jonizacji powietrza [1]. W wyniku kontaktu powietrza z metalowymi powierzchniami grzejników, tworzy się przewaga jonów dodatnich nad ujemnymi. Przewaga ta jest przyczyną duszności oraz suchości dróg oddechowych ludzi przebywających w pomieszczeniach z metalowymi grzejnikami wysokotemperaturowymi. Z tego punktu widzenia korzystniejsze są systemy, w których powierzchnie grzejne mają niższą temperaturę i nie są wykonane z metalu (ogrzewanie podłogowe, ścienne).

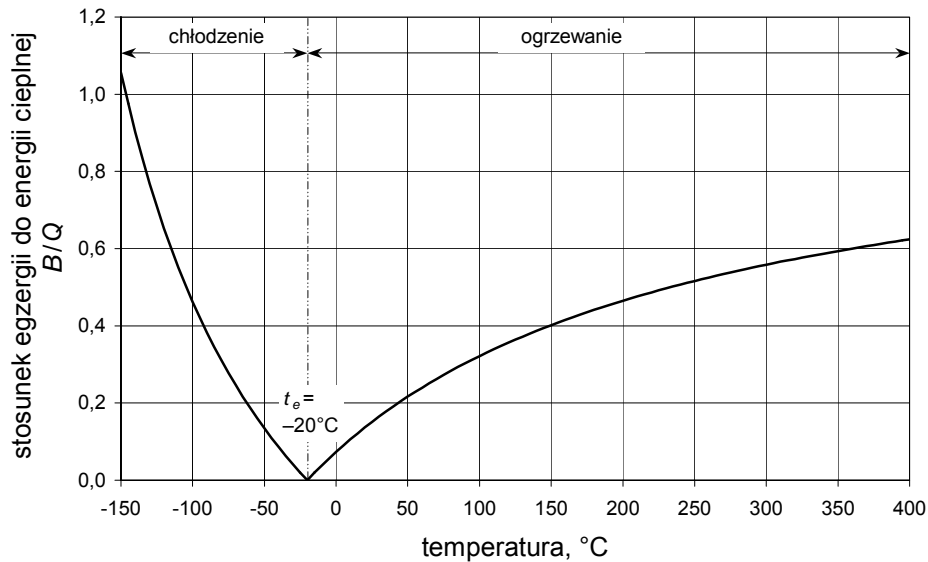
Ciepło dla ogrzewań niskotemperaturowych może być wytwarzane przez źródła alternatywne, takie jak pompa ciepła, kolektor słoneczny czy instalacja geotermalna. Przy niższych temperaturach charakteryzują się one wyższą sprawnością energetyczną i egzergetyczną, co prowadzi do oszczędności energii pierwotnej [11, 12]. Wykres stosunku egzergii do energii cieplnej (rys. 2) ilustruje zależność jakości energii od temperatury wg równania:

¹ Zmniejszenie strat ciepła nie dotyczy przegród zewnętrznych, w których zabudowane są węzownice grzejne. W tym przypadku, straty ciepła na zewnątrz budynku mogą być wyższe niż w przypadku tradycyjnych ogrzewań z grzejnikami konwekcyjnymi. Aby zapobiegać temu zjawisku, konieczne jest znaczne zwiększenie grubości izolacji, w porównaniu do sytuacji bez ogrzewania w danej przegrodzie.

$$\frac{B}{|Q|} = 1 - \frac{T_e}{T} \quad (1)$$

gdzie:

- B – egzergia, J;
- Q – energia cieplna, J;
- T – dany poziom temperatury, K;
- T_e – temperatura otoczenia (temperatura zewnętrzna), K.



Rys. 2. Stosunek egzergii do energii cieplnej przy temperaturze otoczenia -20°C .

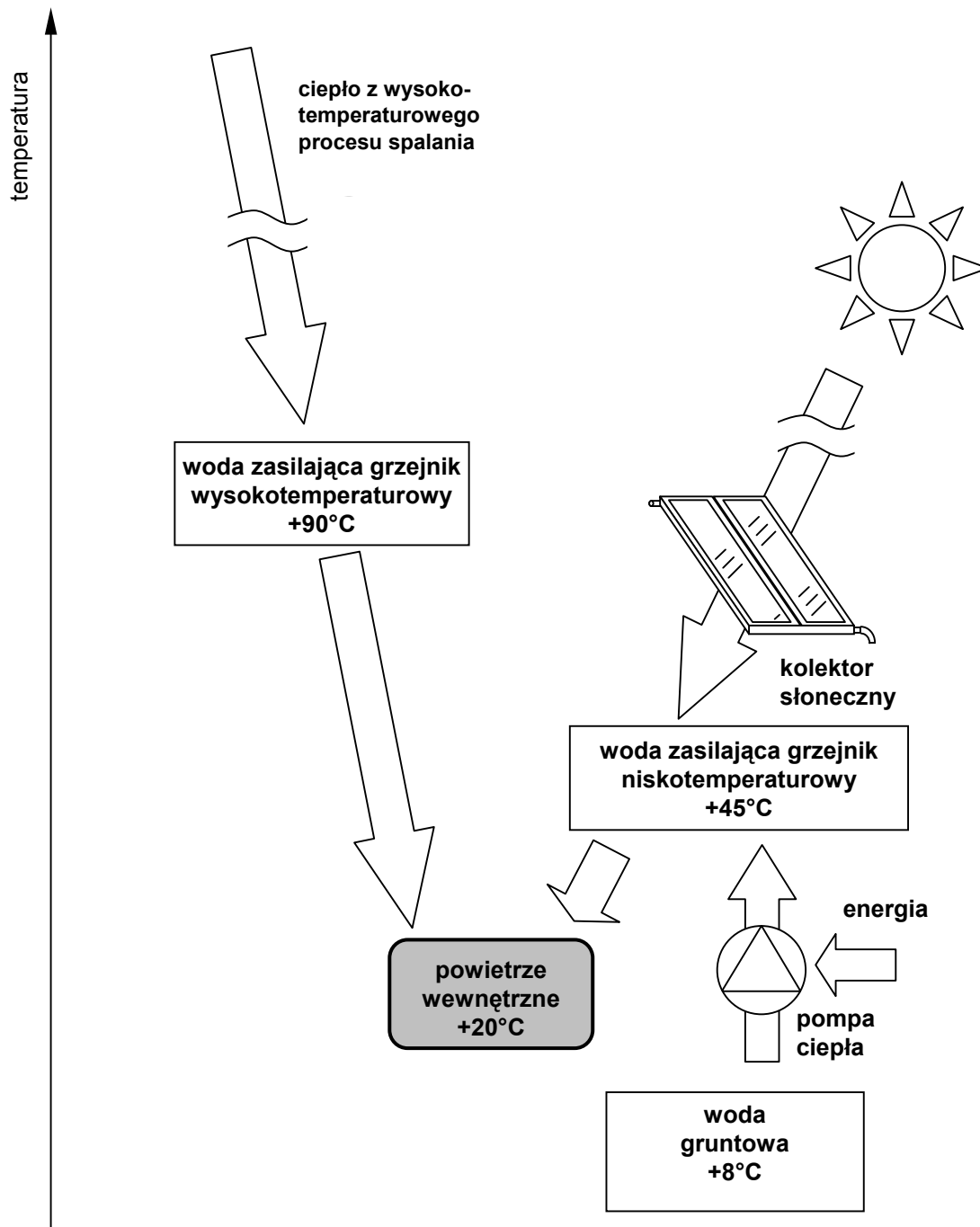
W tradycyjnych ogrzewaniach grzejnikowych obliczeniowa temperatura zasilania wynosiła najczęściej 90°C . Obecnie zazwyczaj projektanci przyjmują temperaturę zasilania w zakresie $70\div 80^{\circ}\text{C}$. Natomiast w systemach niskotemperaturowych z reguły nie przekracza ona 55°C . Ogrzewania niskotemperaturowe i tradycyjne zostały schematycznie porównane na rysunku 3. Przykładowo przedstawiono system niskotemperaturowy zasilany przy pomocy kolektora słonecznego lub pompy ciepła, pozyskującej ciepło z wody gruntowej.

Podział systemów ogrzewania ze względu na temperaturę czynnika grzejnego jest sprawą umowną i zmienia się w czasie. Przykładowo w tabeli 1 przytoczono podział ogólny oraz szczegółową systematykę przyjętą przez *Annex 37 IEA (Międzynarodowej Agencji Energii)* wg [2].

Tab. 1. Podział systemów ogrzewania w zależności od temperatury czynnika.

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

* wg [2].



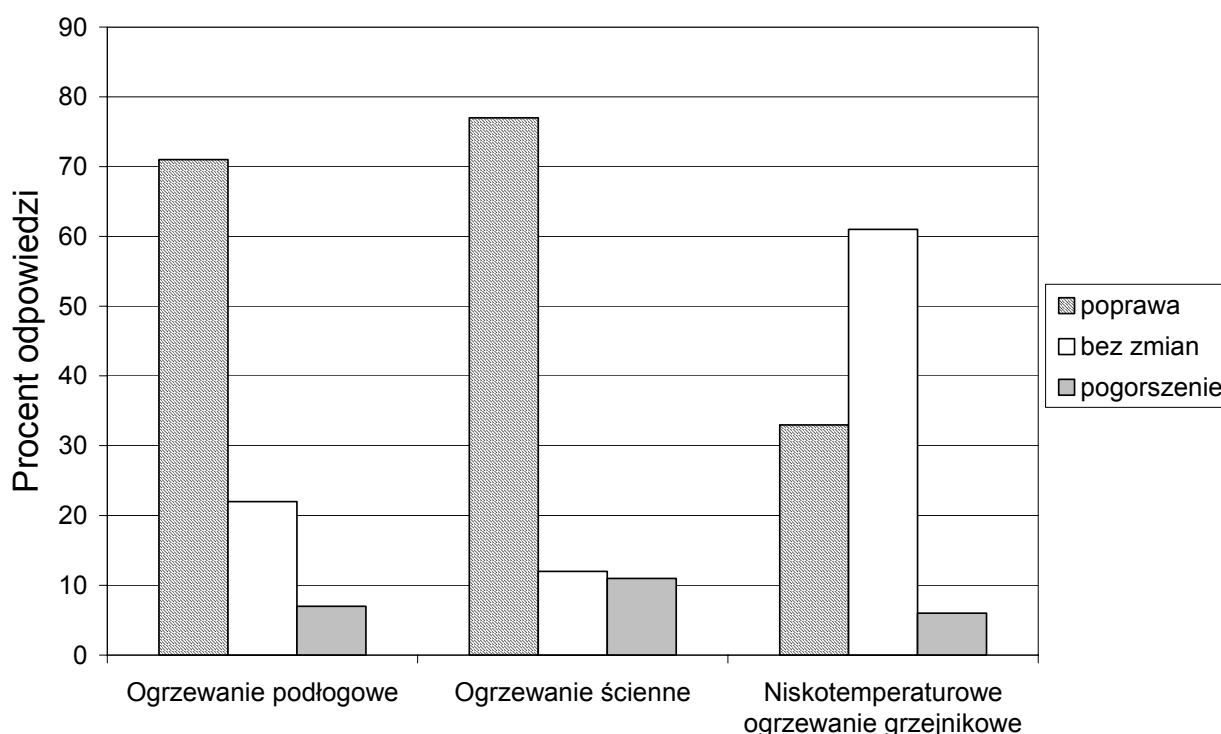
Rys. 3. Schemat ideowy porównania ogrzewania wysokotemperaturowego z ogrzewaniem niskotemperaturowym, zasilanym z alternatywnego źródła ciepła (pompy ciepła lub kolektora słonecznego) [14].

W roku 1997 Holenderska Narodowa Agencja Energii NOVEM zapoczątkowała program wprowadzania systemów niskotemperaturowych LTS (ang. *Low Temperature heating Systems*) w Holandii [9]. Program ten miał na celu przygotowanie rynku holenderskiego do szerszego stosowania wspomnianych systemów w nowych budynkach.

W roku 2000 przeprowadzono obszerne badania [17] wśród osób mieszkających w mieszkaniach wyposażonych w systemy ogrzewania niskotemperaturowego. Badanie obejmowało 408 mieszkań zlokalizowanych w różnych częściach Holandii. Mieszkania te były wyposażone w ogrzewanie podłogowe, ścienne lub niskotemperaturowe ogrzewanie grzejnikowe. Spostrzeżenia mieszkańców, dotyczące odczucia komfortu cieplnego, jakości powietrza wewnętrznego i bezwładności systemów, potwierdzają wyniki wcześniejszych badań.

Poza problemem dużej bezwładności ogrzewania podłogowego i ściennego, mieszkańcy wysoko oceniali systemy ogrzewania niskotemperaturowego. Zauważono poprawę klimatu wewnętrznego, zwłaszcza w przypadku ogrzewania podłogowego i ściennego. Rozkład odpowiedzi na pytanie „Czy system ogrzewania niskotemperaturowego przyczynia się do poprawy klimatu wewnętrznego, czy nie?” przedstawiono na rys. 4. Punktem odniesienia były wcześniejsze doświadczenia użytkowników z systemami wysokotemperaturowymi (zazwyczaj z obliczeniową temperaturą zasilania wynoszącą 90°C) [9].

Również kolejne badanie [18] na próbie 54 mieszkań wyposażonych w ogrzewanie ścienne przyniosło pozytywną ocenę tego systemu przez użytkowników. 96% mieszkańców wybrałoby ponownie ogrzewania ścienne. Jednak jednocześnie okazało się, że w trakcie projektowania i wykonywania tych instalacji, powstało wiele problemów, które musiały być poprawione w czasie, kiedy mieszkania te były już zamieszkałe. I chociaż problemy te udało się rozwiązać, to sam fakt ich zaistnienia może mieć negatywny wpływ na powszechne postrzeganie tego systemu grzewczego. Dlatego bardzo istotne jest prawidłowe projektowanie i wykonywanie instalacji.



Rys. 4. Rozkład odpowiedzi na pytanie „Czy system ogrzewania niskotemperaturowego przyczynia się do poprawy klimatu wewnętrznego, czy nie?”. Na podstawie [9].

3. IZOLACJA PRZEWODÓW DOPROWADZAJĄCYCH CIEPŁO

Nowo wznoszone budynki charakteryzują się coraz mniejszym zapotrzebowaniem na ciepło, w związku z tym straty ciepła instalacji mogą mieć coraz większy udział procentowy w całkowitym zużyciu ciepła przez budynek. Dlatego bardzo ważne jest niedopuszczanie do powstawania nadmiernych strat ciepła na doprowadzeniu czynnika do grzejników. W ostatnim okresie istnieje tendencja do prowadzenia w posadzce przewodów zasilających grzejniki. Przewody te bardzo często nie są prowadzone w otulinach izolacyjnych, a jedynie w rurach osłonowych typu peszel, z uwagi na kilkakrotnie niższą cenę w stosunku do otulin izolacyjnych.

Jednak szczelina powietrzna pomiędzy przewodem c.o. i rurą osłonową nie zapewnia wystarczającej izolacji cieplnej. Okazywało się, że właściwości izolacyjne tego rozwiązania są ograniczone. Fakt ten został potwierdzony przez badania doświadczalne i numeryczne przeprowadzone w Instytucie Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej [8, 13].

Należy zwrócić uwagę, że zazwyczaj przewody częściowo zlokalizowane są poza obszarem docelowego pomieszczenia, np. w przedpokoju lub wręcz poza mieszkaniem np. na klatce schodowej. Dlatego niebezpieczne 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. Rzeczywiście, 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 [7, 16]. Niektóre potencjalne straty ciepła przewodu prowadzonego w podłodze przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Niektóre potencjalne straty ciepła przewodu prowadzonego w podłodze. Przekrój pionowy przez budynek.

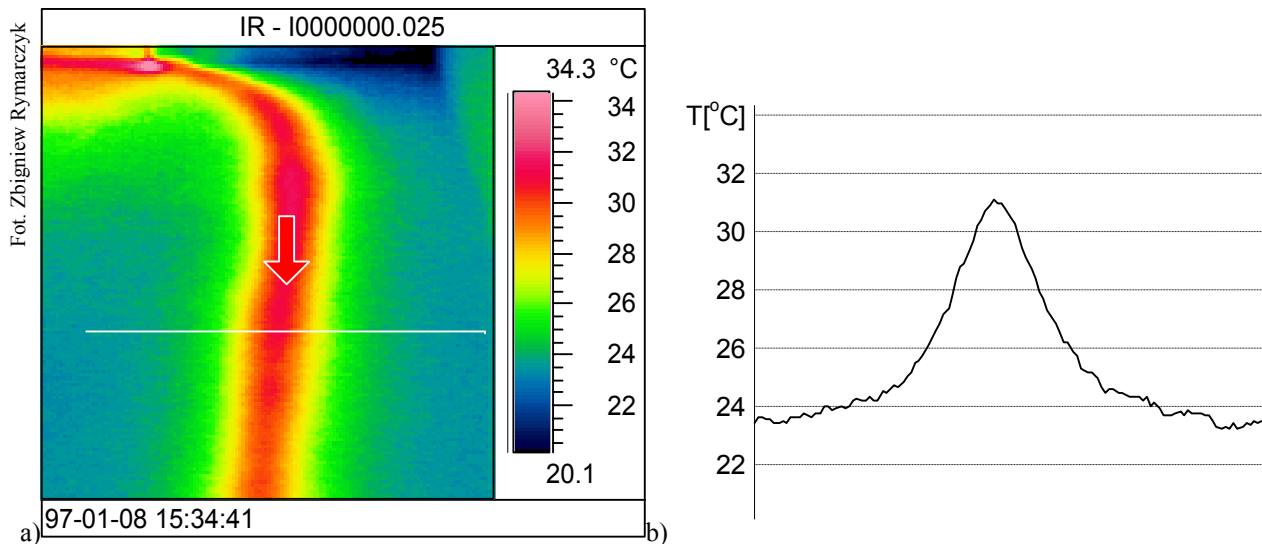
Nierzadko zdarza się, że w przypadku lokalizacji rozdzielaczy na klatkach schodowych i prowadzenia przewodów w peszlu, temperatura powietrza na klatce schodowej przekracza znacznie 20°C. Taka sytuacja nie jest ani komfortowa dla ludzi (zbyt wysoka temperatura dla osób w okryciach zewnętrznych), ani korzystna ekonomicznie (za przegrzewanie klatki schodowej też trzeba płacić).

Podłoga, w której ułożone są przewody centralnego ogrzewania bez odpowiedniej izolacji, działa podobnie, jak grzejnik podłogowy. Tzn. temperatura posadzki jest podwyższona i podłoga przekazuje do pomieszczenia pewien strumień ciepła. Podwyższenie temperatury podłogi może mieć charakter miejscowy, w postaci pasa cieplejszej podłogi na rurami lub dotyczyć większej powierzchni, w pomieszczeniach, przez które przebiega duża ilość rur.

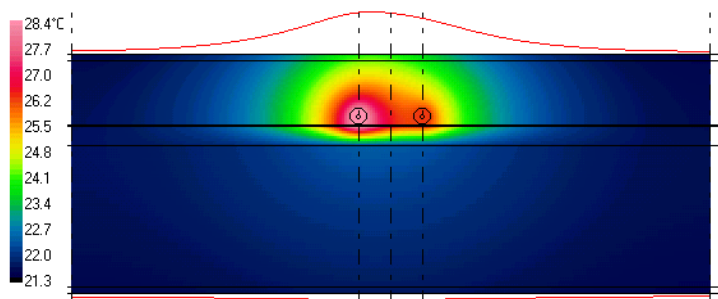
Przykładowe zdjęcie termograficzne podłogi, w której ułożono przewody c.o. w rurze osłonowej typu peszel, zamieszczono na rysunku 6. Natomiast rys. 7 przedstawia pole temperatury w przekroju poprzecznym stropu, wyznaczone z wykorzystaniem modelu numerycznego [13].

W przypadku ogrzewania podłogowego, materiały użyte do budowy podłogi muszą spełniać określone wymagania – nie mogą ani odkształcać się, ani emitować szkodliwych substancji w podwyższonej temperaturze. Natomiast w przypadku prowadzenia w podłodze przewodów c.o., zasilających grzejniki konwekcyjne, materiały podłogowe nie są zazwyczaj dobierane pod kątem pracy przy podwyższonej temperaturze. W związku z tym, istnieje ryzyko uszkodzenia podłogi i emisji szkodliwych substancji.

Dlatego jako standard, przewody prowadzone w podłodze należy układać w otulinie izolacyjnej (np. z pianki polietylenowej albo poliuretanowej). Natomiast peszel można dopuszczać tam, gdzie akceptuje się duże zyski ciepła od podłogi (specyficzne ogrzewanie podłogowo-konwekcyjne), a użyte materiały podłogowe mogą być stosowane w ogrzewaniu podłogowym (nie emitują szkodliwych substancji w podwyższonej temperaturze i nie ulegają odkształceniom).



Rys. 6. a) Przykładowe zdjęcie termograficzne podłogi. Widoczny ślad cieplny przewodów prowadzonych w konstrukcji podłogi.
b) Profil temperatury podłogi, widzianej na zdjęciu a), na wybranym odcinku.

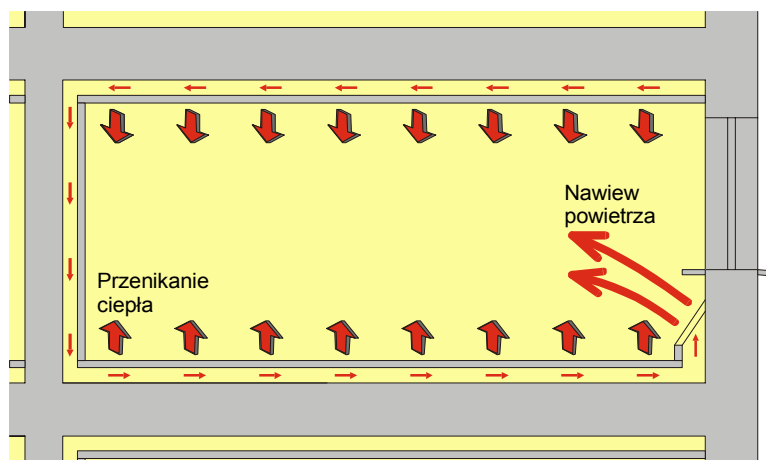


Rys. 7. Przykładowe pole temperatury w przekroju stropu. Przewody prowadzone w peszlu. Symulacja komputerowa [13].

4. ROZWIĄZANIA SZCZEGÓŁOWE

4.1 Płaszczyznowe ogrzewanie powietrzne

Monika Rdzak i Maciej Besler w artykule [10] zaproponowali zastosowanie płaszczyznowego ogrzewania powietrznego w budynkach jednorodzinnych o niskim zużyciu energii. System ten łączy ogrzewanie hypokaustyczne z nawiewem powietrza do ogrzewanego pomieszczenia. Powietrze o temperaturze ok. 25°C przepływa w zamkniętej przestrzeni sufitowej i podłogowej, gdzie oddaje część ciepła poprzez przenikanie, a następnie nawiewane jest do pomieszczenia (rys. 8).

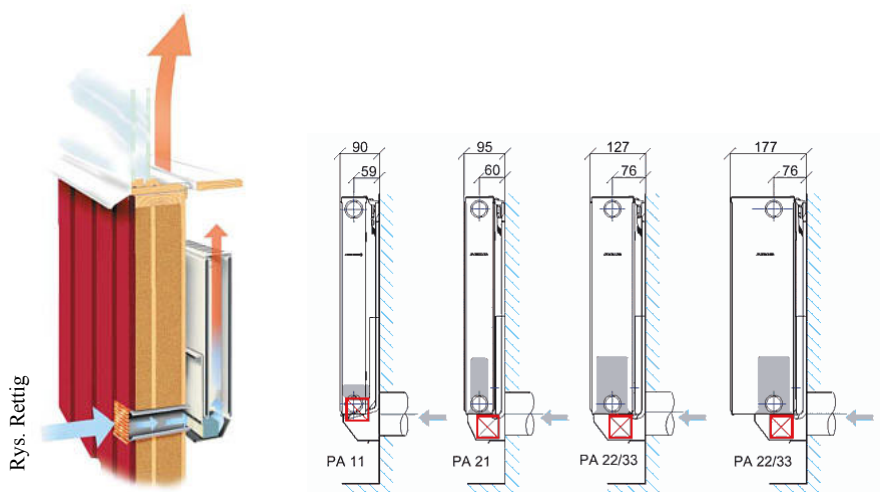


Rys. 8. Schemat ideowy ogrzewania płaszczyznowo powietrznego. Przekrój pionowy przez budynek. Na podstawie [10].

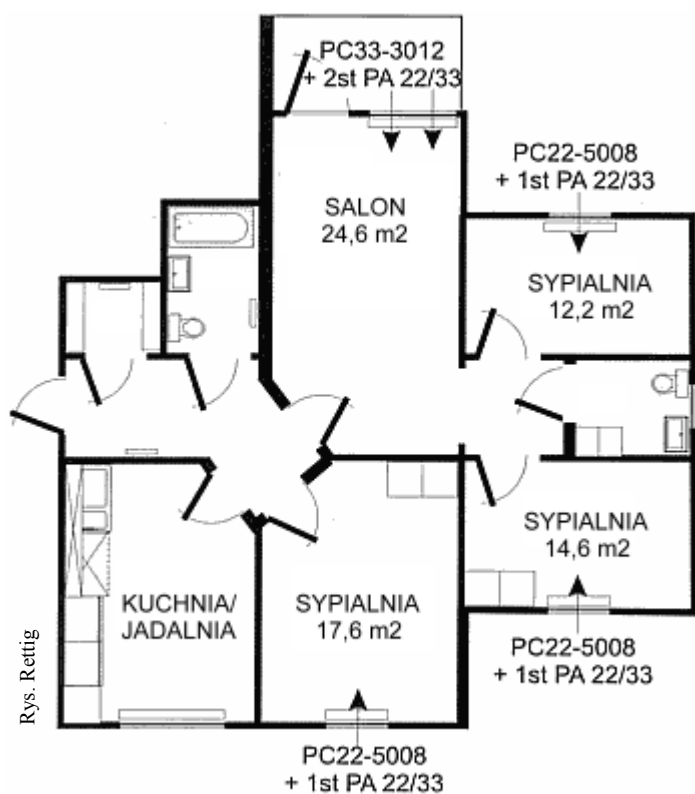
4.2 Grzejnik z nawiewem powietrza zewnętrznego

Innym rozwiązaniem integrującym ogrzewanie z wentylacją jest urządzenie PURMO-AIR. Jest to przystawka do grzejnika płytowego, umożliwiająca nawiewanie do pomieszczenia powietrza zewnętrznego. Powietrze przed dotarciem do przestrzeni pomieszczenia przepływa przez grzejnik płytowy, gdzie się ogrzewa (rys. 9, 10). Urządzenie współpracuje z mechaniczną wentylacją wywiewną, wytwarzającą niewielkie podciśnienie (rzędu 10 Pa).

Przy okazji warto zauważyć, że rozwiązanie to – z uwagi na niską temperaturę powietrza zewnętrznego – zwiększa moc cieplną grzejnika w stosunku do wartości katalogowej.



Rys. 9. Grzejnik płytowy z przystawką wentylacyjną.

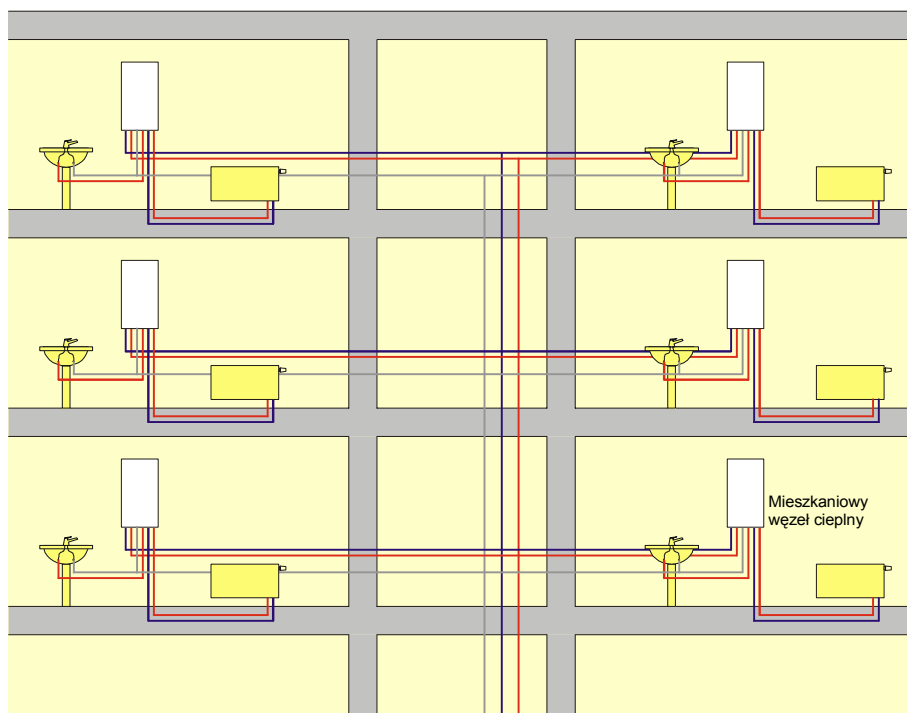


Rys. 10. Zastosowanie przystawek wentylacyjnych do grzejników.

4.3 Mieszkaniowy węzeł cieplny

W ostatnim okresie obserwuje się tendencję do powrotu do ogrzewań mieszkaniowych, co ma w założeniu zapewnić niezależność instalacji w poszczególnych mieszkaniach. Jednak instalowanie kotłów gazowych w każdym mieszkaniu jest rozwiązaniem drogim inwestycyjnie i kłopotliwym z uwagi na konieczność doprowadzenia instalacji gazowej, odpowiedniej wentylacji pomieszczenia, dostarczenia powietrza do spalania oraz odprowadzenia spalin. Natomiast systemy z kotłownią wbudowaną lub jednym węzłem cieplnym dla całego budynku i centralnym przygotowaniem c.w.u. wymagają prowadzenia w obrębie budynku aż pięciu przewodów.

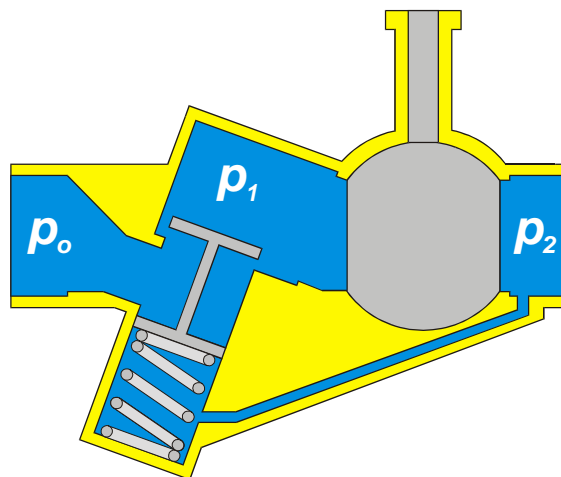
Interesującą alternatywą, zarówno wobec indywidualnych kotłów gazowych, jak i systemów z centralnym przygotowaniem c.w.u i czynnika grzewczego, może być zastosowanie mieszkaniowych węzłów cieplnych z wymiennikami ciepła (rys. 11). Węzły umożliwiają pomiar zużycia wody oraz ciepła na cele ogrzewania i przygotowania c.w.u. Węzły mieszkaniowe mogą być umieszczane w obrębie mieszkania lub na klatce schodowej, co umożliwia łatwy dostęp osobom zajmującym się eksploatacją instalacji.



Rys. 11. Przykładowe rozwiązanie układu technologicznego z węzłami mieszkaniowymi. Na podstawie [3].

4.4 Zawory ze stabilizatorem różnicy ciśnienia

Wahania ciśnienia utrudniają pracę zaworów regulacyjnych. Aby przeciwdziałać temu zjawisku stosuje się m.in. stabilizatory różnicy ciśnienia. Interesującym rozwiązaniem są zawory regulacyjne z wbudowanym stabilizatorem ciśnienia. Zasada działania takiego zaworu została zobrazowana na rys. 12.

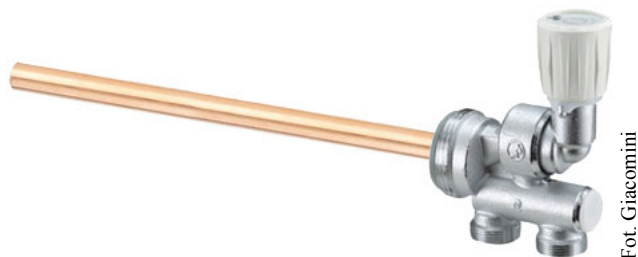


Rys. 12. Zasada działania zaworu regulacyjnego z wbudowanym stabilizatorem różnicy ciśnienia. Na podstawie [5].

4.5 Jedn punktowe przyłącza grzejników

Grzejniki łazienkowe można podłączać „jedn punktowo”, tzn. zasilanie i powrót podłączać do tego samego otworu w grzejniku [6]. Rozwiązanie takie możliwe jest dzięki specjalnym zaworom z wbudowaną rurką nurnikową (rys. 13). W tym przypadku woda zasilająca dopływa, jest niejako wstrzykiwana, rurką wewnętrzną, a woda powracająca przepływa w przestrzeni międzyrurkowej lub odwrotnie.

Jedn punktowe podłączenie grzejnika zabezpiecza przed błędem rozstawu podejść oraz umożliwia w przyszłości łatwiejszą wymianę grzejnika na grzejnik o innym rozstawie otworów przyłączeniowych.



Rys. 13. Zestaw przyłączeniowy grzejnika z rurką nurnikową.

5. PODSUMOWANIE

Systemy ogrzewania budynków podlegają ciągłemu rozwojowi. Dzięki temu możliwe staje się zapewnienie coraz lepszych warunków komfortu cieplnego i warunków higienicznych przy możliwie niskich kosztach i zużyciu energii pierwotnej.

6. PODZIĘKOWANIE

Autor dziękuje panu Zbigniewowi Rymarczykowi (ITGiS Radom) oraz firmom Rettig Värme Ab (Finlandia) i Giacomini S.p.A. (Włochy) za zgodę na wykorzystanie ilustracji (rys. 6, 9, 10 i 13).

Literatura

1. Besler G. J., Jadwiszczak P.: Nowe tendencje w ogrzewaniu, Materiały konferencyjne XII Zjazdu Ogrzewników Polskich „Oszczędność energii a zysk”, Warszawa 17 października 2002.
2. Eijdens H. H. E. W. et al.: Low Temperature Heating Systems: Impact on IAQ, Thermal Comfort and Energy Consumption, LowEx Newsletter no 1, Annex 37, Finland, 2000.
(<http://www.vtt.fi/rte/projects/annex37/annex37tekstiraamissa.htm>)
3. Gawrycki D.: Węzły mieszkaniowe – użytkownik decyduje o zużyciu ciepła, Polski Instalator 3/2004.
4. Górka A.: Rozwiązania układów grzewczych dla budynków o niskim zużyciu energii, Forum Technik Instalacyjnych – Instalacje 2004, Rynek Instalacyjny, Poznań 30 marca 2004.
5. Kołodziejczyk D., Buczek R.: Regulacja przepływu. O zaworach z przepływem niezależnym od wahań ciśnienia, Polski Instalator 1/2004.
6. Kowalski J. K.: Podejścia pod grzejniki, Polski Instalator, 2/2005.
7. Nowak D.: Analiza porównawcza metodyk określania strat ciepła przewodów instalacji c.o. w układzie rozdzielaczowym, praca magisterska, Politechnika Warszawska, Warszawa 2004.
8. Rabjasz R., Strzeszewski M.: Badania strat ciepła przewodów centralnego ogrzewania, prowadzonych w przegrodach budowlanych, Materiały konferencyjne VI Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje 2002. Str. 228-233.
(http://www.is.pw.edu.pl/~michal_strzeszewski/articles/miedzyzdroje2002_badania.pdf)

9. Ramšak P.: Market Introduction of Low Temperature Heating Systems in The Netherlands (status report), Proceedings of International Conference Sustainable Building 2002, Oslo, Norway, 23-25 September 2002.
10. Rdzak M., Besler M.: Płaszczyznowe ogrzewanie powietrzne, Rynek Instalacyjny 1-2/2005.
11. Rubik M.: Nowoczesne rozwiązania w technice ogrzewania, „Instalacje” 4/2000.
(http://www.bud-media.com.pl/instalacje/numery/n/nr04_2000/art26/0400n026.htm)
12. Shukuya M., Hammache A.: Introduction to the Concept of Exergy - for a Better Understanding of Low-Temperature-Heating and High-Temperature-Cooling Systems, VTT Technical Research Centre of Finland, 2002. (<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2158.pdf>)
13. Strzeszewski M.: Model obliczeniowy ogrzewań mikroprzewodowych. Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa 2002.
14. Strzeszewski M.: Charakterystyka ogrzewań niskotemperaturowych, COW nr 12/2002.
15. Strzeszewski M.: Obniżenie zapotrzebowania na ciepło do wentylacji w wyniku zastosowania ogrzewań niskotemperaturowych, Materiały konferencyjne I Konferencji „Nowe techniki w klimatyzacji”, Warszawa 28-29 Maja 2003.
(http://www.is.pw.edu.pl/~michal_strzeszewski/articles/ntwk2003_obnizenie.pdf)
16. Strzeszewski M., Joński M: Porównanie instalacji c.o. w układzie rozdzielaczowym i trójnikowym na przykładzie budynku jednorodzinne, COW 11/2004.
17. de Vries G, Silvester S.: Bewonerservaringen Lage Temperatuursystemen. V&L Consultants / Delft Technical University – design for Sustainability Program. Sittard, NL: NOVEM report LTS 00-8. Holland 2000.
18. Winter R.: Ervaringen met LTV en ZonneGasCombi. I2T Bureau voor DuurzaamBouwen. Sittard, NL: NOVEM Report LTS 01-xx. Holland 2001.