

Ing. Jiří PROKOP, CSc.
 ČVUT Praha, Fakulta strojní,
 Ústav energetiky

Výpočet hospodárné tloušťky tepelné izolace

Economic thickness calculation of heat insulation

Recenzent
 Ing. Zdeněk Lerl

Článek pojednává o výpočtu hospodárné tloušťky tepelných izolací, a to jak pro rovinné stěny, tak i pro izolace potrubí. Současně je uveden i postup stanovení vlivu zvětšení tloušťky izolace na určování její hospodárné tloušťky. Článek se nezabývá problematikou obytných budov, u kterých je izolační schopnost stěn stanovena předpisy. Výpočet hospodárné tloušťky tepelné izolace se týká technologických zařízení, chladicích boxů, akumulčních nádrží, technologického potrubí apod.

Klíčová slova: tepelné izolace, volba tloušťky, hospodárnost tepelné izolace

The article deals with calculation the economic thickness of heat insulation for plane walls and pipes. There is published the procedure to determine a magnification influence of the thermal insulation thickness for an economic thickness. The article does not deal with building thermal insulation. The calculation of the economic thickness of heat insulation concerns processing equipments, cooling boxes, storage tanks and technological pipes.

Key words: heat insulation, insulation thickness, economic thickness of heat insulation

Volba tloušťky tepelné izolace je určena buď s ohledem na provozní podmínky energetických zařízení nebo s ohledem na hospodárnost volené tloušťky izolace. Článek se vyjadřuje k určení tloušťky izolace s ohledem na hospodárny provoz zařízení.

Jednou z nejčastějších a nejdůležitějších otázek izolační techniky je řešení vhodné tloušťky izolace. Je to úloha o níž bylo a je v literatuře mnoho napsáno. Zůstává však stále nedořešena, alespoň všude tam, kde rozhoduje hospodárnost.

Případy určení tloušťky izolace lze rozdělit zhruba do dvou skupin:
 a) tloušťka izolace je volena podle zásad nejvyšší hospodárnosti;
 b) tloušťka izolace je dána provozními podmínkami.

Celkem se nevyskytují nesnáze při stanovení tloušťky izolace v případech skupiny b). Zde jsou z provozních důvodů přesně stanoveny podmínky, jimž musí izolace vyhovět a pro řešení tloušťky jsou dány zcela určité směrnice, např.:

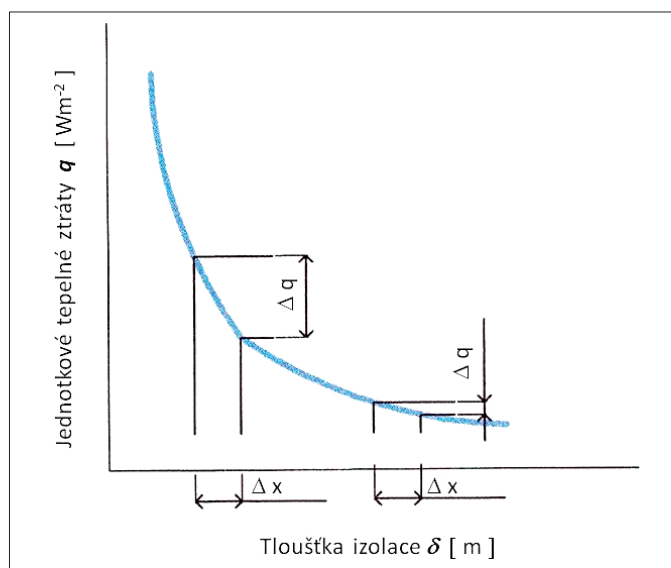
1. zamezení orosování nebo omrzání povrchu zařízení nebo potrubí (vodovodní potrubí, chladničky, mrazničky);
2. limitování poklesu teploty při průtoku tekutiny na konci potrubí (horkovody apod.);
3. limitování tepelných ztrát podle daných předpisů (součinitele prostupu tepla, tepelné propustnosti apod.);
4. maximální ochlazení (popř. ohřátí) tekutiny v daném prostoru (cisterny, kontejnery);
5. limitování maximálního množství vypařené látky (zkapalněné plyny) v nádobách či potrubí, nebo naopak zkondenzované páry.

Všechny tyto a podobné případy se řeší uvedenými výpočty tepelných ztrát a zisků, popř. výpočty dovolených teplot.

Ve většině případů nebyvají však provozní podmínky stanoveny a požaduje se pouze, aby byly tepelné ztráty sníženy na přiměřenou míru. Zde je pak jediným vodítkem při řešení tloušťky izolace hospodárnost provozu.

HOSPODÁRNÁ TLOUŠŤKA IZOLACE

Z průběhu jednotkových tepelných ztrát v závislosti na tloušťce izolace (obr. 1) vyplývá, že se u malé tloušťky docílí jejím zvětšením značné snížení tepelných ztrát. U větších tlouštěk je však klesání křivky pozvolné, takže zvětšení tloušťky izolace nepřináší již takový zisk, jako u tlouštěk menších.

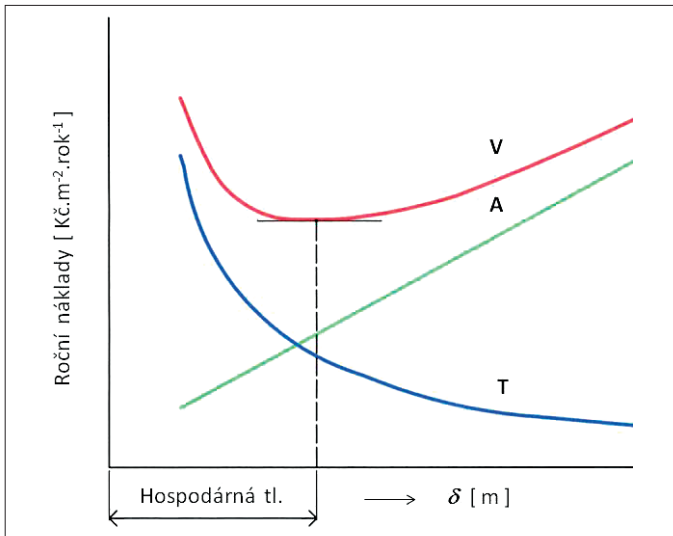


Obr. 1. Závislost jednotkových tepelných ztrát na tloušťce izolace

Musí být proto určitá hranice, při níž jsou náklady na zvětšení tloušťky izolace a zisk ze snížení tepelných ztrát ve vzájemném výhodném poměru. V praxi se to již dříve projevilo tak, že byly pro určité případy stanoveny nejvyšší přípustné součinitele prostupu tepla. Tyto hodnoty vyplynuly z provozních zkušeností, byly později v literatuře stále přejímány, nejsou však podloženy ekonomickým zdůvodněním. Ještě dnes se udržuje předepisování největších přípustných hodnot součinitelů prostupu tepla tam, kde lze s obtíží zjistit všechny podmínky pro hospodárnost provozu (vyhláška 193/2007 Sb.).

Správná volba tloušťky izolace má být vždy stanovena v první řadě s ohledem na nejvyšší hospodárnost a takto určená tloušťka se nazývá **hospodárnou** tloušťkou izolace. V dalším bude uveden dosud běžný způsob výpočtu hospodárné tloušťky jak pro stěny rovinné tak i válcové. Na konci stati bude provedeno zhodnocení stávajícího výpočtu hospodárné tloušťky a bude uveden připravovaný limitující způsob tepelných ztrát při navrhování tepelných izolací.

Výpočet hospodárnosti se zakládá na zjišťování rovnováhy mezi úsporou tepla a náklady vynaloženými na provedení izolace. Srovnání je možné jen tehdy, vztahují-li se porovnání ke stejným hodnotám. Takovou jednotkou je v první řadě plocha izolace. U rovinných stěn se zjišťují veškeré náklady obyčejně na plochu 1 m², u stěn válcových na plochu 1 m délky válcové stěny.



Obr. 2. Grafické stanovení hospodárné tloušťky izolace

Jinou jednotkou je doba, během níž se veškeré náklady porovnávají. Z důvodů, které budou z dalšího zřejmé, se volí za základní jednotku doby při výpočtu hospodárnosti jeden rok.

Všechny výdaje, spojené s provedením izolace, lze pak rozdělit do dvou skupin:

- výdaje vyhodnocující tepelné ztráty a zisky při různých tloušťkách izolace;
 - výdaje, spojené přímo s pořizováním izolace.
- Oba druhy se sledují odděleně.

Výdaje první skupiny se zjistí z jednotkových tepelných ztrát. Násobí-li se tyto jednotkové ztráty počtem provozních hodin v roce a cenou tepla, zjistí se jejich hodnota za rok v penězích. Provede-li se výpočet pro různé tloušťky izolace a nanesou-li se takto vypočtené roční částky do diagramu (obr. 2), obdržíme křivku *T*. S rostoucí tloušťkou izolace klesá křivka nejprve rychle, při větších tloušťkách již pozvolněji.

Při zjišťování výdajů druhé skupiny se vychází z ceny izolace. Náklady, vynaložené na provedení izolace, lze jako odpisy rozdělit na stejné roční částky, jejichž výše závisí na době trvání izolace. K tomu přistupují **ještě částky, vyplývající z případného úročení úvěrů**.

To se vyjadřuje obvykle určitým procentem z kupní hodnoty izolace. Protože se s rostoucí tloušťkou izolace zvětšuje i její cena, budou při větších tloušťkách i roční odpisy vyšší. Vynesením takto určených ročních kvót do diagramu, obdržíme stoupající křivku *A*. Tato křivka má obvykle v rovinných stěnách průběh lineární, u ploch válcových se mírně zakřivuje směrem nahoru.

Celkové roční náklady jsou dány součtem obou křivek a jejich výslednicí je křivka *V*. Tato křivka klesá při menších tloušťkách prudce do určitého minima, pak se obrací a znovu stoupá. Minimum křivky představuje nejmenší celkové roční náklady a jím odpovídající tloušťka je pro provoz nejvýhodnější. Nazývá se proto hospodárnou tloušťkou izolace.

Z průběhu výsledné křivky je patrné, že volba jiné tloušťky než odpovídá minimu, není správná. Protože při menších tloušťkách má výsledná křivka strmější průběh, než při tloušťkách větších, je vždy nevýhodné volit tloušťku menší než určuje výpočet hospodárnosti. V okolí minima bývá obvykle výsledná křivka velmi plochá, což svádí k tomu, aby se volila tloušťka izolace o něco menší, protože se tím sníží okamžité výdaje na provedení izolace. Toto okamžité snížení výdajů bývá mnohdy pro objednavatele výhodnější než poměrně malý zisk na úsporách tepla v dalších letech. Proto se častěji připoustí zmenšení tloušťky izolace oproti hospodárné, a to asi o 5 %, případně i více.

Při popsaném postupu určování hospodárné tloušťky izolace není předem známo, u které tloušťky se přibližně minimum vyskytuje. Je proto nutné zjistit průběh křivky tepelných ztrát a křivky odpisů v širokých mezích, obvykle se vypočítávají jejich hodnoty pro řadu tlouštěk a vypisují se pod sebou do sloupců. Není sice pak nutné kreslit křivky do diagramu, je to však výhodné, neboť průběh křivek je dobrou kontrolou výpočtu a ukáže, zda nebyla při vyčíslení udělána chyba.

Grafické a početní řešení hospodárné tloušťky podle popsaného způsobu je jednoduché a názorné, je však zdoluhavé. Bylo proto snahou určit hospodárnou tloušťku přímo početně. Jde to provést u rovinné stěny, u válcových stěn však nikoliv, alespoň ne přesně. V posledním případě se někdy používá rovnice pro přímé vyčíslení hospodárné tloušťky, je k nim však zapotřebí určit některé veličiny diagramy nebo zvláštními tabulkami.

HOSPODÁRNÁ TLOUŠŤKA IZOLACE ROVINNÉ STĚNY

U rovinné stěny lze při odvození rovnice hospodárné tloušťky postupovat takto:

Uvažujeme případ, že je izolace upevněna na rovinné stěně o známé tloušťce a tepelné vodivosti. Celkové roční výdaje jsou podle předchozího dány součtem hodnoty tepelných ztrát a roční odpisové kvóty

$$V = T + A.$$

Prvý člen *T* je dán součinem jednotkových ztrát *q*, počtu provozních hodin za rok τ a ceny tepla c_t :

$$T = q \cdot \tau \cdot c_t. \quad [\text{Kč} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{rok}^{-1}]$$

Jednotkové tepelné ztráty je možno u rovinné stěny vyjádřit

$$q = U \cdot \Delta_t = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta'}{\lambda'} + \frac{1}{\alpha_e}} \cdot \Delta_t$$

Hodnoty s čárkou jsou známé hodnoty stěny, na níž je izolace upevněna (zdivo apod.). Po dosazení a úpravě obdržíme

$$T = \frac{\lambda \cdot \tau \cdot c_t \cdot \Delta t}{\delta \cdot \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta'}{\lambda'} + \frac{1}{\alpha_e} \right)}$$

Druhý člen *A* je dán součinem z ceny izolace a součinitelem odpisové částky

$$A = c_i \cdot a, \quad [\text{Kč} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{rok}^{-1}],$$

kde je

- c_i cena izolace [$\text{Kč} \cdot \text{m}^2$];
- a součinitel odpisové částky [rok^{-1}].

Cena izolace rovinných stěn roste pravidelně lineárně s tloušťkou a vyjadřuje se rovnicí

$$c_i = m + n \cdot \delta_i,$$

kde jsou

- δ_i tloušťka izolace;
- n konstanta odvislá od ceny použitého izolačního materiálu;
- m konstanta závislá na provedení izolace.

Bude proto rovnice výsledné křivky dána výrazem

$$V = \frac{\lambda \cdot \tau \cdot c_i \cdot \Delta t}{\delta + \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta'}{\lambda'} + \frac{1}{\alpha_e} \right)} + a(m + n \cdot \delta)$$

Její diferenciální tvar je

$$dV = \frac{\lambda \cdot \tau \cdot c_i \cdot \Delta t}{\left[\delta + \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta'}{\lambda'} + \frac{1}{\alpha_e} \right) \right]^2} \cdot dx + a \cdot n \cdot dx.$$

Pro minimum musí být

$$\frac{dV}{dx} = 0,$$

tudíž

$$\frac{dV}{dx} = \frac{\lambda \cdot \tau \cdot c_i \cdot \Delta t}{\left[\delta + \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta'}{\lambda'} + \frac{1}{\alpha_e} \right) \right]^2} + a \cdot n = 0$$

a řešením této rovnice obdržíme hledanou hospodárnou tloušťku

$$\delta_n = \sqrt{\frac{\lambda \cdot \tau \cdot c_i \cdot \Delta t}{a \cdot n}} - \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta'}{\lambda'} + \frac{1}{\alpha_e} \right),$$

kde je

λ provozní tepelná vodivost izolace [W.m⁻¹.K⁻¹];

λ' tepelná vodivost stěny, na níž je izolace upevněna [W.m⁻¹.K⁻¹];

δ' tloušťka této stěny [m];

τ počet provozních hodin v roce [h];

c_i cena tepla (chlada) v Kč za 1 Wh;

a součinitel odpisové kvóty [-];

n přírůstek ceny izolace zvětšením tloušťky, přepočtený na 1 m³ izolace [Kč.m³];

α_i, α_e součinitelé přestupu tepla na obou stranách soustavy [W.m⁻².K⁻¹].

Je-li izolace upevněna na složené stěně s rozdílnými tloušťkami a součiniteli tepelných vodivostí, bude obecně platit

$$\delta_n = \sqrt{\frac{\lambda \cdot \tau \cdot c_i \cdot \Delta t}{a \cdot n}} - \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta'}{\lambda'} + \frac{1}{\alpha_e} \right).$$

Při provedení izolace na kovové stěně je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně velký, takže je možno jeho odpor zanedbat. Stejně je možné zanedbat i tepelný odpor kovové stěny. Z druhého členu rovnice zůstane pak jen podíl $\frac{\lambda}{\alpha_e}$, který je však rovněž malý a není zapotřebí uvažovat.

Pro případ izolace na kovové stěně je tudíž možno pro výpočet hospodárné tloušťky použít jednoduchého výrazu:

$$\delta_n = \sqrt{\frac{\lambda \cdot \tau \cdot c_i \cdot \Delta t}{a \cdot n}}.$$

Lze proto poslední rovnici použít pro určení tloušťky izolace nádrží, těles apod.

Lineární závislost ceny izolace na její tloušťce bývá dodržena obvykle jen při stejném provedení izolace. Při větších tloušťkách bývá nutné provést izolace ve dvou nebo více vrstvách, protože jsou tloušťky vlastních izolačních desek z výrobních důvodů omezeny. V takovém případě se mění i konstanty m a n .

POZNÁMKY K JEDNOTLIVÝM HODNOTÁM

Tepelná vodivost

Za tepelnou vodivost je nutno do rovnice dosazovat její **provozní** hodnotu. (Nikoliv hodnotu vodivosti podle ČSN nebo výrobce izolace). Nesmí se však zapomínat na případné zhoršení tepelné vodivosti vlivem vlhkosti, které může vždy nastat provozem u izolací, např. v chladicí technice.

Protože množství vlhkosti je různé podle jakosti izolační hmoty, provedení izolace, provozních poměrů, délky trvání izolace apod., není možné podat jednotné směrnice o zvětšení součinitele tepelné vodivosti za několik let.

Roční doba provozu

Rozumí se jí skutečný počet hodin za rok, kdy je izolovaný objekt v provozu. Při nepřetržitém provozu ve dne i v noci po celý rok se počítá s provozní dobou 8760 hodin. U některých zařízení parních a teplovodních bývá provoz jen ve dne a na noční dobu je přerušen. Protože zde postupuje chladnutí zařízení a izolace zpravidla pomalu, počítá se i v podobných případech s plnou dobou jako u provozů nepřetržitých. Konečný výsledek neovlivní ani skutečnost, že zde dochází k většímu vychladnutí během doby pracovního klidu, jak je tomu o sobotách, nedělích a svátcích.

Je-li však zařízení vysazováno častěji z provozu během roku na delší dobu, kdy dochází k úplnému vychladnutí zařízení, pak musí být náklady na tepelné ztráty zvětšeny ještě o ztráty akumulací tepla v izolaci.

U chladicího zařízení se nesmí zaměňovat provozní doba izolace s pracovní dobou chladicího stroje. Při uskladnění zboží je chlazená místnost v provozu denně plných 24 hodin, zatímco stroje mohou pracovat podstatně kratší dobu. U chladicího potrubí solankového je tomu také tak. Jedině potrubí pro přímý odpar činí výjimku, neboť zde se jeho provozní doba shoduje přibližně s pracovní dobou strojního zařízení.

Chlazené místnosti bývají vždy určitou dobu v roce mimo provoz, hlavně při čištění, dezinfekci apod. Bývá proto i jejich provozní doba menší. U velkých objektů se počítá při stálém provozu obvykle s roční dobou asi 8000 hodin.

Cena tepla

V současné době je cena tepla velmi často diskutovanou otázkou. Lze však říci, že hodnoty, se kterými se dosud počítalo, jsou naprosto neskutěčné. Nazírat na cenovou energetickou politiku lze různě. V některých státech jsou ceny energie dotovány státem, tzn., že v nich nejsou zahrnuty skutečné vlastní náklady. Další otázkou je, které náklady se mají do cen započítávat. To se diskutuje již od dvacátých let.

Odpisová kvóta

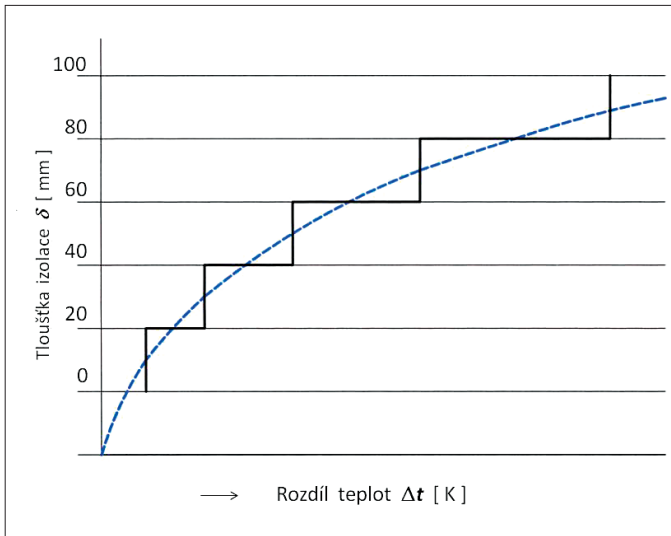
Tato kvóta zahrnuje odpis a případné zúročení. Jako každé zařízení, tak i izolace ztrácí během doby svou hodnotu stárnutím, opotřebením apod. Zmenšení této hodnoty znamená ztrátu, která se odpisuje. Odpis představuje určitou roční částku, jejíž výše je odvislá od doby trvání izolace. Pro její stanovení se neuvažuje celá skutečná doba trvání izolace (životnost), nýbrž doba kratší. Pro izolace potrubí a těles se pravidelně počítá při odpisu s dobou asi 5 let. U izolace chlazených místností je tato doba větší a izolace se odepisuje asi za 15 až 20 let.

Očekává-li se však za nepříznivých okolností, že bude doba trvání izolace menší, odepíše se její cena za tuto kratší dobu. Podobně je tomu u provižního zařízení.

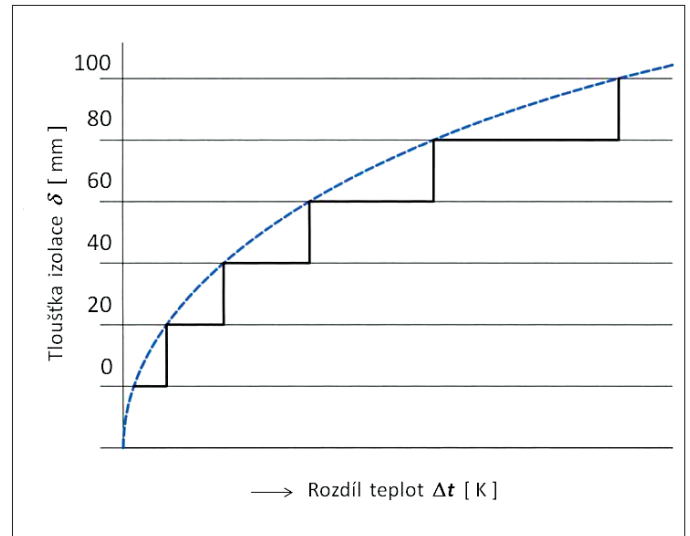
Odpisy se realizují stejnými ročními částkami, které jsou vyjádřeny určitým procentem z kupní ceny izolace.

Celková roční odpisová kvóta, která zahrnuje odpis i s případným zúročením, bývá u tepelných izolací přibližně:

- u izolace potrubí a těles 20 až 30 %,
- u izolace chladicího potrubí 20 až 35 %,
- u izolace chlazených místností 7 až 15 %.



Obr. 3 Ideální průběh skoků z jedné tloušťky do druhé



Obr. 4 Prakticky se volí odstupňování křivkou dotýkající se maxim.

Do výpočtu hospodárné tloušťky je ovšem nutno dosazovat hodnotu a , která je dána stejným procentním poměrem z jednotky.

Cena izolace

Závislost ceny izolace na její tloušťce se obvykle vyjadřuje rovnicí

$$c_1 = m + n \cdot \delta_1, \quad [\text{Kč} \cdot \text{m}^{-2}]$$

kde δ_1 je tloušťka izolace v [m].

První konstanta m [Kč.m⁻²] je nezávislá na tloušťce a jsou v ní obsaženy zhruba mzdy izolátorů a pomocných sil, jejich ostatní výlohy jako jízdné, cestovné, noclehy, stravné, pojištění, dále pak pomocný a upevňovací materiál, jakož i všechny další výdaje, spojené s realizací montáže izolace (osvětlení pracoviště, lešení, topivo apod.).

Druhá konstanta n [Kč.m⁻³] znamená přírůstek ceny izolace při zvětšení její tloušťky a obsahuje také příslušné výdaje na dopravu, uskladnění apod.

Při řešení rovnice pro hospodárnou tloušťku prvá konstanta vypadne. To znamená, že hospodárná tloušťka není odvislá od absolutní výše nákladů za izolaci, nýbrž jedině od **přírůstku** její ceny zvětšením tloušťky. Není také správné, dosazuje-li se do rovnice místo přírůstku ceny izolace přímo její cena přepočtená na 1 m³. Takto chybně vypočtená cena bývá vždy vyšší, než přírůstek s tloušťkou a mění se s rozsahem prací. Např. je-li cena izolace při tloušťce 100 mm rovna 120 Kč.m² a při tloušťce 120 mm rovna 160 Kč.m², bude chybně vypočtená cena pouhým vypočítáním na 1 m³:

- při tloušťce 100 mm rovna 1200 Kč.m⁻³,
- při tloušťce 120 mm rovna 1333 Kč.m⁻³.

Správná cena je dána přírůstkem, který je v daném případě 40 Kč, na rozdíl tlouštěk 20 mm. Z toho plyne přírůstek přepočtený na 1 m³ roven 2000 Kč.m⁻³. Není-li přírůstek ceny izolace s tloušťkou stálý, bývá nutné, postupovat početně nebo graficky podle odstavce „Hospodárná tloušťka tepelné izolace rovinné stěny“.

Konečná volba tloušťky izolace

Skutečná konečná tloušťka izolace se obvykle neshoduje přesně s výpočtem hospodárnosti. Je to proto, že se izolační tvárnice nevyrobí v libovolných tloušťkách. Tak např. u různých izolačních (PS, PU apod.) desek jsou tloušťky odstupňovány obvykle po 10 až 20 mm. Tloušťky tvárnice u jiných izolačních hmot, např. lehčených plastických hmot, bývají naopak odstupňovány po 10 mm. U každé izolační hmoty se vyrábí tvárnice jen do určité největší tloušťky. Při větších předepsaných tloušťkách se izoluje ve dvou i více vrstvách.

Vypočtenou tloušťku je tedy nutno přizpůsobit výrobním zvyklostem. Přitom je snahou odstupňovat tloušťky tak, aby rozdíl mezi výpočtem a zvolenou konečnou tloušťkou byl co nejmenší. Podaří se to tehdy, volí-li se skok na přechodu z jedné tloušťky do druhé v poloviční vzdálenosti sousedních tlouštěk, jak je to vyznačené na obr. 3. Protože je však výsledná křivka celkových nákladů v okolí minima plochá, volí se někdy i odstupňování tak, aby se lomená čára dotýkala vypočtené křivky (obr. 4).

Hospodárná tloušťka izolace potrubí

Při určování hospodárné tloušťky izolace potrubí se postupuje v zásadě stejným způsobem jako u rovinné stěny. Vychází se ze zjištění křivky tepelných ztrát a odpisové kvóty a jejich součtem se obdrží výsledná křivka, jejíž minimum určuje hospodárnou tloušťku.

Při izolaci potrubí je zvykem vypočítávat veškeré výdaje na plochu 1 m délky potrubí, čímž se liší výpočet od předcházejícího případu. Protože jsou tepelné ztráty a plochy izolace při každém průměru jiné, vyplývá z toho nutnost řešit hospodárnou tloušťku pro každý průměr zvlášť. Tím se stává výpočet složitější a zdoluhavější. Početní řešení, jaké bylo odvozeno při rovinné stěně, zde není možné pro složitost výsledných rovnic. Mnohdy bývají v literatuře uváděny některé metody grafické, nebo kombinované početní a grafické, jichž bylo navrženo několik. Protože všechny tyto metody výpočet nezjednodušují a nezkracují, a je k němu zapotřebí předpracovaných diagramů, neujaly se a počítá se pravidelně podle zásad odstavce Hospodárná tloušťka izolace rovinné stěny.

Výpočet roční odpisové kvóty se musí u potrubí také přepočítat na 1 m délky izolace. Cena izolace potrubí za 1 m délky se zjistí ze zmíněné ceny za 1 m², která se násobí ještě plochou izolace 1 m délky. Pro tento výpočet je směrodatný **zevní** povrch izolace.

Cena izolace za 1 m² je podle dřívějšího $c_1 = m + n \cdot \delta_1$ [Kč.m⁻²]. Zevní povrch izolace (vztažený na celkovou tloušťku a podmazovou a ochlazovací vrstvu) je

$$S = \pi \cdot d_e, \quad [\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}]$$

a cena 1 bm izolace potrubí se pak vypočítá z rovnice

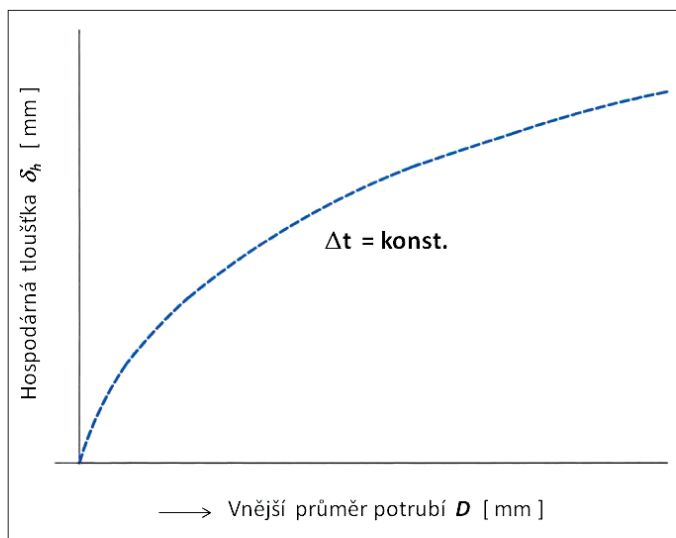
$$C_{ip} = c_1 \cdot S, \quad [\text{Kč} \cdot \text{m}^{-1}]$$

kde je

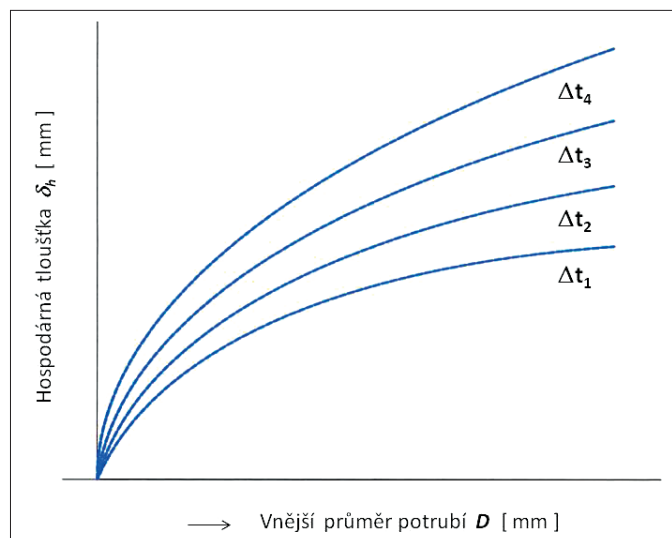
C_{ip} cena izolace 1 bm potrubí [Kč.m⁻¹];

c_1 cena 1 m² izolace [Kč.m⁻²];

S zevní plocha povrchu izolace o délce 1 m [m².m⁻¹].



Obr. 5 Hospodárná tloušťka několika průměrů potrubí o stejné teplotě



Obr. 6 Pro rozdílné teploty se musí sestavit křivka pro každou teplotu zvlášť

Např. pro izolaci potrubí průměru 108 mm o tloušťce 60/70 mm a ceně izolace za 1 m², kde

$$m = 25 \text{ a } n = 0,4$$

$$c_i = 25 + 0,4 \cdot \delta \text{ s tloušťkou } \delta \quad [\text{mm}]$$

bude cena izolace při celkové tloušťce 70 mm za 1 m²

$$c_i = 25 + 0,4 \cdot 70 = 53 \text{ Kč} \cdot \text{m}^2$$

Zevní plocha izolace je $S = \pi \cdot (0,108 + 2 \cdot 0,070) \cdot 1 = 0,779 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$.

Bude tedy cena za 1 m délky izolace potrubí

$$C_{ip} = c_i \cdot S = 53 \cdot 0,779 = 41,40 \text{ Kč} \cdot \text{m}^{-1}$$

Jde-li o větší počet průměrů potrubí stejné teploty, vypočítá se uvedeným způsobem hospodárná tloušťka pro několik průměrů a z nich se sestojí křivka hospodárných tlouštěk v závislosti na průměru potrubí (obr. 5). Je-li i teplot více, musí se sestojit křivka pro každou teplotu nebo rozdíl teplot zvlášť.

Z nakreslených křivek lze pohodlně určit pak hledané tloušťky pro ostatní průměry. Toto odstupňování je zřejmé z obr. 6.

Kritika výpočtu hospodárných tlouštěk izolace

Řešení hospodárné tloušťky izolace, jak bylo v předchozích odstavcích popsáno, je dosud jediným způsobem určení tloušťky, založeným na rovnováze mezi tepelnými ztrátami a náklady, spojenými s provedením izolace. Je také uváděno v odborné literatuře jako jediný správný postup při volbě tloušťky izolace. Jeho výpočet je však odvislý od znalosti některých provozních hodnot. Kromě součinitele tepelné vodivosti, je to cena tepla, cena izolace, roční doba provozu, odpisová kvóta a rozdíl teplot.

Z těchto hodnot lze poměrně snadno a bez obtíží zjistit cenu izolace a roční dobu provozu. Obtížnější je již určit odpisovou kvótu, jejíž význam a účel bývá různě vykládán. Zcela nejistou veličinu představuje však cena tepla a zvláště pak cena chladu vyrobeného chladicím zařízením. K neurčitosti přispívá dále i okolnost, že se různí autoři liší ve svých názorech, které výdaje mají být do ní zahrnuty. Tyto skutečnosti způsobují, že se stává výpočet hospodárnosti nejistý a záleží na tom, do jaké míry se nejisté veličiny správně odhadnou. Tak se může stát, že pro jeden a týž případ, vyjdou různým projektantům odlišné tloušťky izolace. To je hlavní vada výpočtu hospodárnosti, i když se nedá proti jeho teoretickému odvození ničeho na-

mítat. Při rozboru výsledků přistupují k předešlým nevýhodám ještě další. Některé z nich jsou:

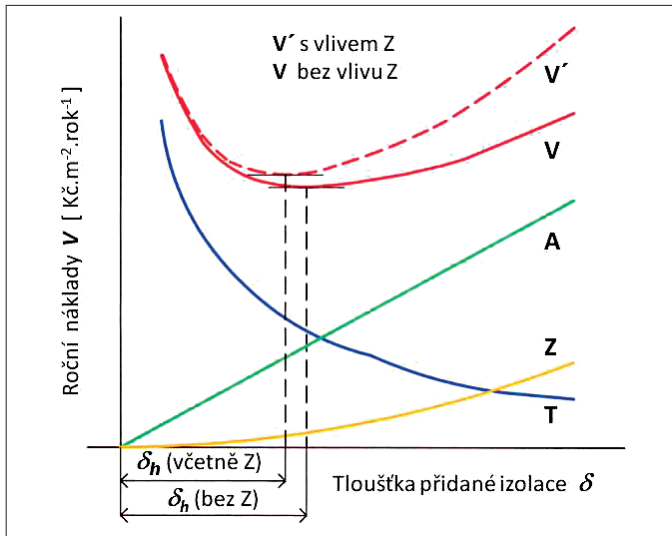
- Tloušťka izolace je odvislá od ceny tepla. Ve větších závodech je cena tepla nižší než v provozech malých. V důsledku toho vyjde ve větších provozech tloušťka izolace při naprosto jinak stejných provozních poměrech podstatně menší než u menších zařízení. Avšak právě velké provozy mají značné rozsahy izolací, takže zmenšení tloušťky izolace zde znamená velké zvětšení tepelných ztrát. Tím se celková hospodárnost provozu snižuje.
- Protože tloušťka izolace je závislá na její ceně, dochází v praxi k dalším rozporům. Cena izolace se totiž řídí rozsahem provedených prací. Realizuje-li se izolace postupně při různém rozsahu prací, mohlo by se stát, že např. část potrubí by byla provedena v menší tloušťce než jeho jiné úseky, ač jsou průměr potrubí, jeho teploty apod. stejné.
- Hospodárná tloušťka izolace je dále odvislá jak od ceny izolace tak i od ceny tepla. Dojde-li proto k jakémkoliv změně některé z obou cen, stávají se tím okamžikem všechny dříve provedené izolace neekonomickými, ačkoliv se provozní poměry nezmění.

Jak uvedeno pod c), je hospodárná tloušťka izolace závislá též na ceně izolace. Pohybem cen na trhu dochází k její změně. Při zvýšení ceny izolace se původní odpisová částka A změní. V důsledku toho se roční náklady určené křivkou V také změní. Tím dojde ke zmenšení hospodárné tloušťky izolace δ_h . Proto se původní tloušťka stává neekonomická.

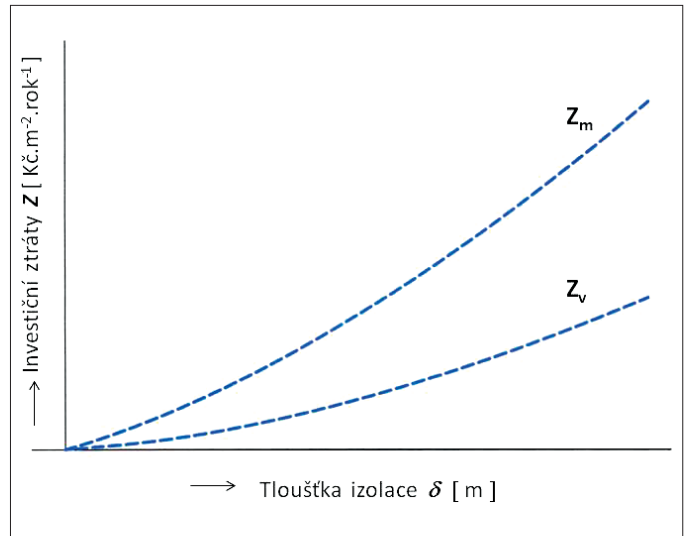
Z toho je patrné, že dosavadní způsob řešení tloušťky izolace neuspokojuje. Jednou z těchto příčin je skutečnost, že se tloušťka izolace řeší odděleně od ostatního zařízení a neuvažuje se její vliv na hospodárnost celého provozu. V tomto směru se setkáváme s dalšími nedostatky. Tak např. ovlivňuje tloušťka izolace u dlouhých potrubí velikost potrubních závěsů, profil kanálů apod. Podobných závislostí je v praktickém provozu mnoho a nejsou do úvah hospodárnosti zahrnuty.

Závažnou otázkou je i zmenšení užitečného prostoru tloušťkou izolace. Tyto prostory tvoří jistou výjimku z obvyklého provedení izolace, neboť je zde izolační vrstva situována na vnitřním povrchu prostoru. U velkých místností lze tento vliv zanedbat, avšak u malých prostorů může být závažný. Tak je tomu např. u chladniček apod.

Vliv zmenšení užitečného prostoru tloušťkou izolace navrhuje autor řešit tímto způsobem: Zmenšení užitečného prostoru představuje určité ztráty pro provoz, které je možno rozdělit zhruba do dvou skupin: investiční a provozní.



Obr. 7 Započtením vlivu změny tloušťky izolace do kubatury skladu nebo podlahové plochy, se změní také hospodárná tloušťka izolace



Obr. 8 U malých izolovaných prostor Z_m je tento vliv větší než u velkých prostor Z_v .

Při investičních ztrátách se vychází z nákladů, potřebných k vybudování 1 m³ obestavěného prostoru. Celkové náklady za vybudování chlazeného prostoru nebo skladového lze pak rozdělit stejnoměrně na vnitřní povrch izolace. Zmenšením prostoru větší tloušťkou vzroste cena užitečného prostoru a současně se zmenší i vnitřní povrch izolace. Bude pak částka připadající na 1 m² izolace větší. Rozdíl těchto částek při zvětšení tloušťky izolace představuje ztrátu. Násobí-li se takto zjištěné rozdíly odpisovou kvótou, obdržíme hodnotu této ztráty na 1 m² izolace za rok.

Druhá skupina ztrát provozních spočívá v tom, že bývá prostor oceňován buď podle užitečného obsahu nebo podle ložné plochy. Z toho vyplývají pak poplatky za uskladnění zboží. Zvětšením tloušťky izolace se jak užitečný prostor tak i plocha podlahy zmenšují a znamenají nutnost uskladnění menšího množství zboží. Tuto ztrátu lze vyčíslit v penězích a přepočítat na 1 m² izolace za rok.

Vyšetří-li se obě ztráty pro různé tloušťky izolace, je možno zakreslit je do diagramu.

Při řešení hospodárné tloušťky se uvažují náklady tepelnými ztrátami, odpisovou kvótou a zmenšením prostoru. Výsledná křivka ročních nákladů je pak dána součtem všech tří dílčích nákladů, jak je provedeno na obr. 7. Minimum je zde při menší tloušťce izolace než při řešení bez vlivu zmenšení prostoru (čárkovaná výslednice V).

Pro velké prostory je průběh těchto ztrát podle křivky Z_v , u malých však rostou rychleji podle křivky Z_m , jak je patrné z obr. 8.

Z uvedeného je patrné, že dosavadní způsob výpočtu hospodárných tlouštěk nevyhovuje v plném rozsahu praktickým potřebám a bylo by vhodné hledat nová kritéria pro posuzování hospodárnosti. Zdá se, že takovým schůdným postupem bude vypracování jednoduchých směrníc, stanovených po pečlivém studiu všech hospodářských faktorů.

Použité zdroje:

- [1] Gruber, H., Rietschel, H., Leitfaden der Heiz und Luftungstechnik. Berlin, Verlag von J. Springer, 1928
- [2] Ibl, V., Užití náhradních izolačních látek v chladírenské výrobě a jejich správné tloušťky. Grafická unie a.s. v Praze, 1944. K časopisu Strojnický obzor
- [3] Cammerer, J. S., Der Wärme und Kälte, Schulz in der Industrie, Springer Verlag, 1962
- [4] ON 73 0543 Hospodárné tloušťky tepelných izolací. 1.1.1963
- [5] Rendla, F., Tepelné izolace v chladicí technice. Skripta SNTL 1956
- [6] Prokop, J., Tepelné izolace. Skripta SNTL 1982
- [7] Prokop, J., Tepelné izolace v tepelné technice. Skripta ČVUT 1992. ■

**VYTÁPĚNÍ
VĚTRÁNÍ
INSTALACE**

**Vážení přátelé,
Společnost pro techniku prostředí nabízí
2. přepracované vydání
Názvoslovného výkladového slovníku
z oboru Technika prostředí
v Č-N-A, A-Č-N, N-Č-A mutacích**

Obsahuje terminologii oborů:

Vytápění, Solární technika, Tepelné izolace, Chladicí technika, Tepelná čerpadla, Větrání, Klimatizace, Hluk a otřesy, Průmyslová vzduchotechnika, Pneumatická doprava, Čistota ovzduší, Odprašování, Hygiena, Automatická regulace, Ekonomika investic, Domovní vodovody, Plynovody, Kanalizace.

■

Slovník je možno zakoupit:

- v Univerzitním knihkupectví ČVUT, budova NTK, Technická 6, 160 80 Praha 6 nebo si nechat zaslat dobírkou: e-mail: vera.mikulkova@ctn.cvut.cz – tel. 224 355 003;
- osobně v sekretariátu Společnosti pro techniku prostředí: Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1 nebo
- v redakci VVI – Fakulta strojní, 8. p., Technická 4, 166 07 Praha 6.

Cena 220 Kč vč. DPH
redakce VVI