

# IZOLACJE TERMICZNE W ZASTOSOWANIACH PRZEMYSŁOWYCH A OCHRONA ŚRODOWISKA

*Thermal insulations found in industry usage vs. environmental protection*

## STRESZCZENIE

Podstawą oszczędzania ciepła w energetyce jest dobrze zaprojektowana i należyście wykonana izolacja termiczna. Zagadnienie to ściśle wiąże się z ochroną środowiska – mniejsze straty ciepła oznaczają lepsze wykorzystanie mocy i mniejszą ilość spalonego paliwa, czyli mniejszą emisję zanieczyszczeń do atmosfery. W referacie omówiono ustalenia w sprawie przeciwdziałania zmianom klimatycznym, znaczenie izolacji w przemyśle, w technikach kriogenicznych oraz w energetyce, a także sposób wyznaczania ekonomicznej grubości stosowanego ocieplenia.

## ABSTRACT

*Properly designed and executed thermal insulation is the basis of heat conservation in power industry. The issue is closely related to environmental protection - lesser heat losses mean better power usage and less burned fuel, therefore lesser emission of pollutants to the atmosphere. The paper discusses the findings of climatic changes prevention, the importance of thermal insulation found in: industry, cryogenics and energy science, as well as the means to determine a cost-effective thickness of used thermal insulation.*

## WPROWADZENIE

W procesie realizacji inwestycji przemysłowych do niedawna nie doceniano roli izolacji – zarówno jej znaczenia technicznego, jak i ekonomicznego. Skupiano się głównie na robotach ogólnobudowlanych, montażowych, sanitarnych, elektrycznych, automatyce itp. O izolacjach przypomniano sobie dopiero w ostatniej chwili, kiedy zaczynał się rozruch instalacji i było już za mało czasu na ich odpowiednie wykonanie. Takie podejście skutkowało m.in. niską jakością izolacji, nieskutecznością jej zastosowań, brakiem rozwoju badań nad materiałami i technologiami izolacyjnymi oraz niedostateczną metodologią pomiaru skuteczności rozwiązań.

Rozwój technik energooszczędnych (zarówno w budownictwie mieszkaniowym, jak i przemysłowym) nastąpił (lub został bardzo przyspieszony) po kryzysie energetycznym, do którego doszło w 1973 r. Nastąpiła wówczas destabilizacja światowych cen paliw, która wpłynęła na rozwój ciepłownictwa – należne miejsce zajęły w nim izolacje termiczne.

Obecnie wzrost efektywności gospodarowania energią jest podstawą europejskiej polityki energetycznej, która koncentruje się przede wszystkim na poprawie sprawności urządzeń wytwarzających energię, a także na działaniach zmierzających do ograniczenia strat w procesie wytwarzania, przesyłu i wykorzystania. Związane to jest z rosnącym globalnym zapotrzebowaniem na energię oraz koniecznością przeciwdziałania zmianom klimatycznym.

Powstałe w maju 2008 r. Polskie Stowarzyszenie Wykonawców Izolacji Przemysłowych ([www.pswip.pl](http://www.pswip.pl)) stara się upowszechniać wiedzę dotyczącą znaczenia izolacji przemysłowych oraz technik izolacyjnych, inicjować postęp techniczny w tej dziedzinie, nawiązywać współpracę z producentami materiałów izolacyjnych w zakresie wymiany informacji i doświadczeń, edukować kadrę inżyniersko-techniczną oraz wpływać na rozwój szkolnictwa zawodowego (także dla własnych potrzeb – w celu zabezpieczenia wykwalifikowanego potencjału produkcyjnego).

## DWUTLENEK WĘGLA A ZMIANY KLIMATYCZNE

Powszechnie uważa się, że najistotniejszym czynnikiem wpływającym na zmiany klimatyczne jest dwutlenek węgla. Ma on wpływ na wielkość zlodowacenia lub na utrwalenie cieplejszego okresu zwanego interglacją.

Poziom tego związku chemicznego systematycznie wzrasta. Winę za to ponoszą głównie działania człowieka. Od czasów tzw. rewolucji przemysłowej poziom dwutlenku węgla wzrósł o ok. 40% i nadal rośnie, mimo prób jego ograniczenia. W 2010 r. wielkość globalna emisji CO<sub>2</sub> wynosiła 30,0 GT. Największe jego ilości emitowane są przez Stany Zjednoczone, Chiny i Indie. Polska w tym zestawieniu znajduje się na 20. miejscu. Państwa Unii Europejskiej odpowiadają zaledwie za 7% światowej emisji.

Z analiz amerykańskiego Narodowego Centrum Badania Atmosfery wynika, że nawet gdyby zaprzestano emisji gazów cieplarnianych, ocieplenie klimatu utrzymywałoby się jeszcze przez co najmniej 100 lat, ponieważ tyle wynosi czas utrzymywania się dwutlenku węgla w powietrzu.

Zmiany klimatyczne zostały dokładnie przeanalizowane przez naukowców ze służby geologicznej USA i podane do publicznej wiadomości. Opisali oni m.in. zmiany klimatu i życia fauny i flory w ciągu ostatnich 22 lat w górach Arizony. Ich zdaniem istotny wpływ na zmiany klimatyczne ma oprócz dwutlenku węgla sadza, czyli amorficzna postać węgla, oraz metan. Według naukowców z Uniwersytetu Stanforda w Kalifornii sadza odpowiada w ok. 17% za zmiany klimatu. Zwalcza się ją jednak zdecydowanie łatwiej, tym bardziej że utrzymuje się w atmosferze bardzo krótko (zaledwie kilka tygodni).

Zakłada się, że podjęcie zdecydowanej walki z nadprodukcją dwutlenku węgla, sadzy i metanu mogłoby w ciągu 60 lat ograniczyć wzrost średniej globalnej temp. o 2°C. Niemniej jak przewiduje prof. James Hansen z NASA – jeden z najbardziej wpływowych zwolenników tezy o antropogenicznych przyczynach globalnego ocieplenia – już samo utrzymanie takiego tempa wzrostu temperatury może spowodować poważne zmiany klimatyczne, jak topnienie lodów Grenlandii i zachodniej Antarktydy, a w efekcie wzrost poziomu morza w XXI w. nawet o kilka metrów.

Aby skłonić duże przedsiębiorstwa do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla, w 2005 r. wprowadzono system handlu uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub>. Każda firma do 2013 r. miała otrzymać pewną pulę uprawnień do emisji za darmo. Jeżeli wcześniej zainwestowała w technologie niskoemisyjne, powinna dysponować nadwyżką uprawnień do emisji, którą można sprzedać na rynku. Uprawnieniami można handlować na kilku giełdach europejskich. Niestety, już w 2008 r. system ten zaczął podupadać, ponieważ cena uprawnień do emisji za tonę spadła do kilku euro.

## OCHRONA KLIMATU – PRÓBY POROZUMIENIA

W 1997 r. państwa zgromadzone na konferencji klimatycznej w Kioto zobowiązały się do zapewnienia redukcji gazów cieplarnianych. Podpisano protokół, który od samego początku wzbudzał duże kontrowersje. Na obradach kolejnego szczytu, zorganizowanego w 2009 r. w Kopenhadze, miał zostać podpisany w tej sprawie traktat, stanęło jednak na ogólnej deklaracji woli. Kolejne obrady szczytu w Durbanie (2011 r.) doprowadziły do pewnych ustaleń (nazwanych mapą drogową dojścia do nowej umowy klimatycznej angażującej wszystkie kraje), do których udało się przekonać także Stany Zjednoczone, Chiny i Indie – przyjęto, że porozumienie, które będzie dotyczyć wszystkich uczestników konwencji klimatycznej, zostanie zawarte do 2015 r., a do tego czasu będzie obowiązywać przedłużona ważność uzgodnień z Kioto. Uzgodniono też, że kraje bogatsze mają wspierać przedsięwzięcia klimatyczne podejmowane przez kraje rozwijające się. Państwa, które nie osiągną celów uzgodnionych w Kioto, będą musiały kupować uprawnienia do emisji dwutlenku węgla. Wzbudziło to (i nadal wzbudza) kontrowersje: kraje rozwijające się zużywają wprawdzie mniej energii, ale nie musi to wcale oznaczać, że emitują mniej zanieczyszczeń. Przykładowo w ogólnej ocenie stanu środowiska najgorzej wypadają kraje afrykańskie, chociaż mają niską emisję dwutlenku węgla. Pod względem czystości powietrza najlepiej wypada Europa. Poza tym na ratowanie klimatu potrzeba – oprócz pieniędzy – dekad (jeśli nie setek) lat. Niemniej należy docenić, że rządy państw całego świata szukają rozwiązań i dostrzegają konieczność wprowadzania zmian mających chronić atmosferę przed szkodliwymi zanieczyszczeniami klimatycznymi. Dzięki temu efekty ograniczania zmian klimatycznych stają się powoli zauważalne.

W związku z ogólnymi ustaleniami w Unii Europejskiej wdrażana jest dyrektywa 2006/32/UE [1] parlamentu europejskiego z 5 kwietnia 2006 r., zobowiązująca wszystkie kraje członkowskie do zdecydowanych działań na rzecz ochrony klimatu.

## POLSKA A OCHRONA KLIMATU

Polska wpisuje się w globalny program ochrony klimatu m.in. przyjęciem polityki energetycznej do 2030 r. W zeszłym roku uchwalono Ustawę o efektywności energetycznej [2], na mocy której nasz kraj zobowiązuje się do 2020 r. ograniczyć wzrost zużycia energii. Aby zredukować zapotrzebowanie na energię oraz ograniczyć wielkość emisji dwutlenku węgla, wprowadza się tzw. białe certyfikaty.

Istotą naszej polityki energetycznej ma być dążenie do utrzymania tzw. zera energetycznego wzrostu gospodarczego, co oznacza utrzymanie wzrostu gospodarczego bez wzrostu zapotrzebowania na pierwotne surowce energetyczne. Założenie to w Polsce jest szczególnie trudne do zrealizowania, ponieważ ok. 94% energii pochodzi ze spalania węgla kamiennego bądź brunatnego,

a tylko ok. 6% ze źródeł odnawialnych (przykładowo w Szwecji udział tego surowca wynosi tylko 4%, a ponad 50% pochodzi ze spalania odpadów drzewnych i komunalnych). Duży opór budzi również pomysł budowy elektrowni jądrowej.

Poprawa gospodarowania energią wynikająca z realizacji polityki energetycznej wymusza następujące działania:

- » zapewnienie zwiększenia sprawności urządzeń energetycznych,
- » dążenie do ograniczenia strat ciepła w procesie jego wytwarzania,
- » redukcję strat ciepła w przesyśle,
- » poprawę efektywności wykorzystania wytworzonej energii,
- » zastępowanie tradycyjnych źródeł pozyskiwania energii źródłami odnawialnymi.

## IZOLACJE W ENERGETYCE I PRZESYLE – STAN OBECNY I PROGNOZY

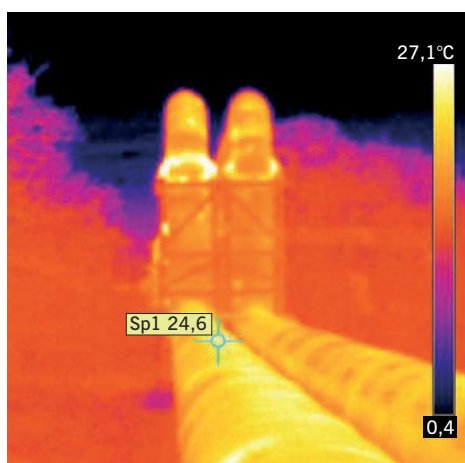
Badania przeprowadzone za pomocą termowizji (FOT.) świadczą o tym, że w Polsce stan izolacji rur przesyłowych nie jest zadowalający. Przyczyną są dalekie od doskonałości materiały, niewystarczająca grubość warstwy izolacji właściwej, liczne mostki cieplne, niestaranna izolacja armatury, liczne miejsca braku izolacji itd. Wszystko to sprawia, że ilość traconego ciepła jest znacznie większa niż dopuszczalna. Od wieloletnich izolacji nie można oczywiście oczekiwać zbyt wiele. Bez wątplenia powinny one zostać gruntownie zmodernizowane. Należałoby rozważyć zastosowanie skuteczniejszego materiału, nowych rozwiązań konstrukcyjnych, a przede wszystkim inaczej obliczyć grubość warstwy.

Pojawia się także zapotrzebowanie na nową usługę – możliwość dostarczania ciepła przez cały rok, przy wyeliminowaniu sezonowości dostaw. Wynika to z konieczności zapewnienia komfortu użytkownika latem przy jednoczesnej możliwości magazynowania ciepła w celu pełnego wykorzystania w okresie grzewczym. Oszczędność tego rozwiązania wynika też z faktu, że ok. 35% ciepła wytwarza się w układach kogeneracyjnych. Szacuje się, że w dalszej perspektywie aż ok. 50% bloków energetycznych w naszych elektrowniach musi zostać wymienionych lub zmodernizowanych. Należy również podkreślić, że rury przesyłowe w ponad 50% stanowią system rur preizolowanych.

Jak podała ostatnio firma badawcza PMR, szacuje się, że w ciągu najbliższych 10–15 lat budowa nowych mocy wytwórczych w energetyce i sieciach przesyłowych pochłonie co najmniej 100 mld zł.

### ZNACZENIE IZOLACJI PRZEMYSŁOWYCH

W poprawie gospodarowania energią bardzo duże znaczenie ma jakość stosowanych izolacji termicznych. Obszar zastosowania izolacji jest bardzo rozległy: począwszy od kriogeniki



FOT. Obraz termowizyjny rur przesyłowych;

fol.: Polskie Stowarzyszenie Wykonawców Izolacji Przemysłowych

przez chłodnictwo, budownictwo, ciepłownictwo, heliotechnikę aż po metalurgię, energetykę, pożarnictwo i przemysł chemiczny.

Izolacje przemysłowe stosowane są w instalacjach i urządzeniach, w których istnieje potrzeba zapewnienia określonej temperatury i ograniczenia strat ciepła, np. w przemyśle chemicznym i petrochemicznym. Stosowanie izolacji wynika także z konieczności oszczędzania energii, m.in. w urządzeniach wytwarzających i przesyłających energię cieplną (kotłach, rurociągach cieplnych, turbinach). Warstwa izolacyjna umożliwia także bezpieczną obsługę urządzeń i instalacji (ochrona przed poparzeniem). Ponadto istnieją procesy chemiczne i metody magazynowania niektórych substancji wymagające utrzymywania niskich lub bardzo niskich temperatur (np. LNG). Należy wówczas zastosować izolację zimnochronną, która uniemożliwi przepływ ciepła z otoczenia do wnętrza urządzenia, w którym może panować temp. nawet  $-150^{\circ}\text{C}$ . Jest to niezwykle trudne zadanie. Również w odniesieniu do izolacji zimnochronnej wzrost wartości współczynnika przewodzenia ciepła zmniejsza jej wydajność.

## PRZEPLÝW CIEPŁA A STRATY ENERGII

Zjawisko przepływu ciepła jest w wielu przypadkach niepożądane, powoduje bowiem straty energii, przyczynia się do zmniejszenia sprawności procesów wykorzystujących ciepło oraz uniemożliwia ochronę przed nadmierną temperaturą. Wiadomo, że całkowite wyeliminowanie przepływu ciepła między ośrodkami o różnych temperaturach nie jest możliwe. Zadaniem techniki izolacyjnej jest zmniejszenie gęstości strumienia ciepła przepływającego od ciała (ośrodka) A do ciała (ośrodka) B. Można to osiągnąć dzięki zastosowaniu odpowiednich warstw materiałów mających szczególne właściwości fizyczne.

Przepływ ciepła jest zjawiskiem powszechnym, występującym w przyrodzie i technice. Zgodnie z prawem Fouriera odbywa się on zawsze między ciałami (ośrodkami) o różnych temperaturach według równania:

$$q = -\lambda \Delta T \quad (1),$$

gdzie:

$\lambda$  – współczynnik przewodzenia ciepła,

$\Delta T$  – gradient temperatury.

Gęstość strumienia ciepła w ścianie znajdującej się między dwoma ośrodkami termicznymi określa się według wzoru:

$$q = (T_{s1} - T_{s2}) \quad (2),$$

gdzie:

$g$  – grubość ścianki,

$T_{s1}$  – temperatura na wewnętrznej powierzchni ścianki,

$T_{s2}$  – temperatura na zewnętrznej powierzchni ścianki.

Całkowity strumień ciepła przewodzony przez rozpatrywaną ściankę o powierzchni  $F$  wynosi:

$$Q = q \cdot F \quad (3),$$

czyli gęstość strumienia pomnożona przez powierzchnię wymiany ciepła. Współczynnik ten określany jest przez następujące wielkości:

- » różnicę temperatur między zewnętrznymi powierzchniami warstwy izolacji  $\Delta T$ ,
- » współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$ ,
- » grubość warstwy izolacji  $g$ ,
- » pole powierzchni przepływu ciepła  $F$ .

W technice izolacyjnej występują trzy ciała, pomiędzy którymi odbywa się przepływ ciepła, a mianowicie:

- » ciało chronione przed niepożądanymi stratami ciepła,
- » ciało nagrzewane, czyli odbierające ciepło,
- » izolacja zmniejszająca intensywność przepływu ciepła.

Przepływ ciepła w warstwie izolacyjnej jest wynikiem wielu złożonych procesów i odbywa się trzema różnymi pod względem fizycznym sposobami, a mianowicie: przewodzeniem, przejściem drogą konwekcji i promieniowaniem cieplnym.

O tym, jak duży wpływ ma zjawisko przepływu ciepła na straty energii, można się przekonać na podstawie analizy przywoływanej w pracy J. Górzyńskiego [3]: strumień ciepła tracony przez nieizolowaną powierzchnię zewnętrzną rurociągu o długości 1 m i średnicy zewnętrznej  $\varnothing 324$  mm, transportującego czynnik grzewczy o temp. wewnętrznej  $300^{\circ}\text{C}$ , wyliczony na podstawie prawa Fouriera, wynosi 2560 W/m. Po nałożeniu odpowiedniej warstwy izolacji strata ulega pomniejszeniu do 160 W/m. Gdyby przyjąć, że czas pracy instalacji wynosi 6600 godz. rocznie, oznaczałoby to, że brak izolacji powoduje stratę wyrażającą się zużyciem węgla w ilości 2,5 ton rocznie (1 m.b.!).

Na podstawie tego przykładu widać, że właściwa, odpowiednio dobrana i zwymiarowana oraz należycie wykonana izolacja jest narzędziem ekonomii w energetyce.

## KRYTERIA DOBORU IZOLACJI

Odpowiednio dobrana izolacja przemysłowa wpływa nie tylko na oszczędność kosztów energii, lecz także na prawidłowe działanie instalacji technologicznej.

Wymiary i rodzaj izolacji powinny być tak dobrane, by zapewnić:

- » jak najmniejsze straty ciepła do otoczenia,
- » utrzymanie temperatury powierzchni zewnętrznej aparatu lub rurociągu na odpowiednio niskim poziomie,
- » utrzymanie temperatury procesu wewnątrz aparatu lub nośnika ciepła na jak najwyższym poziomie.

O wyborze rodzaju izolacji i jej grubości decyduje wiele czynników. Można je podzielić na trzy grupy:

- » cieplne,
- » techniczne, wynikające z warunków zastosowania,
- » technologiczne i ekonomiczne.

Aby izolacja była w pełni skuteczna, powinna spełniać przynajmniej podstawowe wymogi, do których zalicza się:

- » efektywność cieplną, zależną od właściwości zastosowanych materiałów (niskiej wartości współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$ ),
- » stabilność właściwości cieplnych w czasie,
- » niezależność właściwości cieplnych od położenia geograficznego,
- » niską zawartość wilgoci i małą zdolność jej absorpcji z otoczenia,
- » łatwość uzyskiwania próżni (dotyczy to zarówno materiałów włóknistych, jak i porowatych),
- » odporność na szybkie zmiany temperatury.

W związku z tymi wymaganiami niezbędnymi cechami materiałów izolacyjnych są:

- » gęstość właściwa materiału izolacyjnego,
- » właściwości wytrzymałościowe,
- » rozszerzalność objętościowa,
- » odporność na szok termiczny,
- » nieszkodliwość dla człowieka,
- » nieszkodliwość dla środowiska.

Obecnie najczęściej stosuje się:

- » należące do grupy materiałów włóknistych wyroby z wełny mineralnej, jak wełna luzem, mata termoizolacyjna, mata lamelowa, filc termoizolacyjny, płyta termoizolacyjna, płyta lamelowa, płyta termoizolacyjna warstwowa, materac izolacyjny, otulina termoizolacyjna, kształtka termoizolacyjna, sznur termoizolacyjny w oplocie lub okładzinie, ceramiczne włókniste materiały ogniotrwałe, włókna glinokrzemianowe, włókniste wykładziny glinokrzemianowe,
- » należące do grupy materiałów porowatych wyroby z twardej pianki poliuretanowej (PUR), z pianki poliizocyanurowej (PIR), pianki nakładane przez bezpośredni natrysk, elastyczne wyroby z pianki poliuretanowej (PUF), styropian (EPS), polistyren ekstrudowany (XPS), wyroby z pianki mocznikowo-formaldehydowej, wyroby z elastycznej pianki melaminowej, spieniony kauczuk nitylowy, sztywna pianka fenolowa, wyroby z pianki polietylenowej, wyroby ze szkła piankowego, aerozele, a także ceramiczne materiały porowate, mikroporowate materiały krzemionkowe, silikatowe wyroby porowate,
- » należące do grupy materiałów ziarnistych wyroby z ziemi okrzemkowej, wyroby oparte na tlenkach glinu i magnezu, tlenkach cyrkonu, perlit i aerozele sproszkowane, wyroby na bazie korka, granulowany polistyren itp.,
- » wyroby należące do grupy izolacji panelowych i próżniowych (VIP),
- » wyroby składające się z materiałów należących do różnych grup, tworzące system warstwowy, np. otuliny z wełny mineralnej otoczone otulinami z poliuretanu i ostionięte przyklejoną folią aluminiową.

Każdy z wymienionych wyrobów ma określone właściwości związane z ograniczeniem przepływu ciepła, które wynikają z jego struktury. Ważne jest pochodzenie materiału oraz sposób jego wytwarzania.

W najnowszych systemach izolacyjnych dąży się do zmniejszenia wartości współczynnika przewodzenia ciepła, ograniczenia ciężaru objętościowego, zwiększenia porowatości zamkniętej, ograniczenia zdolności absorpcyjnych wilgoci z otoczenia i wydłużenia czasu zachowania początkowych właściwości fizycznych.

Aby warstwy izolacyjne mogły trwale pełnić swoją funkcję, muszą być także dostatecznie chronione przed negatywnym działaniem zewnętrznych czynników mechanicznych i wilgoci.

W izolacjach przemysłowych bardzo ważny jest odpowiednio dobrany i szczelnie wykonany płaszcz ochronny. Może to być płaszcz mokry (w pomieszczeniach zamkniętych) lub płaszcz suchy z blachy, najczęściej stalowej ocynkowanej albo aluminiowej. Dobór blachy przeznaczonej na płaszcz ochronny zależy od warunków pracy płaszczu. W otoczeniu zewnętrznym (w środowisku) narażonym na działanie czynników chemicznych stosuje się blachę aluminiową. Materiał ten jest jednak niewystarczający do zapewnienia ochrony mechanicznej. Blacha stalowa natomiast skuteczniej chroni izolację pod względem mechanicznym, nie jest za to odporna na chemiczne oddziaływanie środowiska.

## OBLICZANIE OPTYMALNYCH PARAMETRÓW

8

Dobra izolacja to taka, która w najwyższym stopniu ogranicza straty ciepła, zmniejsza zużycie surowców pierwotnych, a w związku z tym ogranicza wielkość emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Aby izolacja przemysłowa mogła sprostać tym wymogom, musi mieć odpowiednią grubość, wynikającą z precyzyjnych obliczeń, powinna być zamontowana zgodnie z zasadami wiedzy technicznej (tzn. w maksymalnym stopniu pozbawiona mostków cieplnych), wykonana z najwyższą starannością, szczególnie w takich miejscach, jak armatura, połączenia kołnierzone, urządzenia kontrolno-pomiarowe, podpory, konstrukcje wsporcze itd.

Wymaganiem podstawowym z punktu widzenia poprawności użytkowania energii jest określenie maksymalnie dopuszczalnych jednostkowych strat ciepła przez powierzchnie zewnętrzne izolowanych przegród ( $q$ ) w funkcji grubości  $g$ . W odniesieniu do powierzchni płaskiej oblicza się ją według wzoru:

$$g = \frac{\lambda_m(T_w - T_z)}{q} \quad (4),$$

w odniesieniu do powierzchni walcowej (cylindrycznej):

$$g = 0,5d_w \left( \frac{2\pi\lambda_m(T_w - T_z)}{q} - 1 \right) \quad (5),$$

gdzie:

$d_w$  – średnica wewnętrzna rurociągu,

w odniesieniu do ściany przewodu o przekroju prostokątnym:

$$g = \frac{\lambda_m(T_w - T_z)(P_e + P_i)}{2q} \quad (6),$$

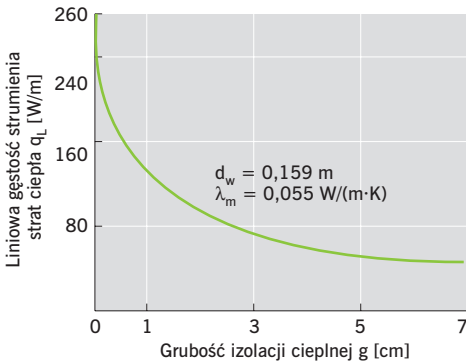
gdzie:

$P_e$  – zewnętrzny obwód przewodu,

$P_i$  – wewnętrzny obwód przewodu.

Jeśli założy się jako wielkości stałe wymiary przegrody oraz różnice temperatur wewnątrz i na zewnątrz, równania (4)–(6) ustawiają grubość izolacji w funkcji jednostkowych strat ciepła dokonywanych przez tę przegrodę. Nie oznacza to jednak, że skutek dowolnego powiększenia grubości można doprowadzić do całkowitego wyeliminowania strat ciepła. Zwiększanie grubości izolacji powoduje bowiem wzrost powierzchni jej styku z otoczeniem, a to oznacza





RYŚ. 1. Zależność między gęstością strumienia strat ciepła a grubością warstwy izolacyjnej; rys.: Polskie Stowarzyszenie Wykonawców Izolacji Przemysłowych

- » dostarczać nośnik ciepła przy jak najniższym spadku jego parametrów;
- » zapewniać niższą niż dopuszczalna temperaturę powierzchni zewnętrznej przegrody;
- » zabezpieczać przed wystąpieniem skraplania pary na powierzchni zewnętrznej przegrody;
- » mieć zabezpieczenie przed możliwością zamarzania nośnika ciepła.

## EKONOMICZNA GRUBOŚĆ IZOLACJI

Podczas projektowania izolacji cieplnych warto wykonać analizę ekonomiczną, która umożliwia:

- » zbadanie opłacalności przedsięwzięć usprawniających użytkowanie energii związanych z zastosowaniem izolacji,
- » porównywanie kilku wariantów usprawnienia w celu dokonania wyboru rozwiązania najkorzystniejszego ekonomicznie,
- » określenie ekonomicznie uzasadnionych wymiarów izolacji.

W większości sytuacji analiza wykaże konieczność zwiększenia grubości izolacji.

Ekonomiczna optymalizacja grubości warstwy izolacyjnej w uproszczeniu polega na tym, aby wzrostowi kosztów zwiększonej grubości izolacji towarzyszył przynajmniej taki sam spadek kosztów energii cieplnej w czasie  $t$  eksploatacji urządzenia wyposażonego w tę izolację. Określają ją odpowiednie obliczenia, a mianowicie:

- » roczna oszczędność kosztów wynikających ze zmniejszonego zużycia energii:

$$-\Delta E = -\Delta Q e \quad (7),$$

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (8),$$

$$\Delta E = E_1 - E_2 \quad (9),$$

gdzie:

$\Delta E$  – roczna oszczędność kosztów energii [zł/rok],

$\Delta Q$  – roczne zmniejszenie zużycia ciepła [MJ],

$e$  – jednostkowy koszt energii [zł/MJ];

zwiększanie wielkości strumienia ciepła przemianowanego od powierzchni zewnętrznej przez otoczenie.

Na RYS. 1 przedstawiono zależność między gęstością strumienia strat ciepła a grubością warstwy izolacyjnej.

Stanowi to uzasadnienie dla starannego doboru warstwy izolacji, opartego na gruntownej analizie jej właściwości i sposobu wykorzystania.

Każda warstwa izolacyjna powinna spełniać następujące kryteria techniczne:

- » mieć wysoką sprawność energetyczną i niską wartość strumienia ciepła traconego do otoczenia;

» oszczędność kosztów energii w poszczególnych latach t:

$$\Delta E_t = -\Delta E_0 (1+s)^t \quad (10),$$

gdzie:

s – średnia w okresie eksploatacji stopa wzrostu cen energii,

$E_0$  – koszt energii w roku bazowym.

Aby obliczyć opłacalność przedsięwzięcia w czasie, należy porównać oszczędności kosztów energii w czasie t z wydatkami poniesionymi na modernizację  $J_0$ . Służy do tego bieżąca wartość netto NPV (*Net Present Value*), otrzymana przez zdyskontowanie oddzielnie dla każdego roku przepływów pieniężnych w całym okresie eksploatacji przedsięwzięcia:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \alpha_t CF_{t\alpha} - J_0 \quad (11),$$

gdzie:

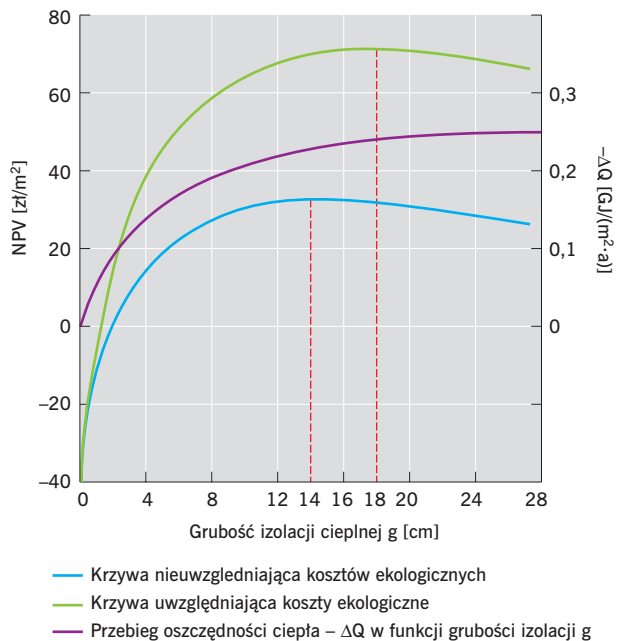
$\alpha_t$  – współczynnik dyskontujący liczony jako  $\frac{1}{(1+r)^t}$ ,

r – stopa dyskonta.

Z równania (11) wynika, że zwiększenie grubości izolacji przyczynia się wprawdzie do wzrostu kosztów inwestycji lub realizacji przedsięwzięcia, ale także do obniżenia kosztów dostarczonej lub wyprodukowanej energii cieplnej. Zmiana tych dwóch wielkości przy zwiększeniu grubości daje podstawę do ustalenia ekonomicznie uzasadnionej grubości izolacji, przy której wartość NPV osiąga wielkość maksymalną, czyli:

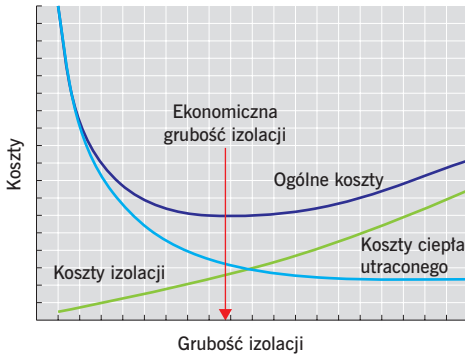
NPV → maks. to g → g opt.

Jednym z zastosowań bieżącej wartości netto jest użycie jej w analizach ekonomicznej opłacalności realizacji przedsięwzięć modernizacyjnych lub inwestycyjnych jako kryterium wyboru najkorzystniejszego z rozpatrywanych rozwiązań. Dzięki temu narzędziu można określić optymalną grubość nowo zakładanej lub dodatkowo uzupełnianej warstwy izolacji. Kryterium tej grubości najczęściej okazuje się warunek maksymalizacji efektu ekonomicznego NPV, wyrażonego w bieżącej wartości pieniądza. Na RYS. 2 pokazano przebieg



RYS. 2. Przebieg wartości NPV w funkcji grubości warstwy izolacji;

rys.: Polskie Stowarzyszenie Wykonawców Izolacji Przemysłowych



**RYS. 3. Wyznaczanie ekonomicznej grubości izolacji;**

rys.: Polskie Stowarzyszenie Wykonawców Izolacji Przemysłowych

na wykresie zamieszczonym na **RYS. 3**, przy małych grubościach izolacji jej koszty są niewielkie, za to bardzo duże są koszty strat ciepła. Wraz ze wzrostem grubości izolacji wzrastają koszty izolacji, a maleje koszt traconego ciepła. Przy odpowiedniej grubości te dwa parametry osiągną tę samą wartość – w punkcie przecięcia się krzywej kosztów izolacji z krzywą kosztów strat ciepła wyznaczona zostaje optymalna grubość, zwana ekonomiczną grubością izolacji.

## CZAS ZWROTU INWESTYCJI

Przybliżoną ocenę opłacalności usprawnienia można wykonać za pomocą następnego narzędzia ekonomicznego – PB (*Pay Back* – zwrot nakładów). Umożliwia ono:

- » sprawdzenie, czy przedsięwzięcie nie jest obciążone zbyt dużym ryzykiem i czy suma nakładów finansowych w ogóle podlega zwrotowi;
- » wstępne oszacowanie okresu zwrotu poniesionych nakładów;
- » podjęcie optymalnej decyzji dotyczącej wyboru rozwiązania zapewniającego jak najszybsze odzyskanie nakładów początkowych.

Prosty okres zwrotu nakładów SPB (*Simple Pay Back*) wyraża okres niezbędny do odzyskania początkowych nakładów poniesionych na dane usprawnienie. Można go wyliczyć za pomocą równania:

$$SPB = \frac{J_0}{-\Delta E_0 - \Delta R_0} \quad (12),$$

gdzie:

- $J_0$  – początkowy nakład inwestycyjny,
- $-\Delta E_0$  – roczna oszczędność kosztów energii,
- $-\Delta R_0$  – roczne zmniejszenie kosztów remontu izolacji.

Okres zwrotu nakładów PB, określony jako czas niezbędny do odzyskania nakładów początkowych poniesionych na realizację przedsięwzięcia, to okres, w którym wpływy uzyskane w wyniku modernizacji zrównają się z początkowym nakładem inwestycyjnym  $J$ . Oblicza się go według wzoru:

wartości NPV w funkcji grubości warstwy izolacji. Krzywa 1 nie uwzględnia kosztów ekologicznych, krzywa 2 obejmuje koszty efektów ekologicznych, a krzywa 3 ilustruje przebieg oszczędności ciepła –  $\Delta Q$  w funkcji grubości izolacji  $g$ . W pierwszym przypadku maksymalnej wartości NPV odpowiada optymalna grubość izolacji  $g = 140$  mm, w drugim – NPV maks. występuje przy  $g = 180$  mm z powodu pokrycia dodatkowych kosztów za poniesione szkody ekologiczne.

To samo zagadnienie można przedstawić za pomocą zależności kosztów traconego ciepła i kosztów izolacji od jej grubości. Jak widać

$$PB = \frac{J}{Z} \quad (13),$$

w którym:

$$Z = D + A + F \quad (14),$$

gdzie:

D – dochód zmniejszony o podatek,

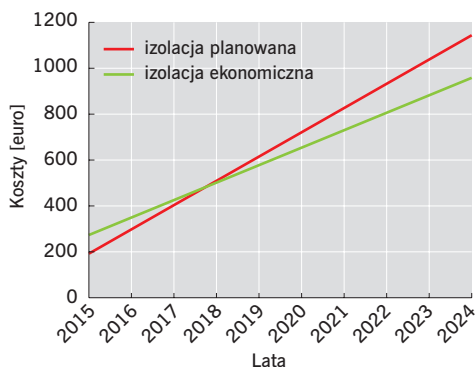
A – amortyzacja,

F – koszty obsługi finansowej (odsetki od kredytów).

Na RYS. 4 przedstawiono analizę zwrotu nakładów poniesionych na zmianę grubości izolacji rurociągu pary o średnicy  $\varnothing$  324 i temp. wewnętrznej 385°C ze 150 mm na wyliczoną izolację ekonomiczną g gr. 230 mm.

Jak widać na RYS. 4, wstępnie poniesione większe nakłady na tzw. ekonomiczną izolację już po 37 mies. wyrównują się z kosztami izolacji tradycyjnej, by później przez zauważalną redukcję kosztów energii przynieść pokaźne zyski. Warto też pamiętać, że ekonomiczna izolacja to nie tylko ograniczenie strat ciepła

w celu osiągnięcia określonych efektów finansowych, lecz także zmniejszenie zużycia pierwotnych surowców energetycznych i ograniczenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery.



RYS. 4. Przybliżony czas zwrotu inwestycji;

rys.: Polskie Stowarzyszenie Wykonawców Izolacji Przemysłowych

## PODSUMOWANIE

Przewidywanemu wzrostowi światowego zapotrzebowania na energię – o ok. 44% do 2030 r. – ma towarzyszyć ograniczenie o blisko 20% strat ciepła związanych z koniecznością zmniejszenia emisji dwutlenku węgla. Rzeczywisty wzrost wytwarzania energii cieplnej wyniesie zatem niewiele ponad 30%. Ma także wzrosnąć wykorzystanie energii powstałej ze źródeł odnawialnych.

Ilość wytwarzanego ciepła i emisji dwutlenku węgla zależą m.in. od jakości izolacji przemysłowych. Skuteczna izolacja oznacza bowiem mniejsze straty ciepła oddawanego do atmosfery i lepsze wykorzystanie wytworzonej energii cieplnej. Mniejsze straty ciepła oznaczają mniejsze zapotrzebowanie na produkcję energii, a więc mniejsze zużycie pierwotnych surowców energetycznych oraz zmniejszenie emisji pochodnych produktów spalania do atmosfery.

Aby izolacja rzeczywiście przyczyniała się do oszczędzania energii cieplnej i zapewniała optymalne warunki do pracy urządzeń, potrzeba wiedzy, umiejętności i staranności pracy kadry inżyniersko-technicznej i pracowników produkcyjnych. Potrzeba też czasu na wykonanie robót zgodnie z dokumentacją techniczną, normami i innymi przepisami określającymi wymogi stawiane izolacjom.

## LITERATURA

1. Dyrektywa 2006/32/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/EWG (DzUrz L 114 z 27.4.2006, s. 64–85).
2. Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej (DzU z 2011 r. nr 94, poz. 551).
3. J. Górzyński, „Przemysłowe izolacje ciepłe”, Wydawnictwo Sorus, Poznań 1996.
4. H. Gascha, S. Pflanz, „Fizyka. Kompendium”, Świat Książki, Warszawa 2005.
5. C. Borowski, „Fizyka. Krótki kurs”, WNT, Warszawa 1995.
6. E. Kostowski, „Przeptyw ciepła”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1991.
7. S. Wiśniewski, „Wymiana ciepła”, PWN, Warszawa 1979.
8. J. Górzyński, „Audyting energetyczny obiektów przemysłowych”, Fundacja Poszanowania Energii, Warszawa 1995.
9. M. Dobija, „Elementy rachunkowości zarządczej”, Fundacja Rozwoju Rachunkowości Zarządczej w Polsce, Warszawa 1991.
10. M. Dąbkowski, „Efektywność inwestycji według Banku Światowego”, Centrum Informacji Menadżera, Warszawa 1999.
11. „Encyklopedia fizyki współczesnej”, PWN, Warszawa 1994.

**RYSZARD BORKOWSKI** ukończył Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Zawodowo związany jest z branżą izolacyjną. Zajmował się projektowaniem i wykonawstwem termicznych izolacji przemysłowych wielu obiektów, od Huty Katowice, przez Petrochemię Płock (później Orlen), Rafinerię Gdańską (Lotos), Zespół Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin, Celulozę Świecie, po liczne elektrownie w Niemczech. Był prezesem firmy izolacyjnej Izokor Płock. Obecnie jest sekretarzem Polskiego Stowarzyszenia Wykonawców Izolacji Przemysłowych. Jest autorem wielu publikacji na temat roli i znaczenia izolacji w budownictwie, energetyce i przemyśle, znaczenia i zakresu stosowania izolacji ekonomicznych, roli izolacji w procesie ochrony środowiska itp.