

UDK 536.21:621.646.2:699.86

Nekateri vidiki uporabe toplotnoizolacijskih materialov

Some Aspects of the Use of Thermal Insulation Materials

GREGOR RADONJIČ - ALEŠ HAUC - JURIJ KROPE - VOJKO MUSIL

Uporaba toplotne izolacije je izredno pomembna za energetske učinkovite obratovanje. Zato je treba njeni pravilni izbiri posvetiti vso pozornost. Vendar pa izbira in uporaba toplotnoizolacijskih materialov oziroma načrtovanje izoliranja ne posega le na področje energetike, temveč je ozko povezana z ekonomiko investiranja in vedno bolj tudi z izbiro ekološko neoporečnega toplotnoizolacijskega materiala. V prispevku med drugim poudarjamo, da se je načrtovanja in izbire toplotne izolacije treba lotiti sistematično in pri tem upoštevati različne vidike. V prispevku tudi opisujemo primer izoliranja ventilov in možnost za veliko zmanjšanje toplotnih izgub. Optimizacija debeline izolacijskega plašča ventila je bila izvedena z grafično metodo iskanja minimuma skupnih stroškov. Obravnavali smo tri različne oblike izolacijskega plašča ventila. Toplotne izgube smo določili z metodo robnih elementov.

Thermal insulation is vital to energy efficient operations, thus its appropriate selection and application is very important. However, the reduction of energy consumption is not only a question of power engineering, but is closely connected with economics of investment and, increasingly, with the selection of the ecological appropriate thermal insulation material. The aim of our paper is to emphasize a systematic access to planning and selection of the thermal insulation where we must also consider the economics and ecology. As an example of an efficient insulation, the idea of valve insulation is presented. Optimization of the insulation thickness for valve jackets was carried out by the graphical method of determining the minimum total costs. Calculations were made for three different shapes of insulation jacket, and heat losses were determined by the boundary element method.

0 UVOD

Izolacija je še vedno eden najpreprostejših načinov, s katerimi se da učinkovito prihraniti toplotna energija. Vendar je to le eden izmed razlogov za uporabo izolacije. Drugi so še: zaščita delavcev, nadzor temperature procesnega fluida in nadzor kondenzacije. Upravičenost učinkovitega izoliranja ponazarja na primer podatek, da izolacija prihrani ameriški procesni industriji letno približno 60 milijard ameriških dolarjev [1]. Nekateri industrijski obrati, na primer tisti, ki vključujejo kriogene sisteme ali parovode, bi bili popolnoma negospodarni brez uporabe primerne izolacije. Toplotna zaščita poslopij, poleg prihranka toplotne energije, vpliva še na mikroklimatske razmere v njih.

Toplotno izoliranje je nedvomno naložba. Obdobje vračila naložbenega vložka v naložbo toplotne izolacije se podaljšuje, če vrednost vložka raste čez neko mejo. Zato obstaja zgornja meja donosnosti take naložbe. Zaradi tega je treba določiti optimalno debelino izolacijskega sloja, kjer je vsota stroškov toplotnih izgub in izoliranja najmanjša.

0 INTRODUCTION

Thermal insulation is still one of the simplest ways to achieve efficient heat energy savings. However, this is just one reason for the use of thermal insulation. The others are personnel protection, condensation control and process temperature control. The following example shows the expedience of thermal insulating. Thermal insulation saves the U. S. industry almost 60 billion USD per year [1]. Some processing plants, including cryogenic systems or steamlines would be completely uneconomical without the use of the appropriate insulation.

Insulation means an investment. The return of investment period can be prolonged if the investment is too high, i.e. there are limits to economical investing. It is, therefore, necessary to determine the optimum thickness of insulation where the sum of the heat loss costs, and insulation costs, is minimum.

Gibanja cen toplotne izolacije in toplotne energije dokazujejo, da je optimalno izvedena naložba v toplotno izolacijo objektov in naprav upravičena. Novejše tehnologije so omogočile cenejšo proizvodnjo toplotnoizolacijskih materialov, obenem pa je mogoče opaziti realno povečanje cen toplotne energije. Slika 1 prikazuje gibanja stalnih indeksov cen toplotne izolacije iz trde poliuretanske pene z debelino 100 mm in gostoto 40 kg/m³ (Plama Podgrad) ter toplotne energije (Toplotna oskrba Maribor).

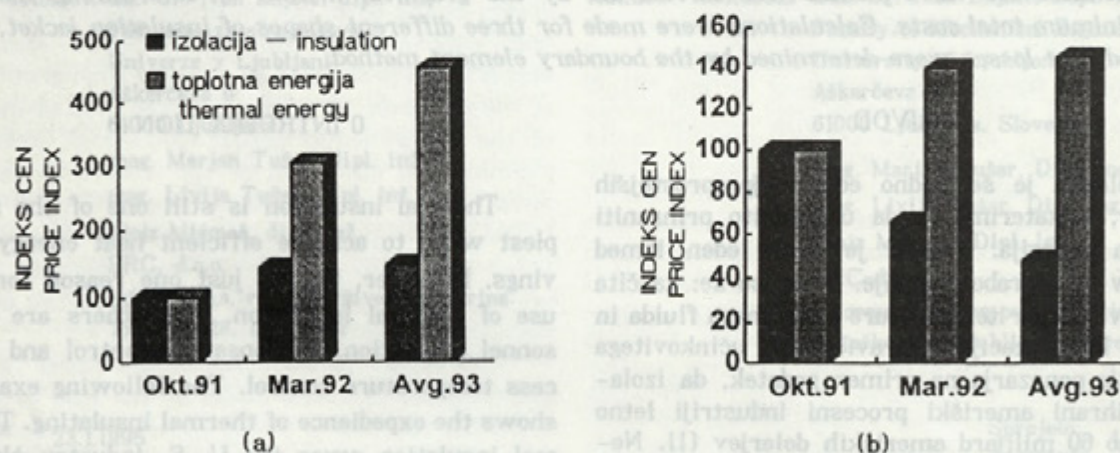
Cene izolacije in toplotne energije so izračunane na podlagi povprečnih cen, izražene pa so v slovenskih tolarjih in nemških markah. S konverzijo cen v nemške marke po povprečnem mesečnem srednjem tečaju DEM Banke Slovenije smo želeli prikazati približno stvarno vrednost navedenih kategorij.

S slike 1 je razvidno, da so se povprečne cene toplotne izolacije (trde pene PUR) v slovenskih tolarjih od leta 1991 do 1993 zvišale, dejansko pa so padale. Tega ni moč trditi za cene toplotne energije v SIT, saj so se v prej navedenem obdobju precej zvišale, kar velja tudi za cene, izražene v DEM (zaradi približnega prikaza njihovega realnega povečanja). Vpliv paritet obih valut pri tem izračunu zanemarimo.

The price ranging of thermal insulation and thermal energy proves that the investment in insulation can be justified. New technologies enable a cheaper production of thermal insulation materials. In addition, a price growth in real terms can be seen in relation to the thermal energy prices. Figure 1 presents a price index ranging of thermal insulation (rigid polyurethane foam) with a thickness of 100 mm and a density of 40 kg/m³ (Plama Podgrad), as well as thermal energy (Thermal Board Maribor).

The prices of insulation and thermal energy are calculated on the basis of average prices in Slovene Tolars (SIT) and German Marks (DEM). Considering price conversion to DEM on the basis of the average monthly mean rate of exchange of DEM (Bank of Slovenia), we have endeavoured to present an approximative realizable value of the stated categories.

From the figure 1 it can be seen that the average thermal insulation prices (rigid PUR foam) in SIT increased between 1991 and 1993, whereas in real terms they fell. This cannot be said for the heat energy prices in SIT as, during that period, they substantially increased. This was also valid for the prices calculated in DEM (due to the approximate account of their real increase). The impact of the parities of the two currencies may be neglected in this calculation.



Sl. 1. Primerjava indeksov cen toplotne energije in izolacijskega materiala (a) v SIT, (b) v DEM

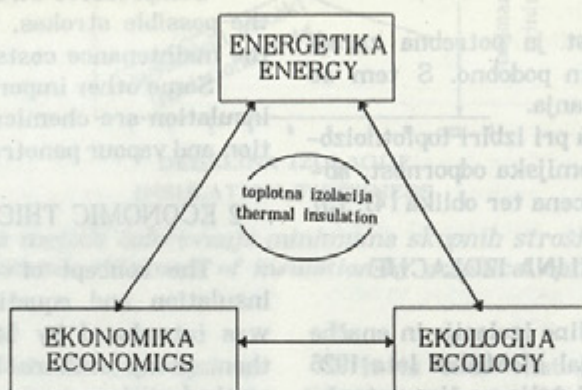
Fig. 1. Comparison of price index of heat energy and insulation material (rigid PUR foam), (a) SIT, (b) DEM

Poleg očitnega zmanjševanja porabe toplotne energije (kar hkrati pomeni tudi varčevanje s surovinskimi viri) in s tem povezanimi stroški takšno zmanjševanje posredno vpliva še na zmanjšanje emisij škodljivih produktov zgorevanja goriv, potrebnih za proizvodnjo energije. Hkrati pa je pri ekološkem vidiku treba upoštevati tudi primernost oz. neprimernost nekaterih toplotnoizolacijskih materialov glede na njihov škodljiv vpliv na okolje in zdravje.

In addition, obvious savings of heat energy (at the same time also the reduction of raw materials consumption) are the cause of the reduction of the fuel combustion products emissions. Also, the ecological aspect includes the use of environmentally suitable thermal insulation materials.

Povezanost in medsebojna odvisnost med energetiko, ekonomiko in ekologijo je očitna. Že leta 1989 je bilo eno od osnovnih sporočil World Energy Conference, da mora strategija razvoja v devetdesetih letih upoštevati reševanje tridimenzionalnega problema v energetiki: energija — ekonomija — ekologija [2]. Parcialne analize energija — ekonomija ali energija — ekologija ne zadovoljujejo več potreb in jih je treba združiti. Uporaba toplotnoizolacijskih materialov vključuje pravzaprav vse tri vidike. Takšna soodvisnost, ki jo prikazuje slika 2, je obstajala sicer že ves čas, vendar sta šele z leti ekonomika in ekologija pridobila pomen.

The connection and interdependence of energy, economics and ecology is obvious. Already in 1989, one of the main messages of the World Energy Conference was that the development strategy in the nineties must consider the three-dimensional problem in power engineering: energy-economy-ecology [2]. Partial analyses: energy-economy or energy-ecology alone do not meet the needs, and they must therefore be connected. The use of thermal insulation involves all three aspects. Such interdependence, shown in figure 2, has existed all the time. However, the aspects of economics and ecology have been gaining increasing significance over the years.



Sl. 2. Medsebojna povezanost različnih vidikov uporabe toplotnoizolacijskih materialov

Fig. 2. Connection of different aspects of the use of thermal insulation

Kot primer učinkovitega izoliranja opisujemo v prispevku izoliranje ventilov s primerno oblikovanim izolacijskim plaščem. Ventile zaradi oblike pa tudi zaradi malomarnosti največkrat puščajo neizolirane, čeprav so dokazano nezamisljivi viri toplotnih izgub.

As an example of efficient insulating, insulation of the valves with properly shaped insulation jackets is presented. Because of their shape and also because of carelessness, valves are left uninsulated, although they are not a negligible source of heat losses.

1 TEHNOLOŠKI KRITERIJI ZA IZBIRO TOPLOTNOIZOLACIJSKEGA MATERIALA

1 TECHNOLOGICAL CRITERIA FOR THERMAL INSULATION SELECTION

1.1 Toplotna prevodnost

Toplotna prevodnost mora biti čim manjša. Majhna toplotna prevodnost ne pomeni le tanjše izolacije, ampak je od nje odvisna tudi nižja temperatura njene površine na izstopni strani toplotnega toka. Predvsem vplivajo na njeno vrednost vrsta in struktura materiala, temperatura in delež vlage.

1.1 Thermal Conductivity

The thermal conductivity of insulation material must be as low as possible. Low thermal conductivity not only requires a thinner insulation layer, but it also leads to a lower surface temperature of insulation material in the heat flow direction. The type of material and its structure, temperature as well as moisture have great influence on its value.

1.2 Temperaturno območje

Vsi izolacijski materiali niso primerni za uporabo pri vseh temperaturah. Pri previsokih temperaturah lahko pride do strukturne nestabilnosti ali celo do vžiga. Pri višjih temperaturah se lahko vrednost toplotne prevodnosti tako poveča,

1.2 Temperature Range

Different insulation materials can only be used in certain temperature ranges. If the temperature is too high, structural instability or even ignition can appear in some materials. At higher temperatures the thermal conductivity

da material ni več izolacijsko učinkovit. Pomembna je tudi spodnja temperaturna meja, saj material postane preveč krhek. Vendar pa je največji problem pri nizkih temperaturah predvsem možna kondenzacija vlage, kar bistveno poveča prenos toplote skozi izolacijski sloj. Glede na to so toplotnoizolacijski materiali razvrščeni po temperaturnih območjih uporabe, in sicer na kriogeno območje (pod -100°C), nizkotemperaturno območje (-100°C do 25°C), vmesno območje (25°C do 600°C) in visokotemperaturno območje (nad 600°C) [3].

1.3 Tlačna trdnost

Ustrezna tlačna trdnost je potrebna zaradi mogočih udarcev, vibracij in podobno. S tem se zmanjšujejo stroški vzdrževanja.

Druga pomembna merila pri izbiri toplotnoizolacijskega materiala so še kemijska odpornost, absorpcija vode in vodne pare, cena ter oblika [4], [5].

2 EKONOMIČNA DEBELINA IZOLACIJE

Pojem ekonomične debeline izolacije in enačbe za njen izračun je prvi vpeljal McMillan leta 1926 [6]. Od takrat dalje so zaradi želje po čim natančnejši določitvi metodo dopolnjevali z različnimi razširjenimi enačbami in nomogrami kakor na primer [5], [7], [8], [9].

Izolacija pomeni določeno naložbo. Medtem ko z večanjem debeline izolacije znižujemo toplotne izgube, povečujemo vrednost naložbe v izolacijo. Pojavlja se torej potreba po določitvi minimuma vsote obeh stroškovnih komponent. Takšen minimum je mogoče določiti analitično po nekaterih enačbah ali grafično z izrisom krivulje skupnih stroškov [7]. Slika 3 prikazuje splošno metodo grafičnega določevanja ekonomične debeline izolacije.

Krivuljo stroškov toplotnih izgub lahko narišemo iz podatkov za toplotne izgube, dobljenih z uporabo zakonitosti prenosa toplote ali z numeričnimi metodami, pomnoženimi s ceno toplotne energije in številom obratovalnih ur na leto.

Gospodarski pomen takšne debeline izolacijskega sloja je torej v tem, da se nad to debelino ne splača več vlagati v toplotno izolacijo. Pri ekonomični debelini dosežemo najboljši učinek izoliranja na enoto vloženega kapitala.

Določitev ekonomične debeline pa ni preprosta, saj nanjo vpliva vsaj dvajset neodvisnih spremenljivk, kar zahteva določene poenostavitve. Predvsem ekonomske spremenljivke povzročajo, da je določitev občutljiva in reševanje zamudno. Nekateri avtorji so zaradi tega tudi upravičeno skeptični glede ustreznosti termina ekonomične debeline izolacije [10].

can be increased to such values that the insulation material becomes inefficient. A low temperature limit is important, too, because of the material brittleness. But the main problem with low temperatures is the possibility of moisture condensation. This can drastically increase heat transfer through insulation. Thermal insulation materials are grouped into four temperature ranges: cryogenic range (below -100°C), low-temperature range (-100°C to 25°C), intermediate range (25°C to 600°C) and high-temperature range (above 600°C) [3].

1.3 Compressive Strength

Compressive strength is required because of the possible strokes, vibrations etc. In this way the maintenance costs are kept low.

Some other important criteria for selecting the insulation are chemical resistance, water absorption and vapour penetration, price and shape [4], [5].

2 ECONOMIC THICKNESS OF INSULATION

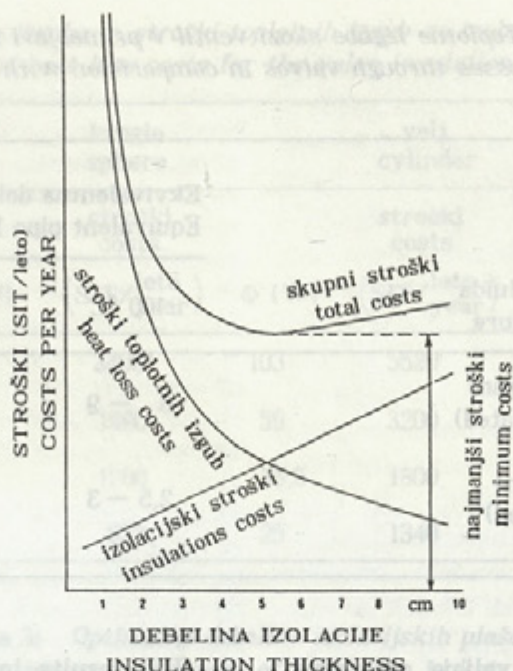
The concept of the economic thickness of insulation and equations for its determination was introduced by McMillan in 1926 [6]. Since then, many authors have further developed the method with more accurate equations and nomographs, like [5], [7], [8], [9].

Insulation means an investment. With the increasing thickness of insulation, heat loss costs decrease but, at the same time, the investment costs are increased. If we add these two cost components together for various thicknesses there must be a minimum of total costs. It is possible to determine this minimum analytically on the grounds of different equations, or graphically [7]. Figure 3 represents the graphical determination of the economic insulation thickness.

The curve of heat loss costs can be drawn from heat loss data, obtained from the heat transfer equations, or from the numerical method calculations, multiplied by the heat energy price and number of operation hours per year.

The economic importance of such a thickness is that above this thickness it is not worth spending more capital on insulation. With the economic thickness of insulation the best efficiency of insulation per unit of invested capital is achieved.

To accurately determine the economic thickness is not an easy task. A complete analysis of insulation economics requires that approximately twenty input data variables must be assigned. The use of economic variables, in particular, means that determination becomes highly sensitive and time-consuming. Therefore, some authors are right to be suspicious about the term of economic thickness of insulation [10].



Sl. 3. Grafična metoda določevanja minimuma skupnih stroškov izoliranja
 Fig. 3. Economic thickness of insulation by graphical optimization

Dejstvo je, da povečanje debeline izolacijskega sloja prek določene meje ne prinaša več bistvenih prihrankov toplotne energije, kar prikazuje tudi slika 3. Z drugimi besedami, stroški toplotne energije se s povečanjem debeline toplotne izolacije oziroma vrednosti naložbe zmanjšujejo, dokler se ne zmanjšajo do nekega najnižjega zneska. Takrat lahko debelino izolacijskega sloja povečujemo (in s tem vrednost naložbe), stroški toplotnih izgub pa se ne bodo več bistveno zniževali. Zato je tehnookonomska analiza pri projektiranju izolacij kljub vsemu nujno potrebna. Vendar je zaradi vsega omenjenega težko govoriti o neki absolutni vrednosti ekonomične debeline izolacije. Verjetno je zato primerneje poiskati neki »interval ekonomične debeline« v območju minimuma krivulje skupnih stroškov.

3 IZOLACIJA VENTILOV

Dandanes večina avtorjev namenja največ pozornosti izoliranju cevnih omrežij. To je razumljivo zaradi velikih skupnih površin takšnih omrežij. Neupoštevanje toplotnih izgub skozi ventile je privedlo do tega, da so v praksi ventili povečini neizolirani.

Te trditve potrjujejo nekatere raziskave [7], [11], [12]. Zanimiva je primerjava toplotnih izgub skozi ventile, preračunana na ekvivalent dolžine cevi, povzeta po [11], podajamo jo v preglednici 1. Potrditev teh vrednosti je dana tudi v [1].

It is true that the increase of insulation layer over a specified limit does not bring any significant heat energy savings, as is represented in figure 3. In other words, the heat loss costs decrease with increasing insulation thickness (i.e. with more substantial investment) until they reach its lowest value. Thus, the insulation thickness can be increased without any significant heat loss decrease. Therefore, techno-economical analysis is, nonetheless, necessary. On the other hand, it is difficult to discuss an absolute and invariable value of economic thickness of insulation. It is probably more appropriate to determine »an interval of economic thickness« in the range of the minimum of the curve of total costs.

3 VALVE INSULATION

Nowadays, various authors are paying increasing attention to the determination of the economic insulation thickness of the piping networks. This is logical because of the large surface area of pipes. On the other hand, the underestimation of the heat losses through valves leaves the valves uninsulated.

This statement is proved by [7], [11], [12]. An interesting comparison of heat losses through valves is presented in table 1 [11], and proved also by [1].

Preglednica 1: Toplotne izgube skozi ventil v primerjavi z dolžino cevi [11]

Table 1: Heat losses through valves in comparison with pipe length [11]

temperatura fluida fluid temperature	Ekvivalentna dolžina cevi Equivalent pipe length (m)	
	100 °C	400 °C
ventil (neizoliran) valve (uninsulated)	6 - 9	16 - 26
ventil (izoliran) valve (insulated)	2,5 - 3	5 - 7,5

Rezultati v preglednici 1 veljajo za cevne elemente oziroma cevovode v notranjosti objektov. Za cevovode, ki potekajo na prostem, bi morali upoštevati približno dvakrat večje vrednosti.

Izolacijo ventila smo si zamislili kot plašč, ki se preprosto spne okoli ventila. Obravnavali smo tri oblike izolacijskih plaščev (okroglo, valjasto, sodčasto), in to za štiri različne debeline izolacije. Zaradi kompleksnih geometrijskih oblik smo toplotne tokove skozi izolacijske plašče določili s pomočjo metode robnih elementov [13]. Zamisel o uporabi robnih elementov izhaja iz težav pri analitičnem reševanju integralnih enačb. Analitično reševanje integralnih enačb je namreč še vedno omejeno na preproste geometrijske oblike in osnovne oblike robnih pogojev. Zato jih nadomestimo z vsotami razmeroma preprosto rešljivih integralov v intervalih, ki sestavljajo sklenjene integracijske meje. Tako dobimo diskretizirane integralske enačbe, ki jih rešujemo numerično z uporabo računalnika.

Določitev optimalne izolacije ventila smo izračunali za tip ventila PN 16 za stacionarne razmere [14]. Temperaturna razlika med temperaturo fluida v ventilu in okolico je 135 °C, toplotna prestopnost je bila ocenjena na 20 W/m²K, toplotna prevodnost izolacijskega materiala 0,03 W/mK. Optimalno (ekonomično) debelino izolacijskega plašča in njegovo najprimernejšo obliko smo določili z grafično metodo iskanja minimuma skupnih stroškov. Cena toplotne energije je bila vzeta po podatkih, Toplotne oskrbe Maribor, cena izolacijskega plašča pa določena kot dvakratnik cene izolacijskih plošč iz trde poliuretanske pene (Plama Podgrad). Rezultati so podani v preglednicah 2 in 3.

The results in table 1 are valid for pipes inside the buildings. For the outer piping networks we have to take into consideration double values.

In our studies we considered three different shapes of insulation jackets which are simply mounted around the valve: the sphere, the cylinder and the barrel. Because of the complex geometries of such jackets we used the boundary element method for the heat loss calculations [13]. The idea of using boundary elements results from the fact that numerous difficulties occur in the solving of integral equations. Their analytical solution is still limited to simple geometries and basic boundary conditions. Consequently, they are substituted by the sums of relatively simple solvable integrals at intervals composing closed integral boundaries. Thus, we obtain discrete integral equations which can be solved numerically by the computer.

We determined optimum insulation thickness for the valve PN 16 for stationary operation conditions [14]. The temperature difference between hot water and ambient air was 135 °C. Thermal conductivity of insulation material was 0.03 W/mK, the outer heat transfer coefficient was estimated on 20 W/m²K. We used the graphical optimization for determination of the optimal (economic thickness) insulation jacket. The heat energy price was taken on the basis of the data of Thermal Board Maribor. The insulation jacket price was estimated as a double price of rigid polyurethane foam boards (Plama Podgrad). The results are presented in tables 2 and 3.

Preglednica 2: *Toplotne izgube in stroški toplotnih izgub za izolacijske plašče ventila*
 Table 2: *Heat losses and heat loss costs for the valve insulation jackets*

debelina thickness (cm)	krogla sphere		valj cylinder		sod barrel	
	Φ (W)	stroški costs (SIT/leto year)	Φ (W)	stroški costs (SIT/leto year)	Φ (W)	stroški costs (SIT/leto year)
1	63,5	3400	103	5520	90,5	4850
2	37	1990	59	3200	52	2800
4	22	1200	33,5	1800	30	1620
6	17	922	25	1340	23	1230

Preglednica 3: *Optimalne debeline izolacijskih plaščev ventila*
 Table 3: *Optimum thicknesses of insulation jackets*

oblika shape	debelina thickness (cm)	skupni stroški total costs (SIT/leto years)
krogla sphere	4,3	1900
valj cylinder	3,9	2800
sod barrel	3,7	2520

Zanimiva je primerjava rezultatov iz preglednice 3 s toplotnimi izgubami neizoliranega ventila. Zaradi težavne geometrijske oblike je ventil obravnavan kot valj premera 120 mm in dolžine 230 mm. To so enake dimenzije, kakršne so bile upoštevane pri numeričnih izračunih. Pri temperaturni razliki 135 °C in toplotni prestopnosti 20 W/m²K je izgubljenih 235 W toplotne energije, kar približno pomeni za en ventil 12600 SIT/leto, kar je seveda bistveno več kakor tedaj, ko je ventil izoliran. V različnih obratovnih razmerah se višina stroškov seveda spreminja. Ostaja pa resnica, da so ventili nezanemarljivi viri toplotnih izgub in jih je treba izolirati.

4 EKOLOŠKI VIDIKI IZOLIRANJA

Že samo dejstvo, da se z uporabo toplotnoizolacijskih materialov prihrani veliko toplotne energije in s tem posredno zmanjšuje emisija škodljivih produktov zgorevanja v ozračje, kaže na ugodne ekološke učinke uporabe toplotne izolacije.

The numerical analysis gives interesting results when comparing the uninsulated and insulated valves. Because of the complex geometry we treated the valve as a cylinder with a diameter of 120 mm and length of 230 mm. These are the same dimensions as in the numerical analysis. At the same operating conditions, temperature difference 135 °C and heat transfer 20 W/m²K, 235 W of the heat energy is lost per valve which means approximately 12600 SIT/year for one valve, which is much more than in the case of an insulated valve (table 3). With different valves and with different operating conditions the heat loss costs can differ. The fact is that we cannot neglect heat losses through valves; therefore, they should be insulated.

4 ECOLOGICAL ASPECTS OF INSULATING

It is true that a lot of heat energy can be saved with appropriate thermal insulation and, thus, the fuel combustion products emission is indirectly reduced. This speaks in favour of the positive effect of thermal insulation on the environment.

Vendar pa je želja po čim učinkovitejšem toplotnoizolacijskem materialu privedla do uporabe nekaterih, za okolje in zdravje spornih sestavin oziroma materialov. Če sta azbest, kakor tudi steklena volna kljub ugodnim izolacijskim lastnostim, že dalj časa znana kot zdravju škodljiva (azbest je tako v nekaterih državah povsem prepovedan), pa je škodljiv vpliv trdih poliuretanskih pen (PUR) na ozračje zadnja leta začel vse bolj naraščati. Na svojem področju uporabe so trde pene PUR vsekakor najpopularnejši toplotnoizolacijski material zaradi zelo nizke vrednosti toplotne prevodnosti in dobrih mehanskih lastnosti. Pena PUR lahko nastane na kemijski način, kjer v reakciji nastajajoči CO_2 povzroča nastanek pene, ali na fizikalni način, to je z dodatkom lahko hlapnega ekspanzirnega sredstva — freona. Slednji so najodgovornejši za nastanek ozonske luknje. Že z Montrealskim dogovorom iz leta 1987 je bilo načrtovano, da se proizvodnja freonov do leta 1998 zmanjša na 50 odstotkov tiste iz leta 1986 [15]. Ker lahko pričakujemo, da bodo trenutno uporabljeni freoni postali sčasoma v celoti prepovedani, potekajo v svetu tudi na tem področju številne raziskave, da bi našli zanje ustrezno nadomestilo [16], [17], [18]. Najperspektivnejša so na primer CHClFCF_3 , $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$, CO_2 , pentan in drugi.

Za reševanje problematike odpadkov trdih pen PUR je primeren postopek alkoholize oziroma glikolize, ki sodi v skupino postopkov kemijskega recikliranja odpadkov polimernih materialov [19]. Obstaja množica publikacij in patentov, ki obravnavajo alkoholizo odpadkov polimerov, pri čemer so spoznanja uresničili tudi v praksi.

5 SKLEPI

Kakor je razvidno iz prispevka, je za uspešno izoliranje treba upoštevati različne dejavnike. Medsebojno prepletanje energetskih, ekonomskih in ekoloških vidikov se jasno kaže tudi pri uporabi toplotne izolacije.

Podatki, uporabljeni za izris slike 1, so dovolj zgovorni, da lahko trdimo, da so optimalno izvedene naložbe v toplotno izolacijo objektov upravičene že zaradi cenovnih usmeritev izolacijskih materialov in toplotne energije, ne da bi upoštevali še druge stroške, ki jih povzroči izvedba naložbe v toplotno izolacijo objekta (stroški montaže, stroški vzdrževanja, stroški morebitnih negativnih tečajnih razlik ipd).

However, in order to improve the quality of thermal insulating material some environmentally unfriendly materials or their ingredients are used in their production. For example, although asbestos as well as glass wool both have good insulating properties they are known to be health damaging materials (asbestos is, therefore, entirely prohibited in some countries). During the last years, the harmful influence of rigid polyurethane (PUR) foams in the atmosphere has become one of the major problems of the today's environmental protection. Namely, rigid PUR foams are the most popular insulation materials in its temperature range because of their low thermal conductivity and good mechanical properties. When two liquid chemicals (one is an isocyanate and the other polyol) are mixed together, heat is generated and tiny bubbles are formed because of the chemical reaction or the presence of the blowing agent — freon. Freons are the main cause of the reduction of the ozone layer in atmosphere. According to the Montreal 1987 agreement production of freons by the year 1998, it is expected that must be reduced by 50% of that in year 1986 [15]. It is also expected that the use and production of freons will, with time be completely prohibited. Therefore, much research is going on to find out an appropriate substitute [16], [17], [18]. The most promising substitutes are, for instance, CHClFCF_3 , $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$, CO_2 , pentane, etc.

Appropriate procedures for treating wastes of rigid PUR foams are alcoholise or glycolise, respectively. These belong to the group of procedures for chemical recycling of polymeric wastes [19]. There is a great number of publications and patents concerning alcoholise of polymeric wastes.

5 CONCLUSIONS

As is evident from the paper, different factors for efficient insulating must be considered. Mutual interdependence of energy, economics and ecology is obvious in the case of thermal insulation.

On the basis of figure 1 it can be stated that the optimum investments in thermal insulation are justified, at least as regards the price trends of insulation materials and thermal energy, even without considering other costs (assembling costs, maintenance costs, costs of possible exchange rate differences, etc.)

Posebno pazljivo se je treba lotiti določevanja najprimernejše debeline izolacijskega sloja. Tako imenovana ekonomska debelina izolacije je odvisna od uporabljenega ekonomskega modela, njena vsaj približna določitev pa je potrebna, saj je od nje odvisna ugodna naložba. Bistveni problem je poiskati kompromis med procesnimi in ekonomskimi zahtevami. Večanje stroškov zaradi izgubljene toplotne energije povzroča, da se minimum skupnih stroškov vedno bolj pomika v smeri naraščajoče debeline izolacije.

Določevanje optimalnih debelin izolacijskih plaščev za ventile terja uporabo numeričnih metod. Metoda robnih elementov je primerna za takšne izračune. Za dane tehnološke razmere se je kot najustreznejša oblika izolacijskega plašča ventila izkazala tista v obliki krogle. Skupni stroški so v tem primeru najnižji.

V nekaterih primerih je izbira izolacije in njene debeline odvisna predvsem od tehnoloških razmer in manj od ekonomskih; na primer, ko mora biti temperatura zunanje površine izolacije dovolj nizka zaradi morebitnih opeklin, ko mora temperatura fluida ostati ves čas enaka, kjer je možnost požara itn.

Tudi izbira toplotnoizolacijskega materiala mora biti premissljena. Zaradi odličnih toplotnoizolacijskih zmožnosti trdih pen PUR bo zanje težko najti ustrezno nadomestilo. S silikatnimi aerogeli in ploskovnimi vakuumskimi izolacijami sicer dosegajo nizke vrednosti toplotne prevodnosti, vendar so takšne izvedbe razmeroma drage. Ostaja pa dejstvo, da bodo tudi na tem področju vedno večjo veljavo dobivali ekološko neoporečni materiali.

Particular attention must be paid to determination of the so-called, economic thickness of the insulation layer. Such determination depends on the economic model used. At least an approximative determination is necessary in order to make an adequate investment. What method for the economic evaluation is chosen depends on the level of analysis and accuracy desired. The core of the problem is to establish a compromise between the economic and process requirements. The increase of heat loss costs causes the minimum of total costs to shift to the direction of larger insulation thickness.

The determination of the optimum insulation thicknesses for valve jackets requires the use of numerical methods. The boundary element method is very appropriate for such calculations. For the given operation conditions we found that an insulation jacket shaped as a sphere is the optimum one, with the minimum heat loss costs.

In some instances the selection of insulation and its thickness may be dictated by technological conditions which take precedence over economic thickness requirements. For example: when a maximum surface temperature dictates insulation thickness for safety of the personnel; where it is necessary to maintain product temperatures at a given level; where limited amounts of heat energy are available and therefore extra insulation is specified or where possible fire exposure dictates the insulation thickness.

In addition, the selection of quality insulation material must be carefully done. Because of their excellent thermal insulating properties it will be very hard to find an appropriate substitute for them. Low thermal conductivity is achieved with silica aerogel or with vacuum thermal insulating panels, but such performances are still relatively expensive. The fact remains that ecologically acceptable materials will also gain importance in the field of thermal insulation.

6 LITERATURA 6 REFERENCES

- [1] Irvin, W.: Insulate Intelligently. Chem Eng. Progress, May 1992, 51-55.
- [2] Lešić, A.: Ekonomski pristup problemima okoliša. Nafta, 41 (10), 1990, 459-465
- [3] Harrison, M.R.-Pelanne, C.M.: Cost Effective Thermal Insulation. Chem. Eng., Dec. 19, 1977, 62-76.
- [4] Probert, S.D.-Giani, S.: Thermal Insulants. Applied Energy, 2, 1976, 83-116.
- [5] Turner, W.C.: Energy Management Handbook, Ch. 15, John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1982.
- [6] McMillan, J.B.: Heat Transfer Through Insulation, American Society of Mechanical Engineers, New York, December 1926.
- [7] Turner, W.C.- Malloy, J.F.: Handbook of Thermal Insulation Design Economics for Pipes and Equipment, Mc Graw-Hill, New York, 1980.

[8] Matić, M.: Energija i ekonomija. Školska knjiga, Zagreb, 1993.

[9] Ganapathy, V.: Heat Loss, Insulation Thickness Are Estimated by Us of Chart. Oil and Gas Journal, April 25, 1983, 75-76.

[10] McChesney, M-McChesney, P.: Insulation Without Economics. Chem. Eng., May 3, 1982, 70-79.

[11] Recknagel, H-Sprenger, E.: Grijanje i klimatizacija. IRO Gradjevinska knjiga, Beograd.

[12] Tomaček, M.: Štednja energije u industriji. ZPZ Zagreb, 1985.

[13] Brebbia, C.A.: The Boundary Element Method for Engineers, Pentech Press, London, 1978.

[14] Radonjič, G-Krope, J-Škerget, L.: Determination of Optimal Insulation Thickness for Valve Jackets, Proceedings of 1st Baltic Heat Transfer Conference, Göteborg, Elsevier Publishers 1992, pp 796-804.

[15] Seymour, R.B.: Problem klorfluorogljikovodika kao reaktivnog sredstva pri dobivanju polimernih pjena. Polimeri, II (9-12), 1990, 235-236.

[16] Decaire, B.R.-Pham, H.T.- Rochard, R.G.-Shakland, I.R.: Blowing Agents: The Next Generation, J. Cell. Plastics, 30, 1994, pp 11-33.

[17] Fellows, B.R.- Richard, R.G.- Shakland, I.R.: Thermal Conductivity Data for Some Environmentally Acceptable Fluorocarbons, Thermal Conductivity 21, Ed. by C.J. Cremer, H.A. Fine, Plenum Press, New York, London, 1990, p.p. 311- 325.

[18] Mann, M- Phillips, B.: FCKW-Blähmittel in Hartschaumstoffen, Kunststoffe, 79 (4), 1989, p.p. 328.

[19] Menges, G.-Michaeli, W.- Bittner, M.: Recycling von Kunststoffen, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1992.

Naslovi avtorjev: mag. Gregor Radonjič, dipl. inž.,
prof. dr. Vojko Musil, dipl. inž.,
Univerza v Mariboru
Ekonomsko poslovna fakulteta, Maribor
Inštitut za tehnologijo
Razlagova 14, 62000 Maribor

Aleš Hauc, dipl. ekon.
Krekova banka, d.d.
Slomškov trg 18, 62000 Maribor

prof. dr. Jurij Krope, dipl. inž.
Univerza v Mariboru
Fakulteta za strojništvo
Smetanova 17
62000 Maribor

Authors' Addresses: Mag. Gregor Radonjič, Dipl. Ing.
Prof. Dr. Vojko Musil, Dipl. Ing.
University of Maribor
Institute of Technology
Razlagova 14
62000 Maribor

Aleš Hauc, Dipl. Oec.
Krekova banka, d d
Slomškov trg 18, 62000 Maribor

Prof. Dr. Jurij Krope, Dipl. Ing.
University of Maribor
Faculty of Mechanical Engineering
Smetanova 17
62000 Maribor, Slovenia

Prejeto:
Received: 25.4.1995

Sprejeto:
Accepted: 4.5.1995