

## Ekonomiczne izolacje termiczne

Ostatnio coraz częściej mówi się i pisze o konieczności oszczędzania energii. Jak gdyby powraca trend, który był mocno artykułowany w drugiej połowie lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Wówczas, bezpośrednio po kryzysie energetycznym, który spowodował destabilizację światowych cen paliw, w krajach rozwiniętych nastąpił ogromny rozwój techniki i technologii promujących oszczędność energii w przemyśle i budownictwie. Był to „złoty czas” także dla rozwoju techniki izolacyjnej, zarówno w dziedzinie materiałów termoizolacyjnych, jak i w sferze naukowo-badawczej. Obecnie, mimo iż inne czynniki wpływają stymulująco na podniesienie efektywności gospodarowania energią, to konieczność jej oszczędzania staje się znowu bardzo istotna, zważywszy na rosnące globalne zapotrzebowanie oraz konieczność przeciwdziałania zmianom klimatycznym. Wzrost efektywności gospodarowania energią legł u podstaw europejskiej polityki energetycznej, która koncentruje się przede wszystkim na poprawie sprawności urządzeń wytwarzających energię, a także na działaniach zmierzających do ograniczenia strat zarówno w procesie wytwarzania, przesyłu jak i wykorzystania ciepła. Znowu, jak przed laty, zasadniczego znaczenia nabiera izolacja termiczna. Zmniejszenie strat wytworzonego ciepła, to podstawowe zadanie techniki izolacyjnej, która zmniejsza gęstość strumienia traconego ciepła przez zastosowanie pomiędzy ośrodkami je wymieniającymi, warstwy materiałów o odpowiednich właściwościach fizycznych i odpowiedniej grubości, co prowadzi do redukcji ciepła traconego poza układem.

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 następującego równania:

$$q = -\lambda \Delta T, \text{ gdzie } \lambda - \text{współczynnik przewodzenia ciepła, a } \Delta T - \text{gradient temperatury}$$

Gęstość strumienia ciepła w ścianie znajdującej się pomiędzy dwoma ośrodkami termicznymi określamy wzorem:

$q = \frac{\lambda}{g} (T_{s1} - T_{s2})$ , gdzie  $g$ - grubość ścianki,  $T_{s1}$ - temperatura na wewnętrznej powierzchni ścianki,  $T_{s2}$ - temperatura na zewnętrznej powierzchni ścianki.

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

$Q = q F$  - czyli gęstość strumienia pomnożona przez powierzchnię wymiany ciepła i określają go następujące wielkości;

- różnica temperatur pomiędzy zewnętrznymi powierzchniami warstwy izolacji  $\Delta T$
- współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$
- grubość warstwy izolacji  $g$
- pole powierzchni przepływu ciepła  $F$

Przepływ ciepła w warstwie izolacyjnej jest wynikiem wielu złożonych procesów i odbywa się trzema zasadniczo różnymi sposobami pod względem fizycznym. Są to przewodzenie, przejmowanie i promieniowanie cieplne.

O tym, że zjawisko przepływu ciepła wymaga zdecydowanego przeciwdziałania ograniczającego straty energii, świadczy często przywoływany w literaturze przedmiotu (3) przykład: Strumień ciepła tracony przez nieizolowaną powierzchnię zewnętrzną rurociągu o długości 1 m i średnicy zewnętrznej  $\varnothing$  324 mm, transportującego czynnik grzewczy o temperaturze wewnętrznej  $300^{\circ}\text{C}$ , wyliczony w oparciu o przytaczane wyżej prawo Fouriera wynosi 2560 W/m. Po nałożeniu odpowiedniej warstwy izolacji, strata uległa pomniejszeniu do 160 W/m. Gdyby przyjąć, że czas pracy instalacji wynosi 6600 godzin rocznie, oznaczałoby to, że brak izolacji powoduje stratę wyrażającą się zużyciem węgla w ilości 2,5 tony rocznie (1mb!).

Tak więc, sprawa izolacji jest tu zagadnieniem kluczowym. Właściwa, czyli odpowiednio dobrana i zwymiarowana oraz należyście wykonana izolacja, jest narzędziem ekonomii w energetyce. Dobra izolacja to taka, która w najwyższym stopniu ogranicza straty ciepła, zmniejsza zużycie surowców pierwotnych a w ślad za tym ogranicza wielkość emisji  $\text{CO}_2$  do atmosfery. Aby mogła jednak tym wymogom sprostać, musi mieć odpowiednią grubość wynikającą z precyzyjnych obliczeń, powinna być zgodnie z zasadami wiedzy technicznej zamontowana, tzn. w maksymalnym stopniu pozbawiona mostków cieplnych, wykonana z najwyższą starannością, szczególnie w takich miejscach jak armatura, połączenia kołnierzowe, urządzenia kontrolno-pomiarowe, podpory, konstrukcje wsporcze, itd. Niestety, przeprowadzone badania za pomocą chociażby termowizji, naocznie nas przekonują, że stan naszych izolacji nie jest zadowalający. Pokazuje to rysunek nr 1:



Jest to skutek dalekich od doskonałości materiałów stosowanych w przeszłości, niewystarczającej grubości warstwy izolacji właściwej, licznie występujących mostków cieplnych, niestarannej izolacji armatury, licznych miejsc braku izolacji, zdjętej w wyniku eksploatacji i po latach pozostawionej odkrytej, a następnie porzuconej, itd. Wszystko to sprawia, że ilość ciepła traconego jest znacznie większa niż należałoby oczekiwać. Od takich izolacji nie można oczywiście oczekiwać zbyt wiele. To, że wymagają one gruntownej modernizacji, jest rzeczą nie budzącą najmniejszej wątpliwości. Jeżeli jednak decydujemy się na wymianę izolacji, to należałoby zastanowić

się, czy nie warto dokonać już zdecydowanie gruntowniejszej modernizacji, polegającej na wyborze bardziej skutecznego materiału, zastosowania nowych rozwiązań konstrukcyjnych, a przede wszystkim zastosować inaczej wyliczoną grubość warstwy. Właściwie, to te dwa parametry – wielkość współczynnika przewodności cieplnej  $\lambda$  i grubość  $g$  warstwy, mają zasadniczy wpływ na skuteczność izolacji. O ile pierwszy z nich wskazuje na właściwy materiał, o dużej izolacyjności i tak zamontowany, aby pracował w warunkach nie wpływających na jej obniżenie, to drugi nakazuje dochodzić do ustalenia należytej, optymalnej grubości. Wymaganiem podstawowym, z punktu widzenia poprawności użytkowania energii, jest określenie maksymalnie dopuszczalnych jednostkowych strat ciepła przez powierzchnie zewnętrzne izolowanych przegród ( $q$ ) w funkcji grubości  $g$ . I tak dla powierzchni płaskiej:

$$g = \frac{\lambda m(T_w - T_z)}{q},$$

- dla powierzchni walcowej (cylicyrycznej):

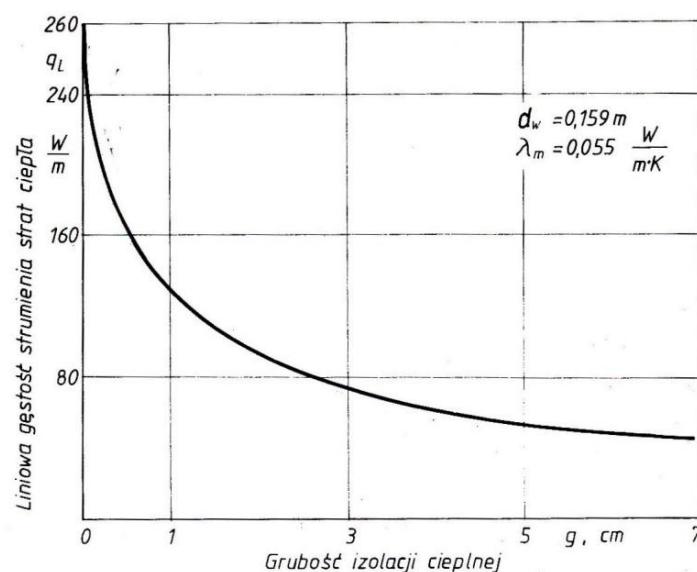
$$g = 0,5 d_w \left( \frac{2\pi\lambda m(T_w - T_z)}{q} - 1 \right), \text{ gdzie } d_w - \text{średnica wewnętrzna rurociągu.}$$

- dla ściany przewodu o przekroju prostokątnym :

$$g = \frac{\lambda m(T_w - T_z)(P_e + P_i)}{2q}, \text{ gdzie } P_e - \text{jest zewnętrznym obwodem przewodu}$$

$P_i$  - jest wewnętrznym obwodem przewodu

Zakładając więc, jako stałe wymiary przegrody oraz różnice temperatur wewnątrz i na zewnątrz, powyższe równania ustawiają grubość izolacji w funkcji jednostkowych strat ciepła dokonywanych przez tę przegrodę. Nie oznacza to jednak, że poprzez dowolne powiększanie grubości można doprowadzić do całkowitego wyeliminowania strat ciepła. Zwiększanie grubości izolacji powoduje wzrost powierzchni styku z otoczeniem, a co za tym idzie, zwiększenie wielkości strumienia ciepła przejmowanego od powierzchni zewnętrznej przez otoczenie. Ostatecznie zależność między gęstością strumienia strat ciepła a grubością warstwy izolacyjnej pokazuje wykres na rys. nr 2:



Stanowi to uzasadnienie dla starannego doboru warstwy izolacji, opartego na gruntownej analizie jej właściwości i sposobu wykorzystania. Każda warstwa izolacyjna winna spełniać następujące kryteria techniczne:

- wysoka sprawność energetyczna i niska wartość strumienia ciepła traconego do otoczenia
- dostarczanie nośnika ciepła przy jak najniższym spadku jego parametrów
- zapewnienie niższej od dopuszczalnej temperatury powierzchni zewnętrznej przegrody
- zabezpieczenie przed wystąpieniem skraplania pary na powierzchni zewnętrznej przegrody
- zabezpieczenie przed możliwością zamarzania nośnika ciepła

Przy samym projektowaniu izolacji cieplnych analiza ekonomiczna winna być stosowana jako narzędzie do rozwiązywania trzech podstawowych zadań:

- badanie opłacalności przedsięwzięć usprawniających użytkowanie energii związanych ze stosowaniem izolacji
- porównywanie kilku wariantów usprawnienia w celu dokonania wyboru najkorzystniejszego ekonomicznie rozwiązania
- określenie ekonomicznie uzasadnionych wymiarów izolacji

Generalnie idzie o to, aby poprzez zmniejszenie wartości strumienia traconego ciepła, podejście do izolacji ukierunkować na źródło oszczędzania energii. W przeważającej liczbie analizowanych przypadków będziemy mieli do czynienia z koniecznością zastosowania pogrubionej izolacji.

Najbardziej ogólnie sformułowany problem ekonomicznej optymalizacji grubości warstwy izolacyjnej polega na tym, aby wzrostowi kosztów towarzyszących zwiększonej grubości izolacji, towarzyszył przynajmniej taki sam spadek kosztów energii cieplnej w czasie - t- eksploatacji urządzenia wyposażonego w tę izolację. Poniżej zaprezentowane obliczenia pozwalają wskazać na osiągnięcie takiej możliwości. I tak:

- roczna oszczędność kosztów wynikających ze zmniejszonego zużycia energii wynosi:

$-\Delta E = -\Delta Q e$  gdzie-  $\Delta Q$  - roczne zmniejszenie zużycia ciepła MJ , e-jednostkowy koszt energii w zł/MJ

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2$$

$$\Delta E = E_1 - E_2 \quad \text{- roczna oszczędność kosztów energii w zł/rok}$$

Oszczędność kosztów energii w poszczególnych latach t można określić zależnością:

$\Delta E_t = -\Delta E_0 (1+s)^t$  s-średnia w okresie eksploatacji stopa wzrostu cen energii,  $E_0$ - koszt energii w roku bazowym.

Dla obliczenia opłacalności przedsięwzięcia w czasie, należy oszczędności kosztów energii w czasie - t porównać z wydatkami poniesionymi na modernizację  $J_0$ . Służy temu bieżąca wartość *netto* NPV (*Net Present Value*) otrzymana przez zdyskontowanie oddzielnie dla każdego roku przepływów pieniężnych w całym okresie funkcjonowania, czyli eksploatacji przedsięwzięcia:

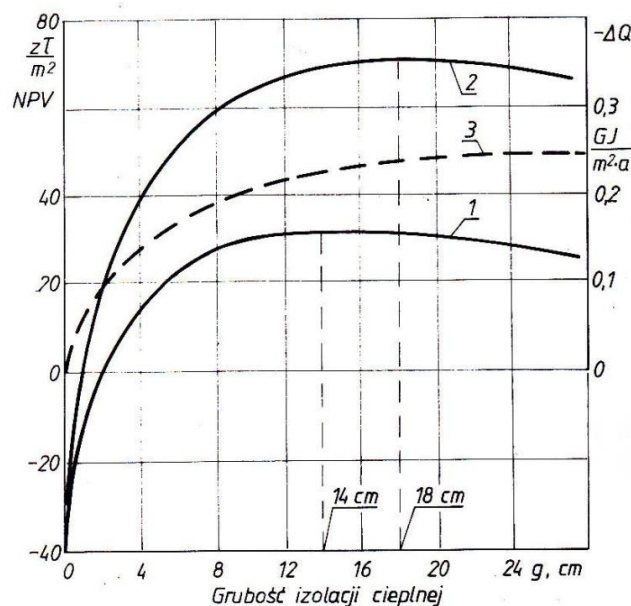
$$NPV = \sum_{t=0}^n \alpha_t C F_{t\alpha} - J_0, \text{ gdzie } \alpha_t - \text{współczynnik dyskontujący liczony jako } \frac{1}{(1+r)^t};$$

r- stopa dyskonta.

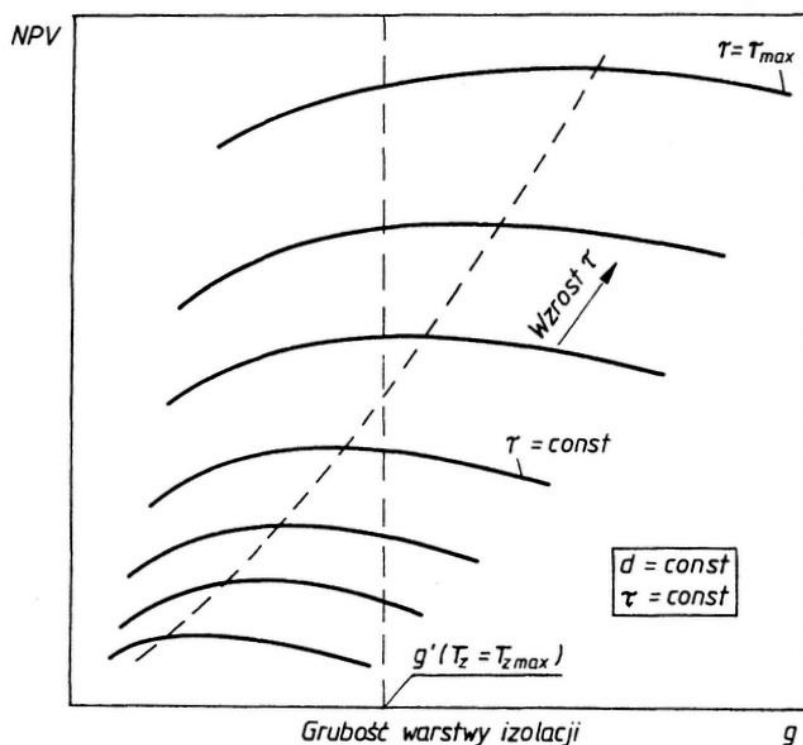
Zwiększenie grubości izolacji, jak wynika z tego równania, przyczynia się jednocześnie do wzrostu kosztów inwestycji lub realizacji przedsięwzięcia, a także do obniżenia kosztów dostarczonej lub wyprodukowanej energii cieplnej. Zmiana tych dwóch wielkości, przy zwiększeniu grubości, daje podstawę do ustalenia ekonomicznie uzasadnionej grubości izolacji, czyli takiej, przy której wartość NPV osiąga wielkość maksymalną, czyli:

$$\text{gdy } NPV \rightarrow \text{max. to } g \rightarrow g_{opt}.$$

Jednym z zastosowań bieżących wartości netto NPV jest użycie jej w analizach ekonomicznej opłacalności, przy realizacji przedsięwzięć modernizacyjnych lub inwestycyjnych, jako kryterium wyboru najkorzystniejszego z rozpatrywanych rozwiązań. Wykorzystując te narzędzia, możliwe staje się określenie optymalnej grubości nowo zakładanej lub dodatkowo uzupełnianej warstwy izolacji. Kryterium poszukiwania tej grubości najczęściej okazuje się warunek maksymalizacji efektu ekonomicznego NPV, wyrażonego w bieżącej wartości pieniądza. Przebieg wartości NPV w funkcji grubości warstwy izolacji pokazano na rys. nr 3. Krzywa 1 nie uwzględnia kosztów ekologicznych; krzywa 2 obejmuje także koszty efektów ekologicznych; krzywa 3 ilustruje przebieg oszczędności ciepła  $-\Delta Q$  w funkcji grubości izolacji  $g$ . W pierwszy przypadku maksymalnej wartości NPV odpowiada optymalna grubość izolacji  $g = 140 \text{ mm}$ ; drugim celem pokrycia dodatkowych kosztów za poniesione szkody ekologiczne NPV max występuje przy  $g = 180 \text{ mm}$ .



Na rysunku nr.4 pokazano zależność wartości bieżącej netto NPV od grubości  $g$  warstwy izolacji cieplnej. Krzywą  $NPV = f(g)$  charakteryzuje maksimum określające grubość izolacji, przy której otrzymuje się maksymalny zysk wynikający z jej zastosowania, mierzony odpowiadającą temu punktowi wartością NPV. Zwiększenie nakładów inwestycyjnych przy zwiększeniu grubości wpływa na zmniejszenie kosztów przeznaczonych na energię ( lub na wzrost oszczędności kosztów energii). Należy podkreślić, że także czas pracy instalacji ma tu istotny wpływ na położenie punktu maksymalnego na krzywej. Im dłuższy czas pracy, tym większa jest optymalna grubość warstwy izolacji cieplnej. Dlatego najwyższe położenie krzywej charakteryzuje pracę ciągłą. Linia przerywana pokazuje punkty na krzywych odpowiadające najwyższej dopuszczalnej temperaturze powierzchni zewnętrznej izolacji, której wartości nie można przekroczyć. Linia ta więc jeszcze dodatkowo wzmacnia znaczenie układu optymalnej grubości izolacji.



W momencie, gdy znane jest pojęcie optymalnej i ekonomicznie uzasadnionej grubości izolacji i gdy wiemy, że będzie to na ogół izolacja grubsza niż preferowana dotychczas (nazywana tradycyjną) i zapewne bardziej kosztowna (na etapie realizacji) to nader oczywiste jest pojawienie się pytania o okres zwrotu nakładów. Przybliżoną ocenę opłacalności usprawnienia można wykonać przy użyciu następnego narzędzia ekonomicznego (*Pay Back – PB*) - zwrot nakładów. Zastosowanie tego kryterium sprawia, że podjęcie decyzji staje się dużo łatwiejsze i polega na :

- sprawdzeniu, czy przedsięwzięcie nie obciążone jest zbyt wielkim ryzykiem i czy w ogóle suma nakładów finansowych podlega zwrotowi.
- wstępnym oszacowaniu okresu zwrotu poniesionych nakładów

- umożliwieniu podjęcia optymalnej decyzji ,co do wyboru rozwiązania zapewniającego jak najszybsze odzyskanie początkowych nakładów

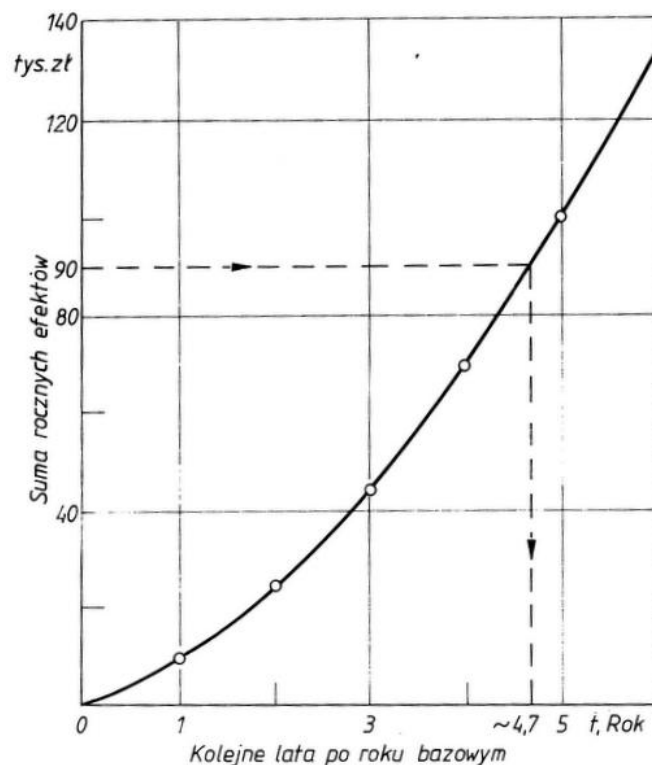
Prosty okres zwrotu nakładów ( *Simple Pay Back* – *SPB*) wyraża okres niezbędny do odzyskania początkowych nakładów poniesionych na dane usprawnienie i można go wyliczyć korzystając z równania:

$$SPB = \frac{J_0}{-\Delta E_0 - \Delta R_0}$$
 , 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 znaczy okres, w którym wpływy „ $Z$ ” uzyskane w wyniku modernizacji, zrównają się z początkowym nakładem inwestycyjnym „ $J$ ” i wyraża się wzorem ;

$$PB = \frac{J}{Z}$$
 w którym  $Z = D + A + F$  , gdzie  $D$  – dochód zmniejszony o podatek;  
 $A$  – amortyzacja;  $F$  – koszty obsługi finansowej ( odsetki od kredytów).

Poniżej na rys. nr 5. przedstawione jest określenie okresu zwrotu nakładów . Gdy suma efektów osiągnie stan początkowych nakładów poniesionych na realizację inwestycji związanych z tymi efektami, to czas w którym się to dokonało możemy nazwać okresem zwrotu nakładów



Jak zatem widzimy, wstępnie poniesione większe nakłady po pewnym okresie czasu zostają zrównane z sumą uzyskanych efektów w postaci oszczędności energii, aby później przynosić pokaźne zyski.

Podsumowując, należy w konkluzji stwierdzić, że występowanie pojęcia izolacji ekonomicznej znajduje swoje potwierdzenie w praktyce, gdyż jej zasadniczym zadaniem jest dalsza, pogłębiona w stosunku do aktualnych możliwości technicznych, oszczędność ciepła, zmniejszenie wykorzystania pierwotnych surowców energetycznych, ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery, aż wreszcie, w konsekwencji, w pozwalającym się wyznaczyć matematycznie okresie czasu, znaczne ograniczenie kosztów pozyskania energii.

#### Bibliografia;

- 1) Heinz Gascha, Stefan Pflanz - Fizyka-Grosses Buch der Physik- Świat Książki 2005
- 2) Cz. Borowski - Fizyka-Krótki Kurs-Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa 1995
- 3) J. Górzyński - Przemysłowe izolacje cieplne-Wydawnictwo Sorus, Poznań 1996
- 4) E. Kostowski - Przepływ ciepła-Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1991
- 5) J. Górzyński - Opłacalność termo renowacji budynków przemysłowych. „Gospodarka paliwami i energią”-nr 5 - 1992
- 6) S. Wiśniewski - Wymiana ciepła- Państwowe wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1979
- 7) J. Górzyński - Audyt energetyczny obiektów przemysłowych. Fundacja Poszanowania Energii- 1995
- 8) M. Dobija - Elementy rachunkowości zarządczej. Fundacja Rozwoju Rachunkowości Zarządczej w Polsce. Warszawa 1991
- 9) M. Dąbkowski- Efektywność inwestycji według Banku Światowego. Centrum Informacji Menedżera, Warszawa 1992.

Opracowanie Polskiego Stowarzyszenia Wykonawców Izolacji Przemysłowych, Warszawa, Augustówka 24. Autor Ryszard Borkowski.

PSWIP powstało w 2009 roku. Skupia największe polskie firmy izolacyjne. Ma na celu propagowanie znaczenia izolacji termicznych, wymianę doświadczeń, współpracę z producentami materiałów, współdziałanie na rzecz postępu technicznego i rozwijania ruchu wynalazczego.