

Úvod

Celosvětově spotřeba energie stále roste i při využití nejnovějších technologií a poznatků ve vztahu k životnímu prostředí, snaze o efektivní hospodaření s energiemi všech druhů a řadě projektů určených k šetrnému využívání energií nejen v národním měřítku, ale i v rámci Evropského společenství. Přitom energie, která se běžně každodenně používá, není samozřejmostí, neboť tato energie se získává při vynaložení jistých technických i investičních prostředků.

V naší republice sice delší dobu existuje podpora obnovitelných energetických zdrojů, ale přesto, například v roce 2008, více než polovina celkového množství energie byla vyrobena v klasických tepelných elektrárnách, k tomu asi třetina tohoto množství byla vyrobena v jaderných elektrárnách, pouze zbytek menší než 10 % připadá na ostatní zdroje, hlavně zemní plyn, ropu a vodní energii. Veškerý podíl z obnovitelných zdrojů energie dohromady nečinil více než 4 % celkové roční spotřeby energie. Už z toho je patrné, že každé snížení z celkového množství energie je pozitivní.

Navrhování, způsob výstavby i provozování stavebních objektů v průmyslu i v ostatní výstavbě má dlouhodobý dopad na životní prostředí. Stavební objekty, dnes mnohdy navrhované, vyžadují při výstavbě nadměrné materiálové nároky, také nepříznivě působí na okolní životní prostředí vysokými požadavky kvůli vysoké spotřebě energií, potřebnou k provozování těchto objektů. Energie nutná k vytvoření požadovaného teplotního režimu (vytápění i chlazení) v budovách a způsob, kterým posuzujeme „příjemné“ teplotní klima, které se pokoušíme ve vnitřním prostředí v budovách udržovat, sehrávají významnou roli pro životní prostředí. Právě energie pro vytápění, ventilaci a klimatizaci vnitřního prostředí tvoří největší součásti energetické náročnosti v budovách.

Předmětem této práce je analýza reálných tepelných toků ve vybraných objektech mrazíren s řízenou vnitřní teplotou pro udržení požadovaného vnitřního mikroklimatu. V této souvislosti je studován potenciál úprav pro racionální provozování těchto objektů.

Materiálové vlastnosti používaných konstrukcí jsou hodnoceny v rámci laboratorních měření. Dále je zkoumán přínos případných konstrukčních změn či řešení detailů stavebních konstrukcí po zabudování do konkrétních vybraných konstrukcí po podrobném zhodnocení detailu konstrukce objektu prostřednictvím výpočtové simulační metody.

Teoretická část

1 Současný stav řešené problematiky

Energetické náročnosti budov se v celé Evropské unii v současnosti věnuje značná pozornost. Ta je důležitá jak pro dosažení úspor energie, tak napomáhá proti klimatickým změnám. Snížením spotřeby primární energie v této oblasti se přispívá k větší energetické bezpečnosti.

1.1 Energetická náročnost běžně vytápěných budov

Otázka energetické náročnosti budov a požadavků k jejímu snižování sice původně vychází ze směrnice Evropské unie 2002/91/ES, ta byla implementována do českého zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a její novela je ukotvena rovněž ve vyhlášce č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. Česká legislativa ukládá například povinnost zajistit budově platný průkaz energetické náročnosti budov, provádět pravidelné revize kotlů a rozvodů tepelné energie, kontrolovat klimatizační systémy nebo vypracovávat energetické audity. U jednotlivých podmínek navíc platí podrobné prováděcí normy, které je nutné dodržovat, například ČSN EN ISO 13790 pro výpočet spotřeby energie pro vytápění a chlazení nebo ČSN EN 15665 pro větrání budov.

Prováděcí vyhláška k uvedenému zákonu Vyhláška č. 148/2007 Sb. [41] o energetické náročnosti budov, stanovují konkrétně postup výpočtu energetické náročnosti budov, porovnávací ukazatele a výpočtovou metodu stanovení energetické náročnosti budov. Jsou v ní uvedeny metodické nástroje, které se zpracovávají pro jednotlivé budovy ať již při jejich plánování, projektování, při stavebním řízení, realizaci výstavby, při provozu budov i jejich rekonstrukcích. Jedná se o tzv. průkaz energetické náročnosti budov (dále jen označení PENB) a energetické audity budov. Pro účely stavebního řízení je v praxi používán soubor norem ČSN 73 0540 [16], který předepisuje metodiku energetického štítku obálky budovy. Tyto dvě základní metodiky se zaměřují na běžně vytápěné budovy s vnitřní návrhovou teplotou +20 °C. Metodika Vyhlášky č. 148/2007 Sb. zavádí tzv. standardizované využití objektu a spotřebu energie pro vytápění.

V současné době se klade důraz na celkovou energetickou náročnost budov, rozdělení požadavků na nově postavené budovy se promítá do čtyř energetických úrovní.

Tab. 1 Přehled tepelných standardů v objektech s normální vnitřní teplotou

Standard	Měrná roční potřeba tepla na vytápění
Vyhovující (požadavek ČSN 73 0540)	cca 90 kWh/m ² .rok
Energeticky úsporný (doporučená hodnota dle ČSN 73 0540)	≤ 75 kWh/m ² .rok
Nízkoenergetický	≤ 50 kWh/m ² .rok
Pasivní	≤ 15 kWh/m ² .rok
Téměř s nulovou spotřebou energie, tzv. soběstačný dům	≤ 5 kWh/m ² .rok

Nároky na vytápění objektu nejlépe charakterizuje v měrné roční potřeba tepla na vytápění (kWh na m² podlahové plochy za rok). Roční náklady na vytápění jsou vypočteny pro standardní rodinný dům s vytápěnou podlahovou plochou cca 2 x 100 m² při konstrukční výšce podlaží 3,0 m.

1.1.1 Vyhovující standard

Domy v tomto standardu splňují požadavky platné normy ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov, v mnoha případech mírně překračují a zároveň vyhovují nově vyžadovanému Průkazu energetické náročnosti budov (PENB). Jejich roční potřeba na vytápění se pohybuje okolo 90 kWh/m².

Obvodové stěny jsou řešeny jako jednovrstvé zdivo s omítkou, okna jsou zasklena izolačním dvojsklem $U_w \cong 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, jako zdroj tepla slouží elektrický nebo plynový kotel.

1.1.2 Úsporný standard

Norma ČSN 73 0540 uvádí mimo striktně požadovaných maximálních hodnot obalových konstrukcí (požadovaná či přípustná hodnota součinitele prostupu tepla) i hodnoty doporučené. Ty jsou zhruba na úrovni 2/3 požadovaných hodnot. Konstrukce domů v úsporném standardu jsou nastaveny právě na tyto hodnoty. U obvodových stěn je toho dosaženo použitím například kvalitnějšího zdiva, tepelně-izolační malty a omítky, kvalitnějšího zasklení oken a silnější tepelné izolace ve střeše.

1.1.3 Nízkoenergetický standard

Nízkoenergetické domy se označují budovy s potřebou tepla na vytápění do 50 kWh/m² a rok. Nízkoenergetické domy jsou z hlediska potřeb energií a úsilí o úspory energie mezistupněm mezi běžnou výstavbou, obvykle stávajícími budovami s nezateplenou obálkou, a pasivními domy. Projekty rodinných domů v nízkoenergetickém standardu dosahují většinou ještě nižších hodnot, průměrně se roční potřeba na vytápění pohybuje okolo 35 kWh/m². Konstrukčně musí být řešeny poněkud jinak než u předešlých standardů. Obvodové stěny jsou zatepleny, okna mají kvalitnější (většinou pětikomorové) rámy se zasklením izolačním trojsklem. Izolace ve střeše se provádí jako nadkroevní, tím se minimalizují tepelné mosty. Tato opatření by však nestačila, kdyby většina tepla unikala při větrání. Z hygienických důvodů je požadována minimální nutná výměna vzduchu. Větrání se nepředpokládá okny, ale systémem jednoduché vzduchotechniky s rekuperací tepla ohřevem přiváděného vzduchu vzduchem odváděným.

Jako zdroj tepla na vytápění se používá malý elektrokotel a otopný systém bývá doplněn solárním předehřevem teplé vody. Zateplení střechy PUR pěnovou izolací tl. 180 mm $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Okna plastová zasklená trojsklem $U_w = 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$

1.1.4 Pasivní standard

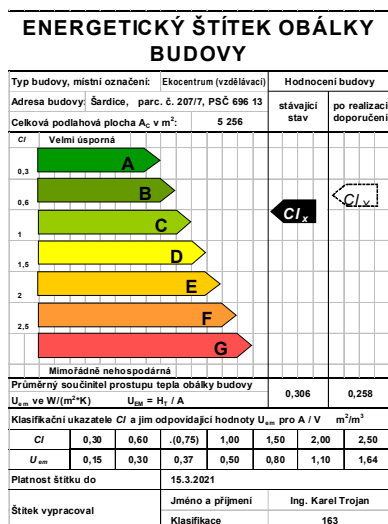
Jedná se o nízkoenergetické rodinné domy se zesílenou tepelnou izolací a dalším zkvalitněním oken posouvají do tzv. pasivního standardu. Roční potřeba tepla na vytápění musí klesnout pod hodnotu 15 kWh/m². Obvodové konstrukce jsou principiálně řešeny stejně jako u nízkoenergetického domu, tloušťka izolací je větší a okna musí být kvalitnější. Řízené větrání v domě s rekuperací tepla je nezbytné, jako zdroj tepla na vytápění se často používá tepelné čerpadlo.

1.2 Energetický štítek

Tento dokument je grafickým vyjádřením míry splnění požadavku ČSN 73 0540-2 na tepelně technické vlastnosti obálky budovy. K energetickému štítku je ještě vystaven protokol, v němž jsou uvedeny související hodnoty.

Navržený či již realizovaný objekt v kterémkoli výše uvedeném standardu lze charakterizovat z tepelně technického hlediska dvěma základními metodikami metodika souboru norem ČSN 73 0540-2, jejímž výstupem je Energetický štítek obálky budovy.

Příklad energetického štítku skutečné budovy je uveden na obrázku 1.



Obr. 1 Příklad energetického štítku budovy

Třídy energetické náročnosti budov

A Mimořádně úsporná

B Úsporná

C Vyhovující

D Nevyhovující

E Nehospodárná

F Velmi ne hospodárná

G Mimořádně ne hospodárná

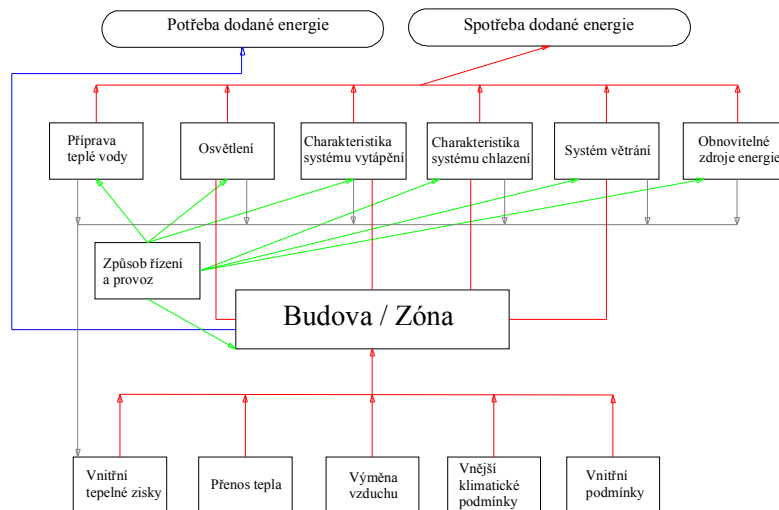
Poznámka: Pro zpracování energetického štítku není vyžadováno žádné oprávnění, ale předpokládá se, že jej zpracuje projektant v rámci své projektové činnosti.

Energetický štítek řadí hodnocený objekt podle výsledné hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy do jedné z energetických tříd A – G, jež závisí na kvalitě použitých materiálů a konstrukci obálky budovy. Přestože se jedná o zatřídění do tzv. energetických tříd, hodnotí se pouze materiálové parametry všech obálkových konstrukcí objektu bez přihlídnutí spotřebované energie celého objektu, tedy bez přihlídnutí k energetické náročnosti posuzovaného objektu.

1.3 Energetická náročnost budovy dle Vyhlášky č. 148/2007 Sb.

Energetická náročnost budovy hodnocená na základě požadavků uvedené vyhlášky [41] je výsledné číslo stanovené na základě předepsané výpočtové metody. Toto číslo zahrnuje veškeré druhy energie potřebné pro standardní provoz budovy. Taktéž jsou zohledněny všechny účely, pro které je energie v budově použita. Ze všech těchto účelů je pro účely této práce důležitá spotřeba energie pro udržení požadovaných mikroklimatických podmínek vnitřního prostředí v budově. Pro tuto spotřebu energie je určující výše spotřeby energie, stanovená pomocí energetické ztráty prostupem stavebními konstrukcemi obálky budovy.

Při stanovení energetické ztráty prostupem jsou pro běžné budovy s požadovanou vnitřní teplotou +20 °C vytvořena hodnotící kritéria, pomocí kterých lze konkrétní budovu s vypočtenou výší energetické spotřeby pro daný účel zhodnotit, porovnat se srovnatelnými budovami s obdobnými parametry a nakonec zařadit do kategorie budov, která určuje stupeň hospodaření s energií v dané budově.



Obr. 2 Znárodnění vnitřních vazeb mezi položkami energetického hodnocení

Třídý energetické náročnosti budov

- A Mimořádně úsporná
- B Úsporná
- C Vyhovující
- D Nevyhovující
- E Nehospodárná
- F Velmi nehospodárná
- G Mimořádně nehospodárná

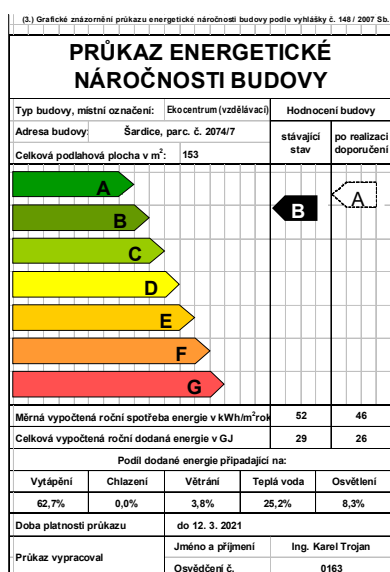
Metodika dle Vyhlášky č. 148/2007 Sb. [41] hodnotí důsledně posuzovaný objekt do stejného počtu energetických tříd (shodné označení A – G), ale nikoli podle kvalitativních ukazatelů použitých materiálů a konstrukcí posuzovaného objektu, ale podle tzv. bilančního hodnocení, které určuje předpokládanou spotřebu energie při tzv. standardizovaném využití objektu.

Účelem této metodiky je to, že zachycuje více zdrojů, pro něž je energie při běžném provozu objektu použita: i) vytápění, ii) chlazení, iii) větrání, iv) ohřev teplé vody, v) osvětlení.

Spotřeba energie pro vytápění, která zaujímá největší podíl z celkové energie k provozu objektu, je v tomto výčtu objektivně stanovena, i když roční spotřeba energie je závislá mimo jiné na průměrné teplotě vnitřního vzduchu (rozdíl jednoho stupně přináší zvýšení roční spotřeby energie pro vytápění o 6 %, tedy přetápění interiérů o 4 K zvýší roční náklady na vytápění o čtvrtinu).

Spotřeba energie pro chlazení se běžně určuje sice podle součtu vnějších a vnitřních tepelných zisků, ale skutečný vznik a průběh těchto tepelných zisků se významně liší

v každém objektu. Jen okamžik zapnutí chlazení (pokud je v objektu instalována klimatizace) významně ovlivní výslednou spotřebu energie, o požadavku na výslednou teplotu vnitřního vzduchu nemluvě. Zcela jinak bude vypadat spotřeba energie v objektu, kde při každém slunném dni bude zapínáno chlazení bez ohledu na provozní náklady s požadavkem na vnitřní teplotu nanejvýš například +22 °C, zcela jinak bude vypadat tato spotřeba při používání chlazení pouze při zvýšení vnitřní teploty například nad +28 °C s požadavkem na vnitřní teplotu například +26 °C. Výsledná spotřeba energie se bude lišit o více než 100 %.



Obr. 3 Příklad průkazu energetické náročnosti budovy

Spotřeba energie pro ohřev teplé vody závisí na počtu osob, které objekt využívají, ale individuální nároky každé osoby se mohou lišit. Touto metodou stanovená spotřeba energie pro ohřev teplé vody je pouze teoretické číslo, které v praxi může nabývat rozdílných hodnot.

Osvětlení je zcela samostatná kapitola. Sice v celkové spotřebě energie nezaujímá největší podíl, ale pouhá záměna zdrojů světla z klasických žárovek, například za zdroje s použitím LED technologie velmi ovlivní výslednou spotřebu energie objektu. Shrnutí obou metodik a možností jejich použití pro účely této práce, tedy pro objekty s vnitřní teplotou nižší než je běžná úroveň +20 °C.

Největším nedostatkem obou metodik je téměř shodnost grafické podoby výsledného materiálu, tedy EŠOB a PENB. Přitom skutečný výsledek pro jediný hodnocený objekt může být při použití jedné metodiky zcela jiný než při použití druhé metodiky. Z výše uvedeného příkladu je toto patrné: Shodný objekt je dle ČSN 73 0540 hodnocen dle EŠOB do třídy B před realizací úsporných opatření a do třídy A po realizaci těchto

opatření, zatímco dle PENB je toto zařídění rozdílné: Před realizací je objekt ohodnocen třídou C, zatímco po realizaci těchto úsporných opatření je tentýž objekt ohodnocen energetickou třídou B.

Z hlediska porovnání představuje energetický štítek obálky budovy objektivní nástroj hodnocení kvality objektu, neboť hodnotí výsledný parametr, tedy průměrný součinitel prostupu tepla objektu a zařídí jej do škály 7-mi energetických tříd.

Novější metodiku dle Vyhlášky č. 148/2007 Sb. [41], jejímž výsledkem je PENB pro účely této práce budeme využívat pouze částečně, a to v bodě stanovení spotřeby tepla pro vytápění, v našem případě pro chlazení objektu, přičemž základní položkou je tepelná ztráta. Metodicky však použitá metoda, která jako základ používá klimatické údaje během celého topného období, bude použita i v dalším textu.

1.4 Energetická náročnosti budov s řízenou vnitřní teplotou v podmínkách ČR

Podle směrnice Rady 89/106/EHS pro stavební výrobky obor tepelné ochrany budov v oblasti stavební tepelné techniky zahrnuje řešení stavební problematiky v rozsahu základního požadavku č. 6 – úspora energie a tepelná ochrana, která byla následně převzata do českých právních předpisů Nařízením vlády č. 190/2002 Sb. stanovující technické požadavky na stavební výrobky označované CE, nařízením vlády č. 163/2002 Sb. ve znění Nařízením vlády č. 312/2005 Sb. stanovující technické požadavky na stavební výrobky, do stavebního zákona a dalších technických předpisů a technických norem, dále také základního požadavku č. 3 – hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí. Uvedené technické požadavky musí být splněny, neboť zajišťují vazbu vzájemně souvisejících opatření a technických řešení týkajících se zejména:

- stanovení a ověřování vlastností výrobků podle ukazatelů užitných vlastností,
- stanovení a ověřování vhodnosti výrobků pro určené užití ve stavbě,
- projektování a návrhu stavby, provedení stavby a potřebu údržby stavby.

Základní požadavek č. 3 – hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí. Platí, že stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby neohrožovala hygienu nebo zdraví jejich uživatel, zejména v důsledku výskytu nadměrné vlhkosti ve stavebních konstrukcích nebo na površích uvnitř stavby včetně vlivu na okolí stavby.

Základní požadavek č. 6 – úspora energie a tepelná ochrana. Interpretuje se tak, že stavba musí být v průběhu užívání energeticky efektivní, a to se zřetelem na klimatické podmínky lokality umístění zamýšlené realizace.

Cílem návrhu budovy jsou taková technická řešení, aby v celoročním průběhu budova splňovala v rozsahu uvedených základních požadavků technické požadavky na:

- a) technologický proces,
- b) nízkou energetickou náročnost při provozu budovy,
- c) zajištění očekávané životnosti stavebních konstrukcí dostatečnou prevencí vzniku tepelně-technických a hygienických poruch,
- d) požadovaný/očekávaný dopad stavby v průběhu jejího užívání na životní prostředí.

Je zřejmé, že vedle uvedených dvou základních požadavků na stavby musí plnit použité konstrukční materiály, použité na obálce objektu zároveň i další základní požadavky kladené na stavby. Zejména mechanickou pevnost a stabilitu stavby, požární bezpečnost i ochranu stavby proti hluku. V dalším textu se zabýváme především požadavky na energetickou náročnost objektů, tedy požadavky souvisejícími s tepelnou ochranou objektů.

1.5 Energetická náročnost budov s řízenou vnitřní teplotou, dosahující podstatně nižší teploty než je teplota běžná

Vnitřní provozní teplota vychází z požadavků hygienických předpisů, neboť ve většině případů tyto objekty jsou budovány pro potravinářský průmysl. Výjimkou jsou objekty pro speciální účely, například filmový archiv, v oblastech medicíny a mikrobiologie lze také nalézt objekty s prostory o teplotách nižších než 0 °C.

Požadavky na objekty s nízkou vnitřní řízenou teplotou jsou obsaženy v normě ČSN 14 8102 z roku 1993 s jedinou změnou z roku 1997. Tato norma nahradila předchozí oborovou normu PN 14 8102 z roku 1961. Přitom se nijak zásadně neliší od původní normy z hlediska požadavků na výsledné tloušťky izolace, spíše zpřesňuje formulovaná kritéria. Tato norma přitom stanoví požadavky na konstrukční řešení, pokyny pro navrhování a provádění tepelně izolačních a parotěsných vrstev nebo tepelně izolačních panelů a způsob hodnocení vnitřních prostor. V normě se sice používá názvosloví a označování podle ČSN 73 0540, ale požadavky na obalové konstrukce chladíren a mrazíren platí podle normy ČSN 14 8102, tedy požadavky ČSN 73 0540-2 se na ně nevztahují.

U skupiny budov, kde je požadovaná vnitřní teplota podstatně nižší než je běžná teplota vnitřního prostředí +20 °C, je tak stav technické legislativy zastaralý. Není stanovena škála jednoznačných hodnotících kritérií jako u běžných (vytápěných) objektů a není zavedeno zatřídění do energetických tříd. Relativní potřeba energie pro provoz takovýchto objektů bývá vysoká, což plyne jednak z velkého rozdílu okamžitých teplot prostředí před a za konstrukcí opláštění. V letním období tento rozdíl dosahuje až 100K. Tuto skutečnost ilustruje pohled na dobu trvání, kdy je potřeba dodávat energii do objektu pro udržení požadovaných mikroklimatických podmínek. Porovnáním údajů je zřejmá

celoroční spotřeba energie pro mrazírnu; energetická náročnost srovnatelného objektu při běžném využití je cca 30 % oproti mrazírenskému provozu.

Zatímco ve vytápěných objektech dodáváme energii pouze během topného období, které v našich podmínkách trvá 210 – 240 dní v roce, do objektu mrazírny je nutné dodávat energii nepřetržitě po celý rok.

Tab. 2 Výpočet podle tzv. denostupňů pro mrazírnu s využitím podkladu [41]

Měsíc	provoz dnů	Střední měsíční teploty lokality Brno (°C)	Střední dlouhodobé měsíční teploty Brno (°C)	K_d (pro střední měsíční teploty lokality Brno)	K_d (pro dlouhodobé měsíční teploty lokality Brno)
I	31	-2,5	-1	666,5	713
II	28	-0,3	1	663,6	700
III	31	3,8	4	861,8	868
IV	30	9	9	990	990
V	31	14,1	14,6	1181,1	1196,6
VI	30	17,8	17	1254	1230
VII	31	19,3	18,2	1342,3	1308,2
VIII	31	18,9	18,8	1329,9	1326,8
IX	30	14,5	13,8	1155	1134
X	31	9,1	9,4	1026,1	1035,4
XI	30	3,5	4	825	840
XII	31	-0,6	-0,5	725,4	728,5
	365	8,88	9,03	12021	12071

V dalším textu jsou uvedena beze změny kritéria ČSN 14 8102, a to především proto, že v dalších kapitolách budou podrobena rozboru.

1.6 Kritéria hodnocení podle ČSN 14 8102 pro chladírny a mrazírny s obkladovými tepelně izolačními materiály

Z konstrukčního hlediska musí být při návrhu respektovány následující požadavky na řešení:

- i) Chladírny, mrazírny a jim odpovídající prostory musí být účinně chráněny před zdroji tepla a proti vnikání vlhkosti.
- ii) Veškeré materiály použité pro výstavbu chladíren a mrazíren musí být odolné proti nízkým teplotám a vlhkosti. Použité materiály nesmí negativně ovlivňovat skladované zboží a musí splňovat požadavky příslušných předpisů).

iii) Chladírny a mrazírny mají být na celém vnitřním povrchu izolovány. Parotěsná vrstva na stěnách, stropěch a podlahách (s výjimkou výplňových otvorů) musí být jednolitá, nepřerušovaná a napojena na prostupující konstrukce.

iv) Vnitřní povrchy chlazených prostorů a skladba celého izolačního souvrství musí být z hygienicky nezávadných materiálů. Konstrukce souvrství podlahy musí umožňovat čištění a dezinfekci.

1.6.1 Navrhování tepelně-izolačních a parotěsných vrstev

Při posuzování a hodnocení stěnových, stropních a podlahových konstrukcí chladíren a mrazíren se vychází z požadavků ČSN 73 0540 a ČSN 73 0542. Podle vnitřní prostorové teploty se rozlišují teplotní pásma podle tabulky 1.

Tab. 3 Rozdělení teplotních pásem podle vnitřní prostorové teploty

Pásmo A	pro chlazené (temperované) prostory s teplotou + 11 °C a vyšší
Pásmo B	pro chladírny s teplotou + 10 °C až -4 °C
pásmo C	pro mrazírny s teplotou -5 °C až -17 °C
pásmo D	pro mrazírny s teplotou -18 °C až -22 °C
pásmo E	pro mrazírny s teplotou -23 °C až -27 °C
pásmo F	pro mrazírny a zmrazovací tunely s teplotou -28 °C až -40 °C
<i>POZNÁMKA Při navrhování obvodových konstrukcí objektů s nižší provozní teplotou než -40 °C se postupuje individuálně.</i>	

Tab. 4 Hodnoty nejmenšího dovoleného tepelného odporu R_N v $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

Konstrukce	Stěnová		Stropní		Podlahová	
	vnitřní	Vnější	Vnitřní	vnější	Vnitřní 1)	terén
Pásmo A	1,90	2,85	1,50	4,35	-	-
Pásmo B	4,55	5,50	4,15	7,00	2,65	0,75
Pásmo C	7,00	7,95	6,60	9,45	5,10	3,20
Pásmo D	7,95	8,90	7,55	10,40	6,05	4,15
Pásmo E	8,90	9,80	8,50	11,35	7,00	5,10
Pásmo F	11,35	12,30	10,95	13,80	9,45	7,55
<i>1) Hodnoty R_N jsou uvažovány pro podlahové konstrukce nad sklepními prostory, jejichž $\theta_i \leq +10$ °C. Pokud se jedná o případ, kdy $\theta_i > +10$ °C, posuzuje se jako vnitřní stěnová konstrukce.</i>						

V této souvislosti jsou normativně uváděna následující opatření:

i) Pro všechna provozní teplotní pásma musí být stěnové, stropní a podlahové konstrukce i v detailech koutů a styků obvodového pláště navrženy tak, aby v nich nedocházelo ke kondenzaci vodní páry. Vhodnost navržené konstrukce nutno doložit tepelně technickým výpočtem.

ii) Pro pásmo A a B (s prostorovou teplotou nad 0 °C) a v případech, kdy není ohrožena požadovaná funkce těchto konstrukcí lze považovat za vyhovující i konstrukce, ve kterých vodní pára kondenzuje. V těchto případech však množství vodní páry zkondenzované ve stavební konstrukci musí být v ročním průběhu menší než množství vlhkosti, které se může v ročním průběhu z konstrukce vypařit. Takto navrženou konstrukci nutno vždy doložit tepelně technickým výpočtem.

iii) Stěnové, stropní a podlahové konstrukce chladíren a mrazíren musí vykazovat na všech místech (s výjimkou větracích otvorů, vrat a dveří) tepelný odpor $R \geq R_N$. Hodnoty R_N uvádí tabulka 7. Konstrukce tvořící výplně otvorů musí být navrženy tak, aby na nich i jejich těsnících prvcích nedocházelo ke kondenzaci nebo namrzání vodní páry.

iv) Tepelný odpor stavebních konstrukcí chladíren a mrazíren se stanovuje pro letní období na základě ustáleného teplotního stavu daného:

a) teplotou vnitřního vzduchu,

b) teplotou vnějšího vzduchu,

c) teplotou vzduchu v sousedním prostoru,

d) součiniteli přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce podle tabulky **XX**.

v) Při posuzování konstrukcí chladíren a mrazíren se výpočtová teplota a relativní vlhkost vnějšího vzduchu uvádí maximální hodnotou $\theta_{e,max} = +35$ °C; $\varphi_{e,max} = 35$ % pro horizontální konstrukce a $\theta_{e,max} = +25$ °C; $\varphi_{e,max} = 58$ % pro vertikální konstrukce.

vi) Pro vnitřní prostory sousedící s chladírnou nebo mrazírnou s relativní vlhkostí vzduchu $\varphi_i \leq 60$ % se ve výpočtu uvádí teplota vzduchu maximální hodnotou $\theta_{i,max} = +20$ °C.

vii) Parotěsná zábrana stěnové, stropní a podlahové konstrukce chladíren a mrazíren musí vykazovat na všech místech (s výjimkou větracích otvorů, vrat a dveří) difuzní odpor $R_d \geq R_{dN}$. Hodnoty R_{dN} uvádí tabulka **XX**.

viii) Hodnoty difuzního odporu parotěsné zábrany R_{dN} jsou stanoveny pro běžnou povrchovou úpravu (cementová armovaná omítka). Pokud je požadována omyvatelná povrchová úprava, je nutno hodnoty R_{dN} zvětšit minimálně o hodnotu R_d omyvatelné úpravy. Totéž platí pro podlahy, pokud se zřizuje nad tepelnou izolací hydroizolační vrstva.

Tab. 5 Hodnoty nejmenšího dovoleného difuzního odporu $R_{dN} [\cdot 10^9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}]$

Konstrukce	Stěnová		Stropní		Podlahová	
	vnitřní	vnější	vnitřní	vnější	Vnitřní	Terén
pásmo A	10	10	10	10	≥ 0	≥ 0
pásmo B	20	50	15	100	10	10
pásmo C	140	190	120	130	20	15
pásmo D	270	340	220	500	180	50
pásmo E	790	880	760	1000	710	640
pásmo F	820	950	910	1250	750	650

1.6.2 Požadavky na konstrukční řešení

i) Obecné požadavky na konstrukční řešení chladíren a mrazíren vytvářených tepelně izolačními panely, zejména řešení podlahových konstrukcí podle klasického schématu platí podle kapitoly 3.

ii) Tepelně izolační panely (dále jen „panely“) musí být konstrukčně uspořádány tak, aby byly použitelné jak pro vytvoření stěnového, tak i stropního pláště. Upravené panely mohou být použity i pro podlahové konstrukce.

iii) Panely pro výstavbu chlazených prostorů musí představovat samonosné prvky integrující funkci vrstvy tepelně izolační a parotěsné (příp. plynotěsné) s jedno nebo oboustrannou povrchovou úpravou. Zámky a uzávěry mezi jednotlivými panely musí vykazovat nejméně 90 % tepelně technické kvality běžného panelu.

iv) Panely se obvykle připevňují na pomocnou ocelovou konstrukci, která musí umožňovat zejména u stropních panelových pláštů přístup pro kontrolu stavu závěsného systému.

- v) Panely se mohou kombinovat i s obkladovými technologiemi (např. stropy z panelů, stěny a podlahy podle ustanovení uvedených výše), pokud je konstrukčně zajištěna návaznost parotěsně a tepelně izolační vrstvy.
- vi) Tloušťky tepelně izolačního jádra panelů vymezují použitelnost podle příslušného teplotního pásma, polohy konstrukce a rozdílu teplot na obou stranách panelů.
- vii) Spáry mezi panely musí být opatřeny tak, aby byla zajištěna požadovaná parotěsnost a umožněno vyrovnání objemových změn při teplotním namáhání.
- viii) Vnitřní povrchy panelů včetně tmelů, krycích, vodících a distančních lišt musí být z hygienicky nezávadných materiálů a musí být omyvatelné.
- ix) Povrchy stěnových pláštů z panelů nutno konstrukčně ochránit tak, aby při manipulaci se skladovacími dopravními prostředky nedocházelo k jejich poškozování (vytvořením ochranných soklů a pod.).
- x) Pokud se použije tepelně izolačních panelů do uzavřených místností (např. při rekonstrukcích), musí být zajištěno řádné odvětrání vzduchových mezer mezi silikátovou konstrukcí a pláštěm z panelů.

1.6.3 Pokyny pro navrhování

- i) Navrhování stěnových a stropních pláštů z tepelně izolačních panelů spočívá ve stanovení součinitele prostupu tepla U podle ČSN 73 0542 a ČSN 73 0549 a v jeho srovnání s hodnotou stanovenou v závislosti na rozdílu vnitřní a vnější teploty $\Delta\theta$.
- ii) Příslušný certifikát od akreditované zkušebny o hodnotě součinitele prostupu tepla pláště z panelů, včetně vlivu spár, je povinen zajistit výrobce. Po uvedení chladírny nebo mrazírny do provozu, se doporučuje provést kontrolu jakosti konstrukcí termografickým měřením.
- iii) Nejvyšší přípustné hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivá teplotní pásma v závislosti na rozdílu teplot $\Delta\theta$ uvádí tabulka 4.

Tab. 6 Nejvyšší přípustné hodnoty součinitele prostupu tepla U_N ve $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

Pásma	A	B	C	D	E	F
$\Delta\theta < 10 \text{ K}$	0,925	0,625	0,360	0,330	0,300	0,240
$\Delta\theta < 20 \text{ K}$	0,625	0,480	0,300	0,270	0,240	0,220
$\Delta\theta < 30 \text{ K}$	0,480	0,360	0,240	0,230	0,220	0,180

$\Delta\theta < 40 \text{ K}$	-	0,300	0,220	0,200	0,180	0,160
$\Delta\theta < 50 \text{ K}$	-	-	0,180	0,170	0,165	0,150
$\Delta\theta < 60 \text{ K}$	-	-	-	0,160	0,150	0,145
$\Delta\theta < 70 \text{ K}$	-	-	-	-	0,140	0,120

iv) Při posuzování vhodnosti a použitelnosti konstrukce vytvořené z tepelně izolačních panelů je rozhodující nejvyšší možná hodnota rozdílu $\Delta\theta$ (viz ustanovení v) v kapitole 5).

v) Vytvoření chladíren a mrazíren z tepelně izolačních panelů je vyhovující, pokud hodnota součinitele prostupu tepla pláště z panelů podle certifikátu je nižší, než hodnota stanovená podle $\Delta\theta$ v tabulce 4.

vi) Pro podlahové, případně stěnové konstrukce napojené na pláště z panelů, platí ustanovení uvedená v kapitole 5.

Pokyny pro provádění

i) Stavební objekt, ve kterém pro vytvoření chladíren a mrazíren budou použity tepelně izolační panely, musí být definitivně zastřešen a založen tak, aby nedocházelo k pronikání vlhkosti a k sedání stavby. Toto ustanovení se nevztahuje na speciální objekty s nosnou konstrukcí umístěnou ve vnitřním prostoru.

ii) Tepelně izolační panely sestavené do stěnových nebo stropních plášťů se zpravidla připevňují na pomocnou ocelovou konstrukci.

iii) Pomocná ocelová konstrukce včetně úchytných elementů (držáky, šrouby, závěsy atd.) musí být smontována v předstihu a opatřena hygienicky nezávadnými antikorozními nátěry nebo jinými vhodnými úpravami.

iv) V prostorech vzniklých mezi stěnovou, stropní či střešní konstrukcí objektu a pláštěm z tepelně izolačních panelů musí být vhodnou úpravou a provětráváním vyloučena kondenzace vodní páry.

v) U zavěšených stropních plášťů z tepelně izolačních panelů a v případech, kdy nelze vyloučit kondenzaci vodní páry na závěsném systému, musí být meziprostor přístupný pro kontrolu, údržbu a případnou opravu závěsného systému.

vi) Na případy, kdy stropní panely jsou uloženy na stěnovém plášti bez dalšího zavěšení, se ustanovení ii) nevztahuje.

vii) U chladírenských komor vybavených řízenou atmosférou musí být zabudován pojistný ventil nebo jiné pojistné zařízení seřízené na takovou hodnotu otevíracího přetlaku i podtlaku, která se určí v závislosti na dovoleném namáhání použitých stavebních prvků konstrukce chladíren. Obdobné pojistné zařízení se doporučuje zabudovat i u ostatních chladírenských a mrazírenských komor z tepelně izolačních panelů.

1.7 Hodnocení chladíren a mrazíren

Základní kritéria při hodnocení chladíren a mrazíren jak při návrhu, tak i provozu jsou:

- a) energetické kritérium,
- b) stabilitní kritérium.

1.7.1 Energetické kritérium

V tomto odstavci jsou uvedeny požadavky pro hodnocení energetické náročnosti objektu pro udržení požadovaného vnitřního klimatu.

i) Energetické kritérium sleduje měrné tepelné zisky dané podílem celkových tepelných zisků hodnoceného prostoru k celkovému objemu v závislosti na rozdílu teplot podle vztahu:

$$q = \frac{Q_{celk}}{V_{celk} \cdot (\theta_e - \theta_i)}$$

kde: q je měrný tepelný zisk ve $W \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$,

Q_{celk} celkový tepelný zisk hodnoceného prostoru ve W,

V_{celk} celkový objem v m^3 ,

θ_e vnější teplota ve $^{\circ}C$,

θ_i vnitřní teplota ve $^{\circ}C$.

ii) Nejvýše přípustné měrné tepelné zisky v závislosti na celkovém objemu podle provozního teplotního pásma uvádí tabulka 11.

Tab. 7 Hodnoty nejvyšších dovolených měrných tepelných zisků q_{max} ve $W \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$

Objem V (m^3)		100	200	500	1000	2000	5000 a více
Měrný tepelný	pásmo A	0,680	0,535	0,395	0,315	0,250	0,185
	pásmo B	0,430	0,345	0,250	0,200	0,160	0,141
	pásmo C	0,330	0,260	0,190	0,150	0,120	0,090
	pásmo D	0,310	0,250	0,180	0,145	0,115	0,085

zisk	pásmo E	0,300	0,240	0,160	0,140	0,110	0,080
	pásmo F	0,255	0,200	0,150	0,120	0,090	0,070

iii) Nejvýše dovolené měrné tepelné zisky zahrnují tepelné zisky prostupem stěnami, stropem, podlahou a tepelné zisky vzniklé provozem (otevíráním dveří, od ventilátorů, od skladovaného zboží, od osvětlení, od obsluhy atd.).

iv) Tepelné zisky vzniklé provozem mohou dosáhnout maximálně 20 % celkových tepelných zisků hodnoceného prostoru. Ustanovení tohoto článku se nevztahuje na prostory s objemem do 100 m³.

1.7.2 Rozbor kritérií hodnocení dle ČSN 14 8102

Ve výše uvedeném souhrnu požadavků technické normy ČSN 14 8102 jsou zachycena hodnotící základní kritéria obálkové konstrukce objektu s řízenou vnitřní teplotou:

Tabulka 1 uvádí pro vnitřní i vnější konstrukce obálky objektu hodnoty tepelného odporu R_N a to jednotlivě pro konstrukce stěnové, stropní i podlahové. Z hodnot této tabulky jsou odvozeny, při respektování teplotních pásem podle čl. 3.2.2 této normy podle současných zvyklostí měrnou tepelnou ztrátu pro jednotlivé konstrukce, a to vnější i vnitřní. Měrná tepelná ztráta při shodné konstrukci se bude lišit, neboť venkovní výpočtová teplota pro dimenzování konstrukce (vnější) činí dle čl. 3.2.7 $\theta_{e,max} = +35$ °C (pro horizontální konstrukce pouze $\theta_{e,max} = +25$ °C), zatímco pro vnitřní konstrukce činí výpočtová teplota okolního prostředí $\theta_{i,max} = +20$ °C.

Z praktických důvodů a s přihlédnutím ke skutečně zaznamenaným hodnotám povrchové teploty konstrukce při oslunění povrchu vnější konstrukce objektu v dalším textu je výpočtová teplota (vnější) sjednocena na hodnotu $\theta_{e,max} = +35$ °C a to pro horizontální i vertikální konstrukce.

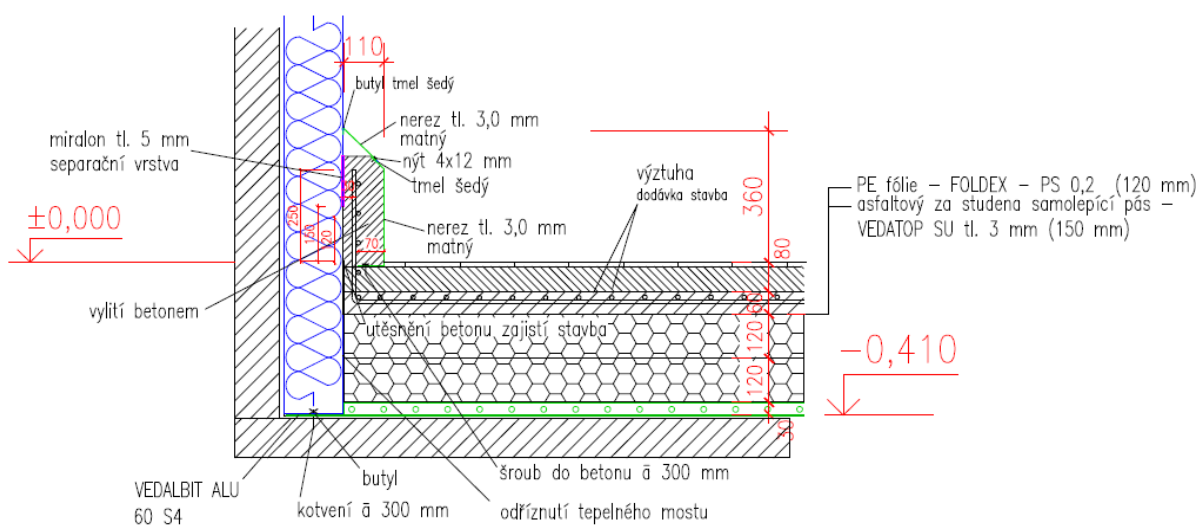
Skutečné teploty při oslunění totiž na vertikálním i horizontálním povrchu dosahovaly při oslunění více než 80 °C. Těchto hodnot bylo běžně dosahováno na realizovaném objektu o půdorysném rozměru 100 x 100 m.

1.7.3 Dílčí zhodnocení

Dvě kritéria, a to (tab.1 - Hodnoty nejmenšího dovoleného tepelného odporu R_N (m².K.W⁻¹) a tab. 4 - Hodnoty součinitele prostupu tepla U_N (W.m⁻². K⁻¹) by měly dávat po přepočtu hodnoty měrné tepelné ztráty ve shodných hodnotách. Přitom pro většinu konstrukcí ve všech teplotních pásmech je kritérium vycházející z tab.1 podstatně

přísnější, tedy podle tohoto vychází podstatně menší výsledné hodnoty měrné tepelné ztráty konstrukce.

Přitom jedinou výjimkou jsou hodnoty podle tab. 3.2 pro vnější podlahu, které jsou velmi „měkké“ a výjimečně vyšší než ostatní hodnoty dle tab. 5.2. Zřejmě je toto kritérium vymezeno neadekvátně, o čemž svědčí dnes používané konstrukce podlah. Tloušťka použité izolace je přinejmenším shodná s rozměrem stěnové izolace, obvykle bývá větší. O tom svědčí příklad řezu skutečné podlahy projektovaného objektu mrazírny, kde při stěnovém panelu o tl. 180 mm se navrhuje tepelná izolace podlahy (pod vrstvou betonu) o síle 2 x 120 mm, tedy celkem 240 mm:



Obr. 4 Řez podlahou mrazírny

O zjevném nedostatku normového kritéria se lze přesvědčit následující analogií, neboť běžné objekty vytápěné na vnitřní teplotu $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ mají konstrukci střechy nejlépe izolovanou oproti ostatním stěnovým i podlahovým konstrukcím. O tom svědčí i srovnatelné požadavky ČSN 73 0540-2, kde např. přípustná hodnota součinitele prostupu tepla U pro obvodovou stěnu činí $0,38\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, zatímco pro střechu je analogická přípustná hodnota U_N pouze $0,24\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Naopak u objektů mrazíren, kde vnitřní teplota je vždy podstatně nižší než je teplota okolního prostředí, je nutno izolovat nejlépe nikoli strop, ale právě podlahu. Přes tuto konstrukci prochází podstatná část prostupující energie (vyrobeného chladu) a není žádný důvod tuto konstrukci méně izolovat, než ostatní konstrukce.

Další kritérium hodnocení chladiřů a mrazíren je uvedeno v normě ČSN 14 8102 v tab. 5, která uvádí hodnoty nejvyšších měrných tepelných zisků q_{max} ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$).

V čl. 5.1.3 normy se uvádí, že nejvýše dovolené měrné tepelné zisky zahrnují tepelné zisky prostupem stěnami, stropem a podlahou a dále tepelné zisky vzniklé provozem (otevíráním dveří, od ventilátorů, od skladovaného zboží, od osvětlení, vlivem obsluhy atd.).

V následujícím článku 5.1.4 je konstatováno, že veškeré, tedy i měrné tepelné zisky vzniklé provozem, mohou dosáhnout maximálně 20 % celkových tepelných zisků hodnoceného prostoru.

1.7.4 Vliv účinku tepelných mostů na rozložení teplotního pole ve stavebních konstrukcích

Tepelným mostem je označováno místo v opláštění objektu se zvýšenou hustotou tepelného toku oproti hustotě tepelného toku v okolí. V tom místě proniká více tepelné energie, u obytných budov má v interiéru studenější povrch a naopak v exteriéru teplejší povrch než okolní konstrukce. Lokalizaci tepelných mostů dokumentuje například termogram. Obvykle jsou patrné tepelné mosty v koutech budovy a v místech bodového upevnění obvodového pláště k nosné konstrukci.

Z hygienického hlediska jsou tepelné mosty nepříjemné proto, že na jejich chladných površích může kondenzovat vodní pára či zde může lokálně relativní vlhkost vzduchu stoupnout nad 80 %, což vytváří prostředí k růstu plísní, jež jsou zdrojem alergenů a tím vytváří vnitřní mikroklima nevhodné pro pobyt lidí.

V současné době, kdy se snažíme o maximální úspory energií, omezuje se větrání až na pouhou hygienickou úroveň výměny vzduchu.

2 Rozvoj mrazírenské technologie ve světě

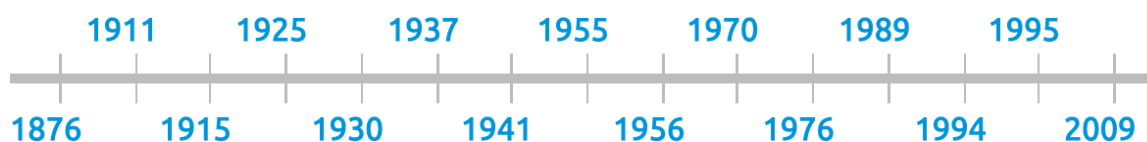
2.1 HISTORIE CHLAZENÍ

První chladicí technika existuje už od nepaměti. Jde o sníh a led, které využívali už lidé v prehistorických dobách. Lidé zjistili, že potraviny, které jsou vystaveny snížení teploty na bod mrazu, ať už od sněhu nebo ledu, vydrží mnohem déle než v běžných podmínkách. To byl taky první důvod, proč se začala vyvíjet chladicí technika pro uchování potravin. První sníh a led samozřejmě pocházel z přírodních podmínek. Trvalo dlouho, než vznikla první funkční lednička v 19. století ve Spojených státech amerických.

Jedni z prvních, kdo led „sbírali“ a ukládali do dřevěných boxů, byli Číňané, ale ani v Evropě nezůstali pozadu. Řekové nebo Římané umísťovali velké množství ledu do skladovacích boxů, které byly umístěny většinou v zemi a izolovány dřevem a slámou. K většímu rozmachu těchto „lednic“ došlo na konci středověku. Spotřeba přírodního ledu stoupala, a tak se na přelomu 18. a 19. století začal led dovážet. Dovážel se do Indie, Jižní Afriky a Jižní Ameriky a to ze Severní Evropy a Severní Ameriky.

Další etapou v historii chlazení bylo přidání chemikálií jako je dusičnan draselný nebo dusičnan sodný, které při styku s vodou způsobí, že její teplota klesá. To dalo pomalu vzniknout výrobě umělého chladu za pomoci strojního chladicího zařízení. První patent podal v roce 1834 angloamerický fyzik, vynálezce a strojní inženýr Jacob Perkins, jenž vytvořil zařízení, které pracovalo na principu etylénu s ručním pohonem. Později byl nahrazen ruční pohon parním strojem. První, kdo s tímto nápadem přišel, byl americký vynálezce Oliver Evans, jenž myšlenku představil již v roce 1805, ale nikdy ji neuskutečnil.

Historický vývoj distribuce mražených výrobků:



1876 Vynálezce Carl von Linde přihlásil vynález chladicího stroje s amoniakovou náplní.
1911 Dán A.J.A. Ottesen přihlásil první průmyslově využitelnou metodu zmrazování potravin.

1915 V Evropě začíná produkce a distribuce hluboce zmrazených ryb.

1925 Přírodovědec Dr. Walter Schlienz založil první německý spolek pro distribuci zmrazených potravin.

6.3.1930 - Ve Springfieldu ve státě Massachusetts mohli soukromí spotřebitelé nakupovat mražené potraviny - první distribuce mražených potravin na světě.

1937 V Německu se rozbíhá produkce zmrazeného ovoce a zeleniny.

1941 V Německu začíná sériová výroba mrazniček pro maloobchodní sféru.

1955 Mražené potraviny byly poprvé v Německu vystaveny na mezinárodním potravinářském veletrhu ANUGA v Kolíně nad Rýnem.

1956 německé mražené potraviny se distribuují v rámci členů "Pracovní skupiny pro mražené výrobky", v rámci něhož se vytvořil Institut pro mražené potraviny (Deutsches Tiefkühlinstitut e.V.).

1970 spotřeba na hlavu mražených potravin, mimo zmrzlinu, se zvýšila na deset kilo. V roce 1960 bylo jen 830 gramů.

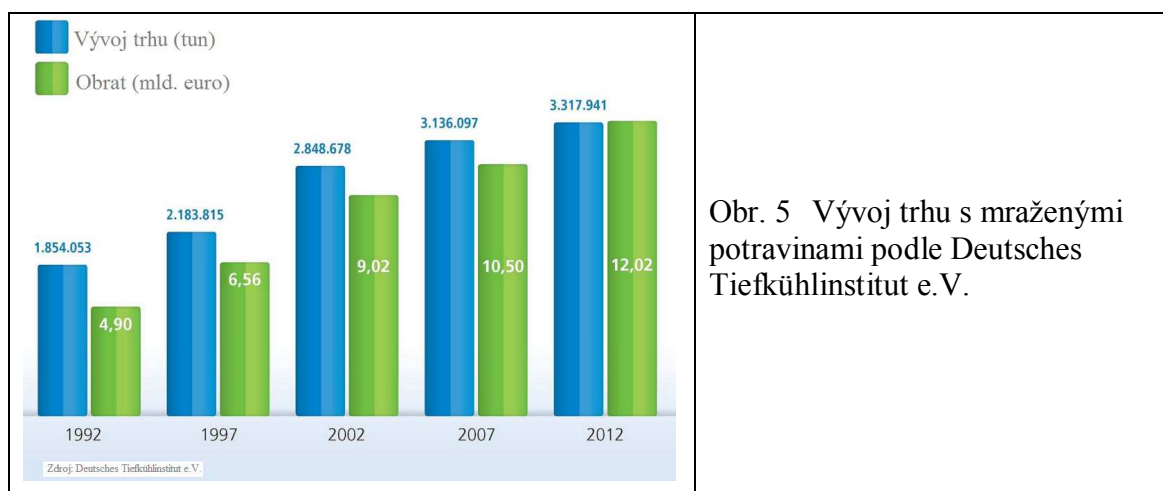
1976 v německých domácnostech se nakoupilo poprvé za více než 500 milionů eur mražených potravin. V sektoru velkých spotřebitelů dosáhl obrat 364 milionů eur.

1989 Celkový prodej mražených výrobků převýšil v Německu poprvé objem jednoho milionu tun.

1994 Poprvé se konal veletrh INTERCOOL v Düsseldorfu a etabloval se jako mezinárodní veletrh pro mražené potraviny, zmrzlinu a chladírenskou techniku.

1995 V Dánsku vzrostla spotřeba mražených potravin na jednoho obyvatele na 40 kg.

2009 Sortiment mražených výrobků je jedním z nejrychleji se rozvíjejících trhů německého potravinářského průmyslu.



Obr. 5 Vývoj trhu s mraženými potravinami podle Deutsches Tiefkühlinstitut e.V.

2.2 Rozvoj chladicí techniky

Přestože teoretické základy chladicí techniky byly položeny již v pozdním středověku, první patenty na „chladicí stroje“ byly přihlášeny v polovině 19. století (Perlina, Carré). Klíčové pro dnešní stav techniky byly praktické aplikace, které se datují do závěru 19. století. V té době se německé pivovary tradičně předzásobovaly přírodním ledem jak pro technologii vaření, tak i pro distribuci tohoto nápoje. Přírodní led byl skladován v ohromných podzemních a později i nadzemních skladech. V druhé polovině 19. století nejen vzrostla výroba piva v Německu ze 14 na 70 mil. hl, ale navíc po letech velmi mírných zim 1883/1884 vznikl enormní nedostatek přírodního ledu.

A to byla chvíle pro nástup chladicích strojů, vyvinutých po mnoha letech pokusů pro praktické použití. Nejvýznamnějším evropským výrobcem se stala firma Linde, založená známým profesorem fyziky na mnichovské univerzitě Carlem von Linde v roce 1879. Čpavkovými kompresorovými zařízeními na výrobu ledu byl položen základní kámen k rozvoji široce využitelné chladicí techniky.

Za zmínku stojí, že úspěšnému nástupu kompresorových chladicích zařízení předcházela vývoj i výroba absorpčních systémů, které využívají namísto stlačených par chladiva kompresorem chemické vlastnosti vhodných látek. Jedná se tak o kombinaci chemicko-fyzikálních procesů, kde rozdíl tlaků nutný pro opakující se proces vzniká vypuzováním a následnou absorpcí jedné látky do druhé.

Významným impulzem pro rozvoj kompresorového chlazení bylo využití v oblasti klimatizace, zejména pak v USA ve 20.–30. letech minulého století. Vedle stávajících chladiv (NH_3 , CH_3Cl , NO_2 , SO_2) (CH_3Cl – chlormethan je organická sloučenina, používal se jako chladivo známé pod označením R-40. Je to bezbarvý, velmi hořlavý plyn s mírně nasládlou vůní, která je však cítit až při úrovních, které již mohou být toxické) objevily halogenové uhlovodíky s obchodním označením „freony“, odstartoval moderní věk chladicí techniky.

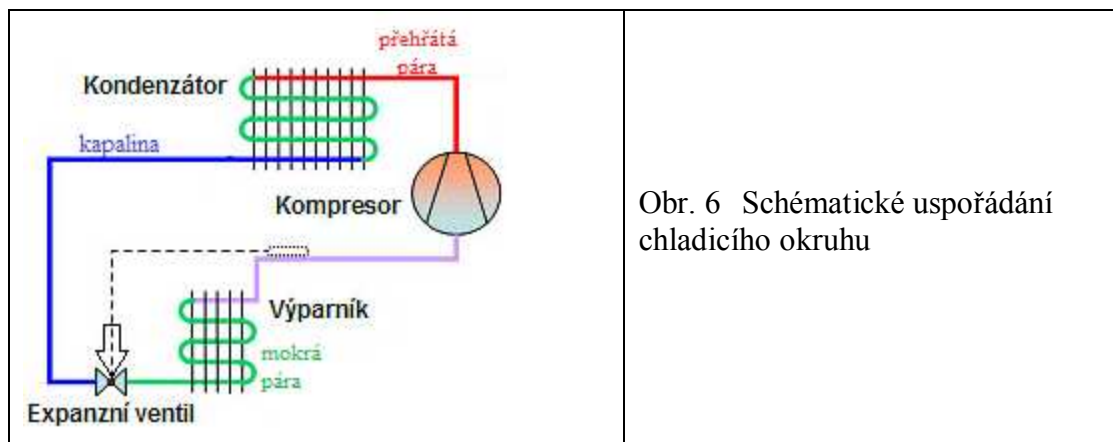
2.3 Princip strojního chlazení

V chladírenské technice však nastává v chlazeném prostoru teplota vždy nižší, než je okolní teplota, aby teplo, odváděné při nízké okolní teplotě, mohlo být předáno jiné látce, musí se k tomu vynaložit určitá práce. Zařízení tvoří chladicí okruh.

Chladicí okruh

Chladicí zařízení založena na principu změny skupenství chladiva se skládají ze 4 základních a naprosto zásadních komponentů:

1. kompresor,
2. kondenzátor,
3. expanzní součást,
4. výparník.



Zařízení funguje tak, že kompresor nasává (sací potrubí) odpařené (plynné) chladivo z výparníku a stlačuje ho na kondenzační tlak chladivo putuje do kondenzátoru, kde se schladí a zkapalní (výtlačné potrubí) zkapalněné chladivo (potrubí kapaliny) se následně dostává přes expanzní součást, která udržuje tlakový rozdíl mezi kondenzační a odpařovací stranou okruhu a je nastříkovááno do výparníku ve výparníku dochází ke změně skupenství chladiva → odpařuje se k odpaření je zapotřebí teplo a toto teplo je odebíráno z chlazené látky tento cyklus se opakuje do té doby, než je chlazená látka ochlazená na požadovanou teplotu. K popisu chladicího cyklu slouží diagram $i - \log p$, který je nezbytný použít pro návrh chladicího okruhu.

Každé chladivo má svůj jedinečný stavový diagram.



Obr. 7 Schéma jednoduchého mrazicího okruhu

- 1-ventilátor,
- 2-kompresor,
- 3-výměník tepla vnitřní jednotky,
- 4-ventilátor,
- 5-kondenzátor,
- 6-expanzní ventil,
- 7- výměník tepla venkovní jednotky.

2.4 Chladiva

Chladivo tvoří látka, která spolu s příslušným strojním zařízením převádí teplo z jednoho prostředí do druhého. V jednom prostředí je teplota nižší, než je teplota okolí. Obecně se jedná o látku kapalnou, která při normálním tlaku vře obvykle pod teplotou 0 °C. Chemických látek nebo chemických sloučenin, které lze použít jako chladivo, je řada.

Třídění chladiv podle ČSN EN 378-1

Hledisko hořlavosti

- i. skupina 1 chladiva nejsou v plynném stavu hořlavá při jakékoli koncentraci se vzduchem,
- ii. skupina 2 chladiva, jejichž dolní mezní hodnota hořlavosti je rovna nebo větší než 3,5 % objemové koncentrace ve směsi se vzduchem,
- iii. skupina 3 chladiva, jejichž dolní mezní hodnota hořlavosti je menší než 3,5 % objemové koncentrace ve směsi se vzduchem.

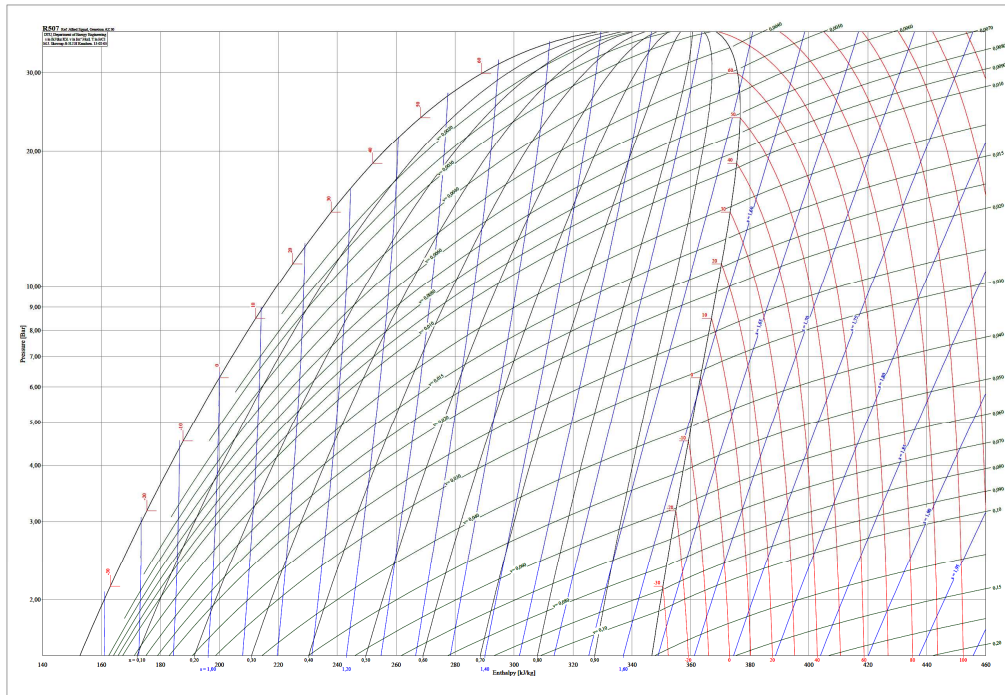
Hledisko toxicity

- i. skupina A
- ii. skupina B

Seznam nejčastěji používaných chladiv od roku 1990:

R 11	CFC	nadouvadlo pro PUR		zakázáno od roku 1994
------	-----	--------------------	--	-----------------------

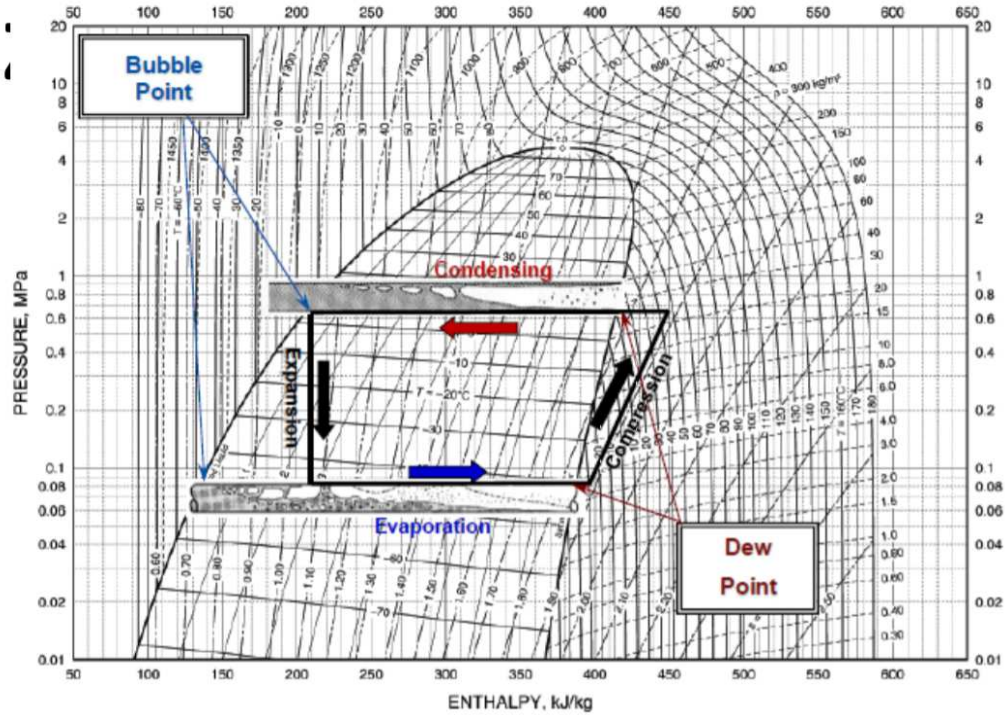
R 12	CFC	chladicí rozsah		zakázáno od roku 1994
R 13B	CFC	nízkoteplotní rozsah (-50 °C a více)		zakázáno od roku 1994
R 502	CFC	mrazírenský rozsah		zakázáno od roku 1994
R 22	HCFC	chladicí a klimatizační rozsah		zakázáno od roku 2010
R 23	HCFC	nízkoteplotní rozsah	náhrada R 13B	užívá se
R 134a	HFC	chladicí rozsah	náhrada R 12	užívá se
R 404A	HFC	mrazírenský rozsah	náhrada R 502	užívá se
R 407C	HFC	chladicí a klimatizační rozsah	náhrada R 22	užívá se
R 410A	HFC	klimatizační rozsah	náhrada R 22	užívá se
R 507	HFC	mrazírenský rozsah	náhrada R 502	užívá se
R 290	propan	průmyslové využití		
R 600a	isobutan		náhrada R 134a	využití v domácích chladničkách
R 717	čpavek	průmyslové využití		
R 744	kysličník uhličitý	využití v supermarketech		
R 1150	etylen	využití v chemickém průmyslu		
R 1270	propylen	využití v chemickém průmyslu		
R 718	voda	v současné době se využívá pouze v absorpčních systémech.		



Obr. 8 Diagram $\log p - h$ chladiva R507 (azeotropní směs)

<http://holod-proekt.com/wp-content/uploads/2013/02/R507-log-p-h-diagram.png>,

(cit 06/2017)

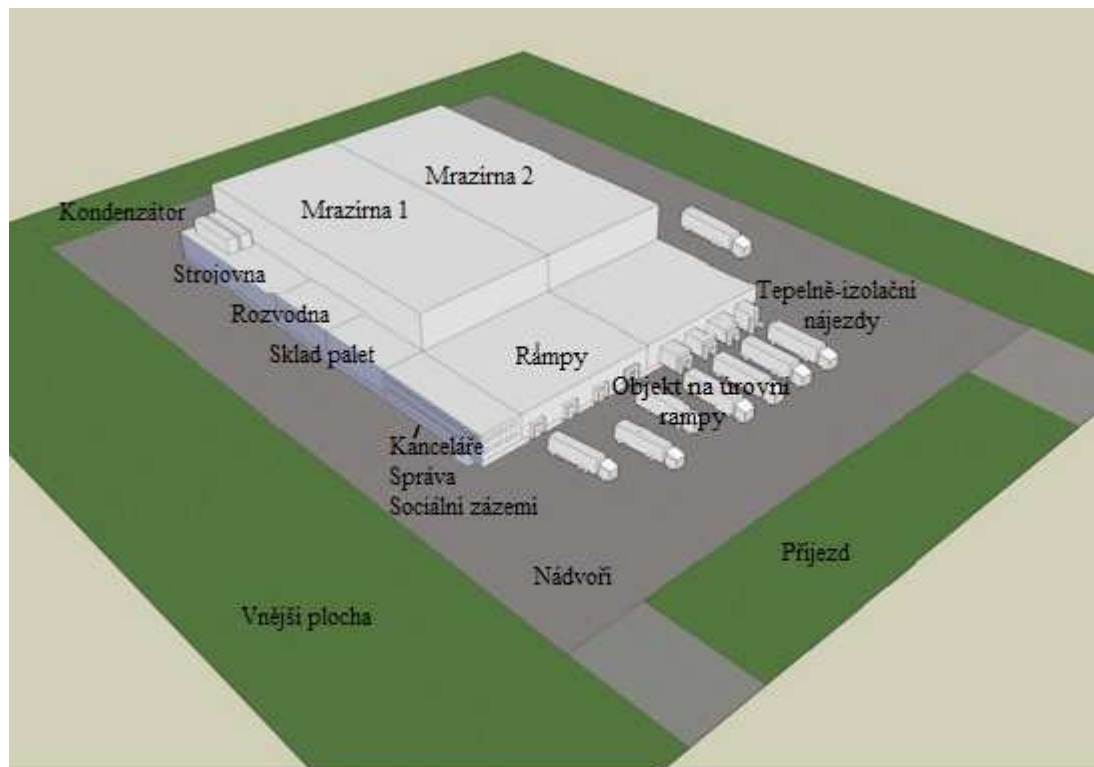


Obr. 9 Pracovní diagram chladiva R407

<https://www.schiessl.cz/soubor-retrofit-r407f-nahrada-za-r404a-r507-6148-.pdf>

Objekty mrazírny

Na obrázku níže je schematicky zobrazena nejobvyklejší půdorysná situace uspořádání mrazírny s technickým zařízením.



Obr. 10 Schématické uspořádání mrazírny

Jednotlivými základními součástmi mrazírny jsou:

- i) Mrazírny pro skladování a další prostory pro komerční účely,
- ii) Manipulační prostor (rampa), chlazený či mražený,
- iii) Nakládací prostory (termoizolační propojení s nákladními vozy),
- iv) Sklad palet (pro vysokozdvizné vozíky),
- v) Tzv. suchý sklad (sklad pro balení atp.),
- vi) Prostor pro odpady (sklad pro folie a kontejner pro lisované kartony),
- vii) Nabíjecí stanice pro vysokozdvizné vozíky,
- viii) Kancelářský trakt (expedice, správa, sociální prostory),
- ix) Sociální zařízení pro zaměstnance (odpočívárna, šatny, sanitární prostory),
- x) Strojovna (většinou prostorově oddělená), dozorna,
- xi) Kompresorovna včetně inteligentního řízení,
- xii) Elektrorozvodna (napájení, trafostanice),

xiii) Vnější plochy (dvůr, zeleň).

V těchto provozech se provádí činnosti:

- i) Ukládání a skladování zboží podle druhu,
- ii) Zmrazování zboží, dodatečné mražení nedostatečně ochlazeného zboží,
- iii) Vedení evidence zásob a sledování šarží zákazníků,
- iv) Třídící a balící činnosti, etiketování zboží,
- v) Celní sklad,
- vi) Celní odbavení,
- vii) Dodatečně: kompletní národní a mezinárodní spediční a přepravní činnosti,
- viii) Realizace pravidel pohybu mraženého zboží (HACCP)*,
- ix) Odbavení kontejnerů,
- x) Výkonný informační a komunikační systém,
- xi) Časově závislý informační tok,
- xii) Plošně působící sběrná síť v širším národním rozdělení.

*HACCP = *Koncept Hazard Analysis and Critical Control Points.*

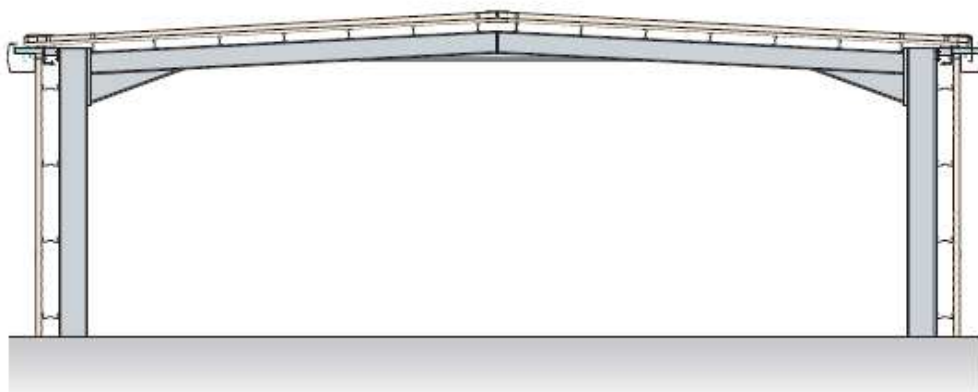
2.5 Konstrukce chladírenských a mrazírenských objektů

Obvykle se jedná o objekty montované na bázi lehkých halových konstrukcí buď železobetonových nebo ocelových.


2.5.1 Chladírny

Aplikace pro provozy zpracování potravin a hygienické aplikace


Rozsah provozních teplot od 0 °C do +12 °C




Střešní a stěnové systémy

Profil	Aplikace
	Sklon střechy $\geq 4^\circ$

Střešní systémy

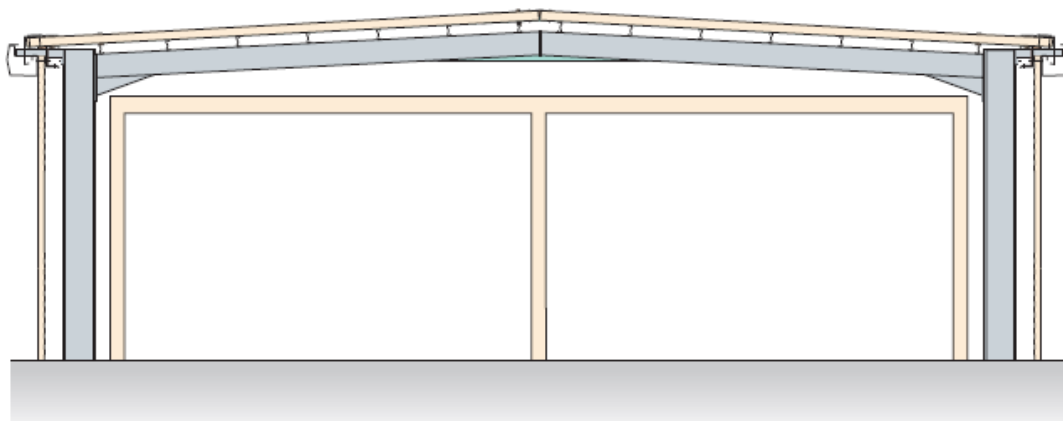
Profil	Aplikace
	Sklon střechy $\geq 0,5^\circ$

Střešní a podhledové systémy


Profil	Aplikace
	Vertikální a horizontální

2.5.2 Mrazírny

Aplikace pro rozsah provozních teplot od 0 °C do -40 °C

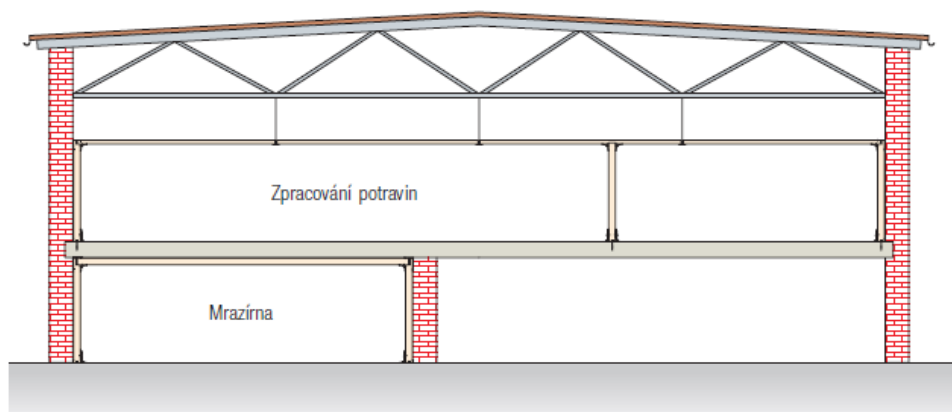


Střešní a podhledové systémy

Profil	Aplikace
	Vertikální a horizontální

2.5.3 Renovace stávajících objektů

Rozsah provozních teplot od 0 °C do +12 °C a od 0 °C do -40 °C



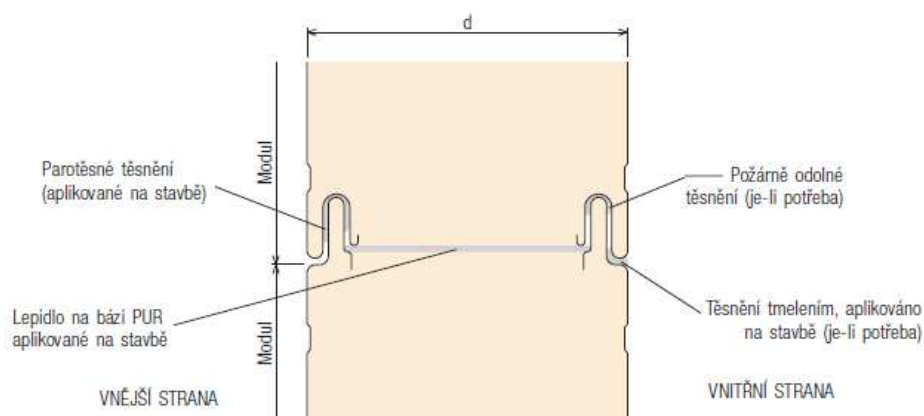
Stěny a stropy

Profil	Aplikace
	Vertikální a horizontální
	Vertikální a horizontální

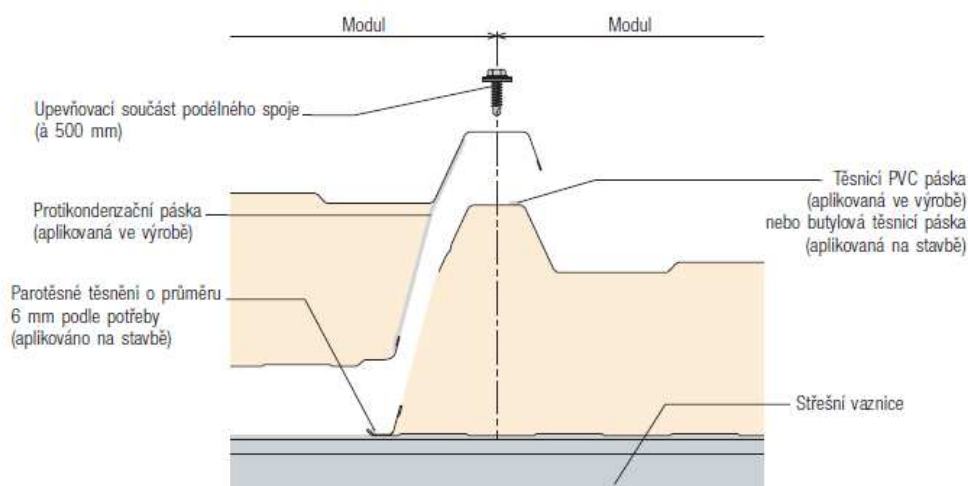


2.5.4 Konstrukční uspořádání detailů opláštění

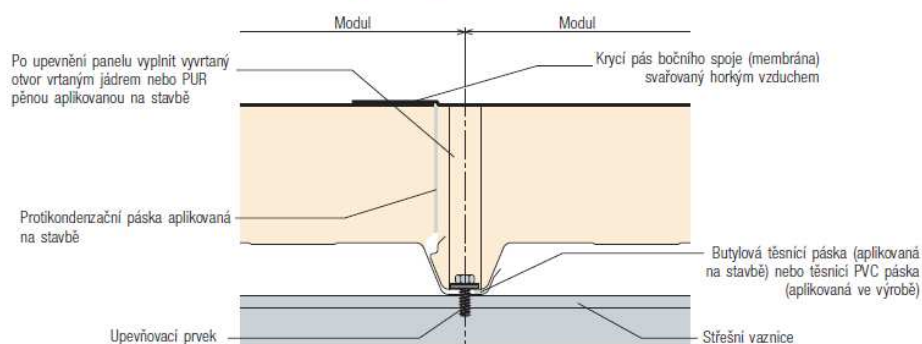
Podélný spoj stěnové a podhledové panely



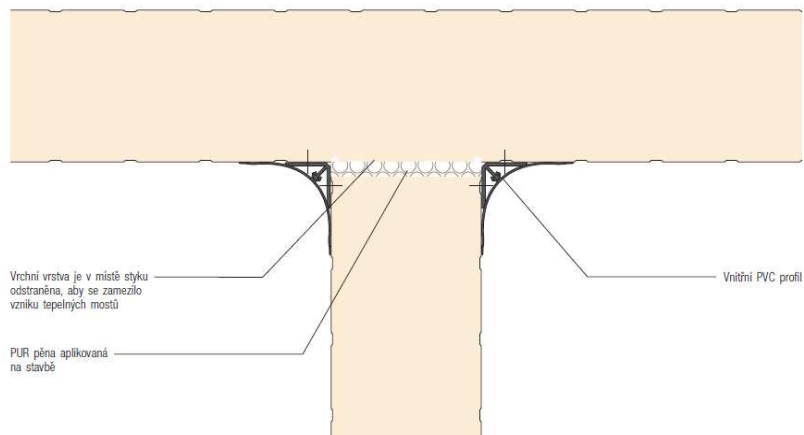
Podélný spoj – střešní a stěnové panely



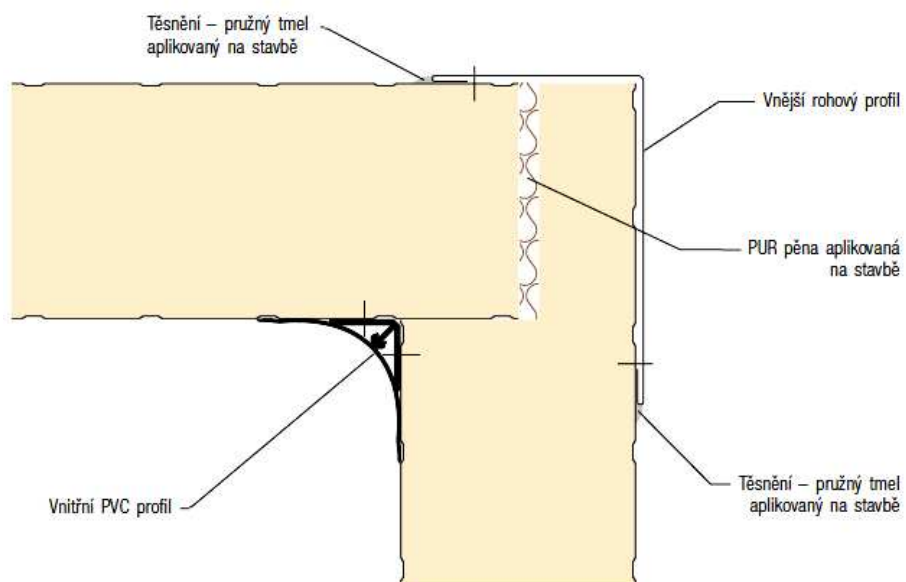
Podélný spoj – střešní panel



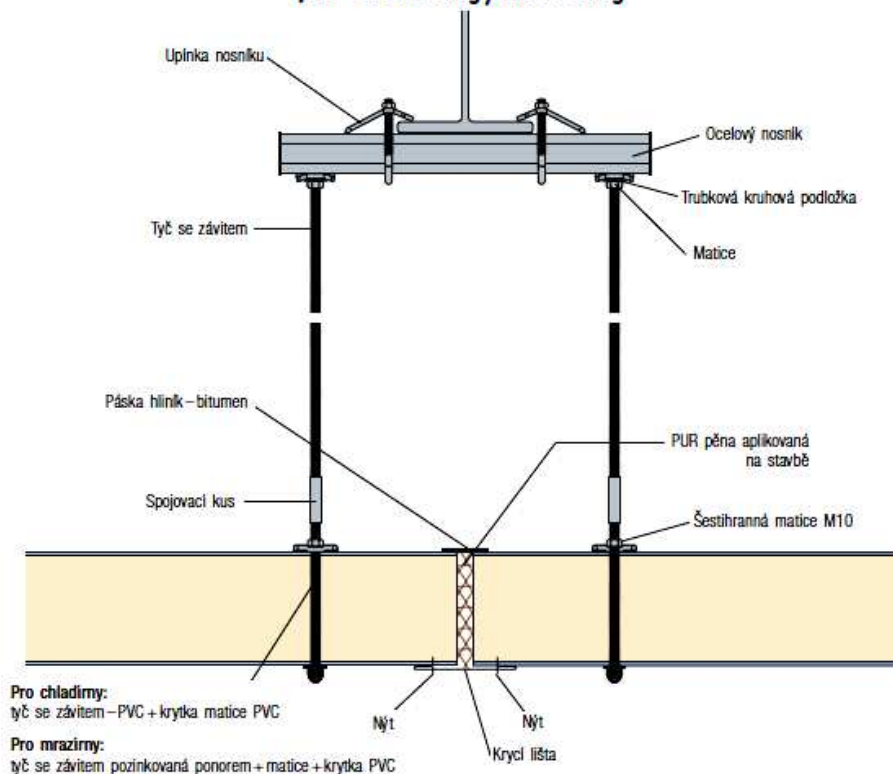
Spoj pohledu se stěnou – chladírny



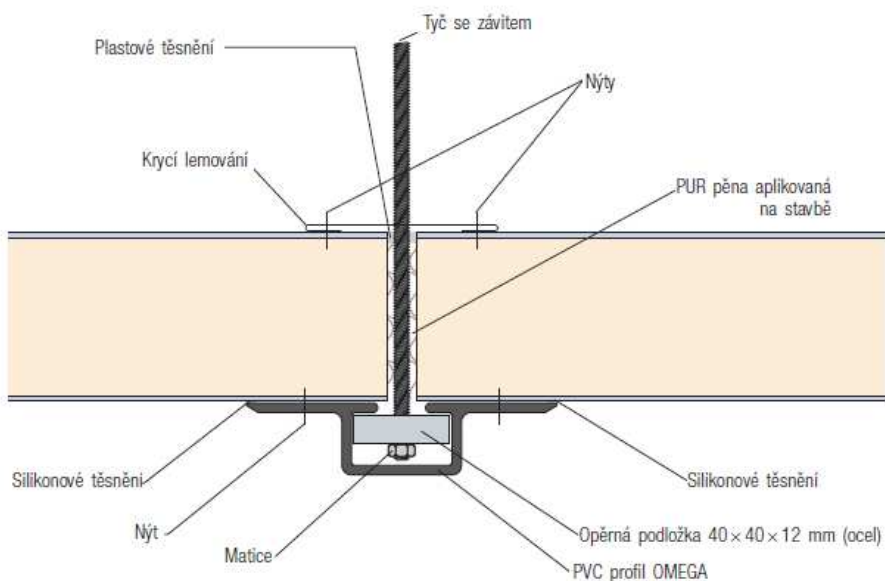
Spoj pohledu se stěnou s lemováním mrazírny

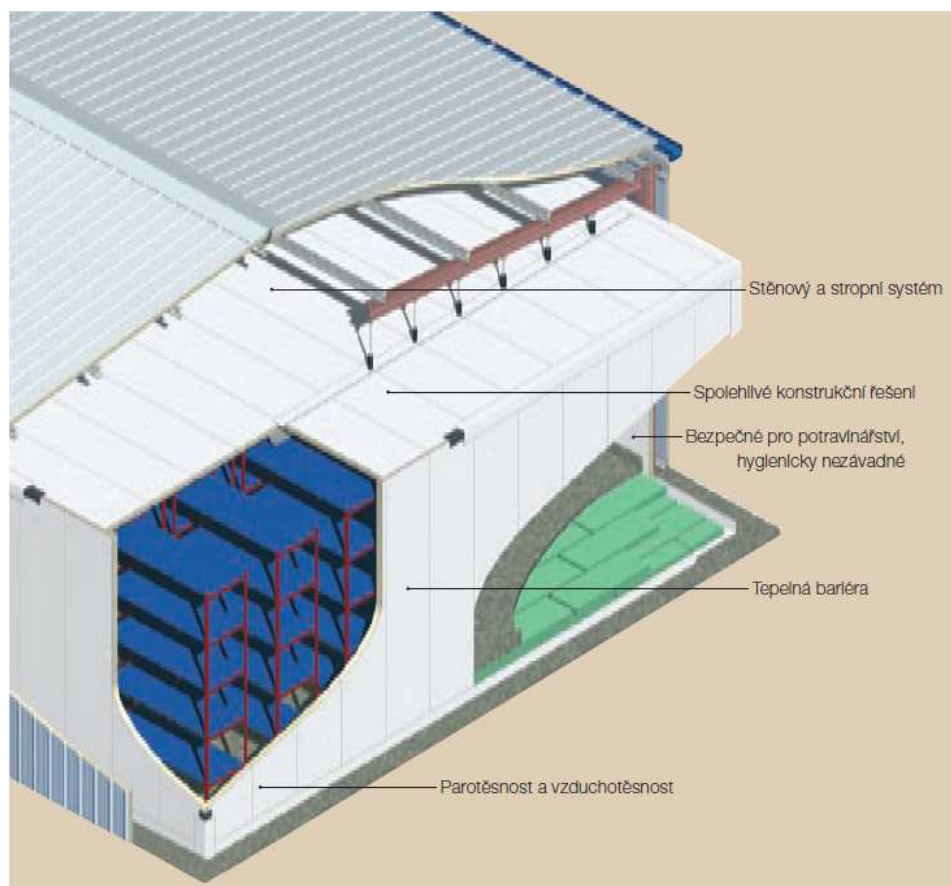


Tupý spoj podhledu s dvojitým zavěšením pro chladírny/mrazírny



Tupý spoj podhledu s PVC profilem OMEGA pro mrazírny





2.5.5 Tepelněizolační panely, materiál jádra panelu

Polyuretan byl objeven před 2. světovou válkou, centrem výzkumu byl Leverkusen v Německu u firmy BAYER. V roce 1937 profesor Otto Bayer (1902–1982) a jeho tým zjistili, že reakce alifatických diisokyanátů a alifatických dipolyolů vede ke vzniku lineárních polymerů s vysokou molekulovou hmotností. Tyto polymery, pojmenované poté polyuretany, které měly velmi zajímavé vlastnosti pro výrobu umělých hmot a vláken, byly uvedeny na trh v Německu pod obchodními názvy Igamid a Perlon v roce 1942.

Dalšími významnými osobnostmi, podílejícími se na procesu tvorby polyuretanu, byli američtí vědci Dr. William Butch Hanford a Dr. Donald Fletcher Holmes. V roce 1942 objevili skutečnost, že diisokyanáty a stávající polyoly se dají sloučit velmi rychle, na rozdíl od původní zdlouhavé a finančně nákladné německé metody. Tento objev umožnil nastartovat výrobu polyuretanů ve větším měřítku a za nižší cenu.

Zpracovávané polyuretanové systémy můžeme z hlediska jejich uplatnění rozdělit na následující typy konečných výrobků – tvrdé pěny, integrální pěny, měkké pěny,

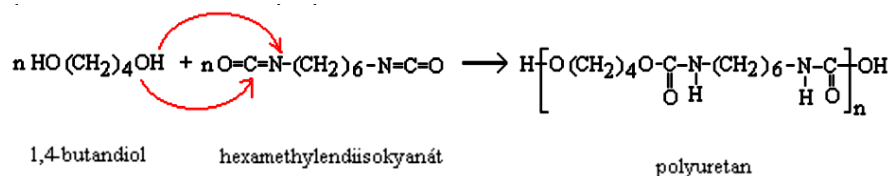
elastomery, barvy, těsnění a lepidla, jednosložkové a dvousložkové pěny v tlakových nádobách.

V průmyslu a stavební výrobě se uplatňují díky svým výborným izolačním a fyzikálně technickým vlastnostem různé typy PUR pěn. Z těchto pěn je to především tvrdá PUR pěna s uzavřenou strukturou buněk, která je zpracovávána do konečného výrobku následujícími technologickými postupy (aplikacemi) litím, nástřikem a nástřikem „na místě“ (in situ).

Chemická podstata PUR pěny

Výchozími surovinami pro plasty obecně jsou např. zemní plyn, uhlí, ale především základní a nejvýznamnější surovina - ropa. Plasty jsou organické sloučeniny, které obsahují především uhlík, dusík, síru a chlor. Jsou lehké a převážně dostatečně odolné povětrnostním vlivům. Výroba plastických hmot probíhá pomocí chemické reakce, který se obecně nazývá syntéza. Existují tři základní typy syntézy, polykondenzace - např. PA (polyamid), polymerizace – např. PE (polyetylen), PVC (polyvinylchlorid), PS (polystyren), polyadice – např. PUR (polyuretan).

Základem syntézy polyuretanových pěn je reakce izokyanátů (látky obsahující chemicky reaktivní skupiny – NCO), polyolů (polyalkoholů), aminů a vody (látky obsahující hydroxylové skupiny a aminové skupiny -OH, -NH₂). Volbou vhodné kombinace látek vstupujících do reakce lze získat polyuretany s různými vlastnostmi (od velmi „pružných“ elastických pěn až po „silně zesíťované“ tvrdé pěny.



Reakce, při níž polyuretan vzniká, je exotermní a rychlost průběhu reakce závisí na druhu použitého polyolu, popř. aminu a izokyanátu, na jejich koncentraci v reakční směsi, na teplotních podmínkách a na přítomnosti dalších látek ovlivňujících průběh reakce (např. katalyzátory).

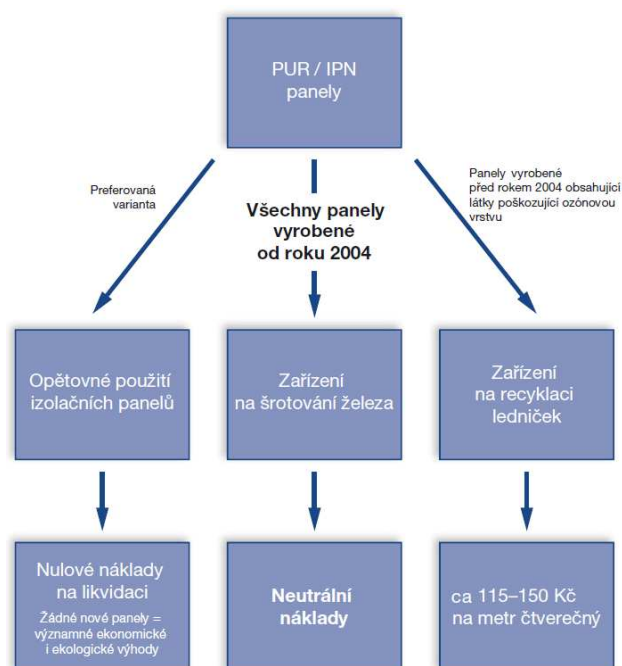
Průběh reakcí při vzniku PUR pěny

Proces „vypěňování“ začíná vývinem nadouvacího plynu. Tímto plynem může být buď CO₂ (uvolněný chemickou reakcí izokyanátu s vodou) nebo inertní látka freon R-XX, který se při vzrůstu teploty nad jeho bod varu mění na plyn, aniž by předtím chemicky

reagoval. Předpokladem pro začátek napěňování je přesycenost reakční směsi plynem. V dalším průběhu reakce se objem bublin, které nabývají přibližně kulovitého tvaru, zvětšuje až do objemové hmotnosti pěny cca 250 kg/m³. V této fázi se začínají bubliny dotýkat a deformovat, zvláště ve směru růstu, až při zatuhnutí vytvoří stabilní systém polyedrických buněk, jejichž stěny tvoří tenké membrány.

Současná výroba

Izolační panely vyráběné od roku 2004 jsou klasifikovány jako neobsahující CFC ani HCFC, tj. tvrdé ani měkké freony, které poškozují ozónovou vrstvu. Panely vyrobené před rokem 2004 rizikové látky obsahují a současná legislativa upravující jejich recyklaci podle normy EC 2037/2000 požaduje recyklaci. Vzhledem k dlouhodobě spolehlivým tepelně izolačním i strukturálním vlastnostem izolačních panelů je v současné době k likvidaci určeno jen velmi malé množství panelů obsahujících látky poškozující ozónovou vrstvu, v průběhu následující dekády se však toto číslo změní a bude třeba spolehlivé řešení pro nakládání s těmito panely na konci životnosti.



Cena továrního sešrotování panelů je nízká, jelikož náklady na dopravu z místa stavby jsou vyrovnány cenou za získaný ocelový materiál. Ekonomičnost je vždy nutno posuzovat podle vzdálenosti konkrétní budovy a aktuální výkupní ceny oceli.

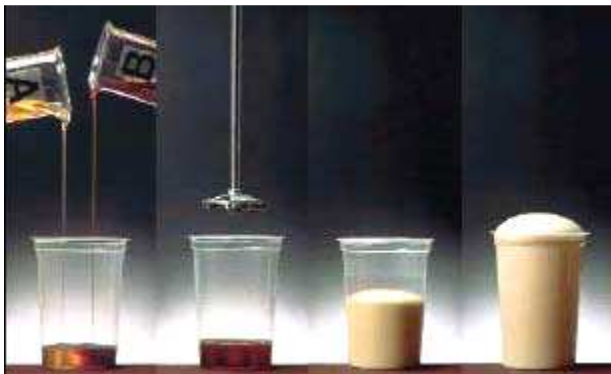
Poznámka : Pod zkratkou CFC chlorofluorokarbony jsou halogenderiváty uhlovodíků, známé jako freony, v nichž alespoň jeden atom je radikál fluor, uhlík a chlor. Jsou netoxické, nezápalné a nekarcinogenní. Nejdůležitější CFC jsou CFC-11 (trichlorofluoromethan - CFCl₃), CFC-12 (dichloro-difluoromethan -

CF_2Cl_2), CFC-113 (trichloro-trifluoroethan - $C_2F_3Cl_3$), CFC-114 (dichloro-tetrafluoroethan - $C_2F_4Cl_2$) a CFC-115 (chloropentafluoroethan - C_2F_5Cl). Hydrochlorofluorohydrogeny (HCFC), další název „měkké freony“. Mezi hlavní používané HCFC patří: HCFC-22; chlorodifluormethan; R-22, HCFC-123; 2,2-dichlor-1,1,1-trifluoroethan; R-123, HCFC-124; 1-chlor-1,2,2,2-tetrafluoroethan; HCFC-141b; 1,1-dichlor-1-fluoroethan, HCFC-142b; 1-chlor-1,1-difluoroethan.

3 Výroba tepelněizolačních materiálů z tuhé polyuretanové pěny

Tuhé polyuretanové pěny jsou vyráběny chemickou reakcí mezi dvěma základními komponentami v tekuté fázi s využitím nadouvadla s nízkým bodem varu, jako je pentan nebo CO_2 . Základní materiály reagují přímo za míchání a přitom se vytváří polymerní matrice polyuretanu. Teplo uvolněné při této reakci způsobuje vypařování nadouvadla z pěny polymerní matrice.

Objem pěny a tím i hustota pěny jsou řízeny množstvím přidávaného nadouvadla. Nastavení vlastností pěnového materiálu lze upravovat pomocí různých přísad tak, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností [8].



Obr. 13: Vyobrazení čtyř fází expanze tuhé polyuretanové pěny v reakční kádince podle [8]

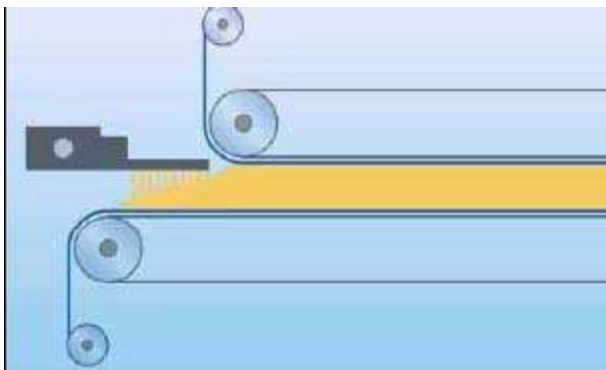
Povrch reakční směsi udržuje přilnavost po určitou dobu v procesu pění, čehož může být využito při lepení obkladů, které mají být pevně a trvale připojeny k podkladu. Při průmyslové výrobě lze proces pění korigovat pomocí katalyzátorů, které umožňují efektivní řízení času výrobního cyklu.

Z tuhé polyuretanové pěny jsou továrně materiály vyráběny jako:

- izolační desky s obklady,
- bloky pěny, které jsou určeny pro formátování izolačních desek,
- části sendvičových panelů s tuhými deskami.

3.1 Výroba desek z tuhé polyuretanové pěny s pružným kašírováním

Z tuhé polyuretanové pěny se izolační desky s pružným kašírováním vyrábí v nepřetržitém procesu na kontinuálním laminátoru. V tomto výrobním procesu se reakční směs nalije do směšovací hlavy ke spodnímu povrchu z pružného materiálu. Směs v tlakové zóně expanduje k hornímu povrchu. Produkt je po průchodu laminátorem dostatečně odolný, aby mohl být zkrácen na požadované rozměry. Desky mohou být vyrobeny v různých tloušťkách do 200 mm.



Obr.14: Kontinuální výroba desek z tuhé polyuretanové pěny s pružným kašírováním



Obr.15: Vzhled izolačních desek vyrobených z tuhé polyuretanové pěny s kašírováním hliníkovou fólií a jiným opláštěváním

Flexibilní obklady jsou obvykle vyráběny z materiálů:

- minerální vlna,
- skleněné rouno,
- hliníková fólie,
- kompozitní film.

Různé obklady jsou voleny tak, aby vyhovovaly zamýšlenému použití izolačních desek. Opláštěvání mohou sloužit jako parotěsná vrstva, vlhkostní bariéra, optický vzhled nebo ochrana proti mechanickému poškození. Izolační desky jsou nabízeny s různými profily

hranou, např. perem a drážkou, odstupňovaným profilem apod. Desky z tuhé polyuretanové pěny s pružným obklady jsou vyráběny ve spojení s pevným opláštěním jako kompozitní tepelně izolační desky. Používají se dřevotřískové desky nebo minerální materiály pro stěny, jako je sádrokarton lepený na izolační desky.

3.2 Evropská harmonizace izolačních materiálů

Cílem evropských předpisů v oblasti stavebnictví je vytvořit společný jednotný trh a zajistit volný pohyb zboží za účelem zvýšení konkurenceschopnosti v rámci evropského prostoru. Harmonizace technických předpisů pro stavební výrobky vede k odstranění překážek obchodu, které jsou základními prvky společného vnitřního trhu.

3.3 Předpisy v evropské směrnici o stavebních výrobcích

Evropská směrnice o stavebních výrobcích obsahuje opatření pro harmonizaci ve stavebnictví nadřazená národním technickým požadavkům. Směrnice stanoví podmínky, za nichž mohou být stavební výrobky zaváděny na trh. Výrobky musí prokázat určené technické vlastnosti tak, aby stavby, ve kterých mají být výrobky nainstalovány, splňovaly předepsané požadavky za předpokladu, že stavební práce byly řádně projektovány a provedeny. Výrobky se posuzují podle hledisek:

Mechanická odolnost a stabilita

Bezpečnost při požáru

Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí

Bezpečnost při užívání

Ochrana proti hluku

Úspory energií a tepelná ochrana budov.

Požadavky na stavební výrobky a jejich vlastnosti jsou popsány v harmonizovaných evropských normách (EN) a evropských technických schválení (ETA). Evropský výbor pro normalizaci (CEN) vypracoval harmonizované standardy jménem Evropské komise na základě směrnice o stavebních výrobcích (CPD). Shodu stavebního výrobku s harmonizovanou evropskou normou nebo Evropské technické schválení se potvrzuje označení CE. Na základě toho mohou být označené výrobky bez dalšího zkoušení či prokazování technických vlastností zabudovány do stavby.

Faktory ovlivňující životnost

Většina stavebních materiálů je vystavena řadě proměnlivých klimatických podmínek, které na ně budou dlouhodobě působit. Životnost objektu lze ovlivnit výběrem vhodných materiálů a konstrukčním řešením. Objekty opatřené opláštěním izolačními sendvičovými panely vyžadují minimální údržbu i v relativně náročných průmyslových prostředích. Nejvýznamnějšími degradačními projevy z vnějšího prostředí projevují vlhkost a zvýšená teplota.

Vlhkost

Pro snížení vlivu znehodnocení materiálů by mělo být zatížení vysokou vlhkostí na povrchu materiálu i uvnitř konstrukce omezeno. Ocelové prvky v izolačních sendvičových systémech jsou obvykle opatřeny zinkovými povlaky nebo povlaky zinkových slitin a vlastní ocelové krycí plechy mají potřebnou povrchovou úpravu nátěrovými systémy, nejen z estetických důvodů, ale zejména jako další ochranu před působením vlhkosti.

Teplota

Životnost nátěrů je ovlivněna teplotou, a proto je důležitým kritériem při navrhování a hodnocení životnosti celého objektu. Povrchová teplota vnějších povrchů je závislá na barevném odstínu nátěru. Ve střední Evropě může ve slunečných letních dnech dosáhnout teplota povrchů s tmavým barevným odstínem až 80 °C, zatímco za stejného zatížení je teplota povrchů se světlými barevnými odstíny pouze 55 °C. Životnost povrchů s tmavými odstíny je tedy nižší.

Upevňovací prvky, těsnění a izolační materiály

Sendvičové izolační panely s jádrem z tuhé polyuretanové pěny vyhovují současným hygienickým předpisům pro potravinářský průmysl. Tuhá polyuretanová pěna tvoří netoxickou homogenní izolaci s uzavřenými póry. Tato izolace vylučuje napadení hmyzem a porůstání plísní, což by způsobilo zdravotní riziko, zejména v potravinářském průmyslu. V sendvičových panelech se nevytváří tepelné mosty při návrhu sendvičového panelu dostatečné tloušťky a správném zabudování těsnicí pásky v nich nedochází k vnitřní ani povrchové kondenzaci vodních par. Panely mohou být dodávány s povrchovou úpravou vnitřního krycího plechu, která vylučuje ohrožení jakosti potravin. Tato povrchová úprava vyhovuje požadavkům pro použití v potravinářském průmyslu z

hlediska hygienické nezávadnosti, také je ve shodě s hygienickým nařízením Evropské unie pro potravinářský průmysl.

Všechny podélné spoje panelů a interiérové detaily musí být utěsněny podle požadavků hygienických norem. Pevnost a tuhost samotné konstrukce sendvičových panelů umožňuje spolehlivou montáž a zajišťuje, že těsnění v podélných spojích panelů nebude dilatací při změnách teploty porušeno. Povrchová úprava vnitřního povrchu panelů musí splňovat požadavek na snadnou omyvatelnost a nesmí být náchylný k množení bakterií a růstů plísní. Normy pro zpracování potravin jsou definovány ve směrnici EU o hygieně potravin 10883/92, která požaduje, aby vnitřní povrchy byly hladké, nezadržovaly nečistoty, nepropouštěly vlhkost, měly světlý odstín, snadnou čistitelnost a byly omyvatelné.

Životnost všech upevňovacích prvků, těsnění a izolačních materiálů uvedených ve specifikacích objektů je rovněž respektována.

3.4 Skladovací technika

Následující snímky schematicky zobrazují uspořádání regálů uvnitř mrazírny.

Obvyklým standardním typem pro skladování jsou stacionární regály (back-to-back-Regal).



Obr. Vyobrazení nejobvyklejšího typu stacionárního regálového systému

Mezi dvojitými regály se vytváří přibližně 3 m široká chodba pro poježdění dopravní techniky. Volný prostor vytváří manipulační prostor pro otáčení dopravní techniky při

naskladňování a vyskladňování. Tím je zajištěn přístup ke každé jednotlivé skladované paletě. Nevýhodou je mnoho volného prostoru, který neslouží k uskladnění.

Tuto nevýhodu odstraňuje uspořádání tzv. chodeb s úzkými regály. Meziprostory, resp. chodby jsou velice úzké, proto se používají speciální vozíky. Ty jsou drahé a technicky náročné.

Prostorově velmi ekonomickou variantou je tzv. průjezdný regál (Durchfahrregal).



Obr. Vyobrazení tzv. průjezdného regálového systému

U tohoto způsobu se palety skladují nad sebou (viz výše), což přináší úsporu místa. Ovšem musí být umožněno vytáhnout zadní palety, pokud jsou v regálu uskladněny přední palety. Proto je tento typ regálu vhodný jen pro větší objemy šarží stejného produktu.

Zasouvací regál (push-back) vykazuje mírný sklon. Tím zajíždí palety pouze dopředu k otevřené straně, kam má přístup vozík. Odebírají se nejprve vložené palety, ty zajíždějí směrem dozadu. Tam se nachází paletová zarážka, aby palety nevypadávaly z regálu.

Spádové paletové regály Pallet Flow jsou určeny pro provozy s vysokou obrátkovostí zboží a nutností rychlého přístupu ke zboží, přitom zabírají až o 60 % méně místa než konvenční paletové regálové systémy. Regálový systém Pallet Flow se primárně využívá na skladování velkého množství paletizovaného zboží stejného typu, a to na základě principu „první dovnitř – první ven“. Na nakládací straně se palety umístí do ukládacích drah a automaticky se gravitací posouvají dopředu na nakloněných válečkových dopravnících. Rychlost pohybu palety reguluje série brzdících válečků a po dosažení konce dráhy jsou zastaveny pomocí koncového dorazu.



Obr. Vyobrazení systému tzv. spádové paletové regály

Následující obrázek ukazuje pojízdný regál (back-to-back-Regal). Ten stojí na pojízdném základě, který se pohybuje po podlaze na kolejničkách. Regál se tak může posunout do libovolné polohy. Tím se skladovací plocha zvětšuje až na jeden volný manipulační prostor.



Obr. Vyobrazení tzv. posuvného regálového systému

System je sice nákladnější, ale kombinuje rychlé optimální využití místa s vysokou flexibilitou. Tento typ regálu se často používá v archivech, knihovnách a skladištích s archiváliemi a v současnosti je velice rozšířený. Oproti pevným typům regálů se ušetří asi 44 % místa.

4 Šíření tepla v konstrukcích

Šíření tepla (též sdílení tepla) je jedním ze způsobů přenosu energie. Spočívá v tepelné výměně, což je termodynamický děj, při kterém dochází k výměně tepla mezi dvěma tělesy s různou teplotou. Tepelná výměna probíhá tak, že teplejší těleso předává část své vnitřní energie chladnějšímu tělesu podle termodynamických principů. Výměna tepla může probíhat vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) nebo sáláním (radiací).

4.1 Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů

Z tepelně technických vlastností stavebních materiálů jsou pro účely této práce nejdůležitější parametry, které ovlivňují energetickou náročnost objektu výsledné stavby. Tyto jsou popsány v následujících odstavcích.

4.1.1 Součinitel tepelné vodivosti materiálu λ

Za předpokladu homogenního a izotropního tělesa platí pro šíření tepla vedením Fourierův vztah $q = -\lambda \frac{d\theta}{dx}$. Za předpokladu, že platí $\frac{d\theta}{d\tau} = 0$ nastává stacionární stav,

Fourierova rovnice vedení tepla pro jednorozměrné šíření se redukuje do tvaru $\frac{d^2\theta}{dx^2} = 0$.

Pak součinitel tepelné vodivosti λ charakterizuje schopnost materiálu vést teplo a ovlivňuje množství tepla Q , které projde plochou materiálu S za jednotku času při tloušťce materiálové vrstvy d za teplotního spádu $\Delta\theta$ v ustáleném teplotním stavu podle

vztahu:
$$Q = S \cdot q \cdot \tau = S \frac{\theta_2 - \theta_1}{d} \tau.$$

Vysoké hodnoty tepelné vodivosti λ jsou charakteristické pro konstrukční materiály, zejména kovy, beton aj., pro snížení energetické náročnosti objektů jsou důležité materiály s nízkou hodnotou λ , tedy tepelné izolanty. Součinitel tepelné vodivosti je základní materiálovou veličinou. Je závislý zejména na objemové hmotnosti, pórovitosti a vnitřní vlhkosti materiálu atd.

4.2 Tepelný odpor konstrukce, součinitel prostupu tepla

Tepelný odpor konstrukce R je vyjádřen podílem tloušťky d a součinitele tepelné vodivosti λ homogenní materiálové vrstvy. Ve směru toku tepla má aditivní vlastnost a

pro konstrukci složenou z více materiálových vrstev jej lze jednoduše sčítat z dílčích tepelných odporů.

Výsledná hodnota tepelného odporu složené konstrukce pak činí $R = \sum_{j=1}^n R_j = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j}$.

Hodnoty tepelného odporu se uvádí v jednotkách ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) a v praxi se využívají; pro účely energetického posouzení budov se dává přednost používání součinitele prostupu tepla U , který zahrnuje tepelný odpor konstrukce R i přestupové tepelné odpory R_i , R_e u obou povrchů stěnové konstrukce podle vztahu : $U = (R_i + R + R_e)^{-1} = R_T^{-1}$, kde R_i a R_e jsou reciproké hodnoty součinitelů přestupu tepla h na povrchu ne smyslu Newtonovy okrajové podmínky. Tyto součinitele jsou v běžné praxi pro určité druhy konstrukcí konstantní a uvádí se v tabulkových hodnotách. Podle ČSN 14 8102 tab. 2 jsou předepsány hodnoty:

Tab 1: Hodnoty součinitelů přestupu tepla h podle [17]

Konstrukce		Součinitel přestupu tepla h ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
uvnitř objektu	svislá	8,0
	vodorovná (tok od konstrukce)	8,0
	vodorovná (tok ke konstrukci)	6,0
vně objektu	při klidném vzduchu	15,0
	v husté zástavbě	23,0
	v řídké zástavbě, na venkově	30,0

4.3 Vlivy působící na tepelněizolační vlastnost izolačních materiálů

Tepelněizolační schopnost vrstvy tepelného izolantu je určena jeho fyzikálními vlastnostmi, především jeho materiálovou strukturou závislou na měrné a objemové hmotnosti, pórovitosti, obsahu vlhkosti, směru šíření tepelného toku u neizotropních látek, chemickém složení a teplotě. Z hlediska životnosti je důležitá chemická stálost a odolnost proti atmosférickým vlivům. Proto je nutné termoizolační materiály chránit proti účinku vlhkosti.

Přímá závislost součinitele tepelné vodivosti na obsahu vlhkosti je dnes všeobecně známa a v konkrétním případě byla studována u pěnového polyuretanu. U pěnového polyuretanu někteří výrobci uvádí, že obsah pentanu jako plnicího plynu (nadouvadla) vyprchá po jednom roce. Deklarovaná vlastnost materiálu, uvedená např. v certifikátu výrobce, však

je naměřena bezprostředně po ukončení procesu výroby, tedy s nejvyšším obsahem plnicího plynu ve vypěněném plastu. Přes veškerou snahu se nepodařilo u dostupného výrobce pěnového polyuretanu získat detailní informace o vlivu obsahu plnicího plynu na hodnotu součinitele tepelné vodivosti. Tento poznatek platí pro tvrdý pěnový polyuretan užívaný pro konstrukce objektů s nízkou vnitřní teplotou.

4.3.1 Účinnost tepelněizolačních vrstev

Uspořádání tepelněizolační vrstvy v obvodovém plášti představuje rozhodující faktor pro vyjádření účinnosti tepelněizolačního systému. Účinnost tepelněizolační vrstvy může být vyjádřena poměrem skutečné hodnoty tepelného odporu oproti hodnotě deklarované. Skutečná hodnota je ovlivněna konstrukčními detaily spojů, například vlivem zámkového spoje polyuretanových panelů obvodového pláště mrazírny, případnými jinými tepelnými mosty a tepelnými vazbami, uplatní se také vnitřní obsah vlhkosti materiálu izolační vrstvy. V ideální tepelně izolační vrstvě se tepelné mosty nevyskytují a tepelné vazby jsou zcela eliminovány na nezbytné minimum. Přitom je obvykle vrstva tepelné izolace chráněna opláštěnému ocelového plechu, který chrání tepelný izolant před vnějšími atmosférickými projevy.

4.3.2 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích, formulace podmínek pro šíření tepla

Tepelným mostem nazýváme tu část stavební konstrukce, kde je místně snížený tepelný odpor. U obvodových plášťů mrazírenských objektů se nejčastěji jedná o příčiny:

- a) úplným nebo částečným průnikem stavební konstrukce či vrstvy materiálem s odlišnou tepelnou vodivostí (konstrukce je materiálově nestejnorodá),
- b) změnou tloušťky vrstev stavební konstrukce,
- c) rozdílem mezi vnitřní a vnější plochou stavební konstrukce, například výztužným žebrem.

Vliv tepelného mostu se zohledňuje při výpočtu tepelného odporu konstrukce R , resp. součinitele prostupu tepla U . Příčinou tepelného mostu v konstrukci je, v porovnání se stejnou konstrukcí bez tepelného mostu, zvýšená hustota tepelného toku a lokální změna vnitřní povrchové teploty konstrukce. Tepelné mosty se dělí na bodové a lineární.

Materiálová nestejnorodost v konstrukci se nazývá tepelnou vazbou; jde například o konstrukční styk dvou nebo více druhů stavebních konstrukcí, konkrétně oblast spoje

obvodového pláště a stropní konstrukce, příčky a obvodové konstrukce apod. Tepelná vazba se vytváří na rozhraní mezi dvěma a více konstrukcemi, kde tepelný tok v konstrukcích je významně změněn jejich vzájemným působením. Je to zvláštní případ tepelného mostu, odlišný od ostatních svou nepřiraditelností k jedné či druhé konstrukci. V některých přejímaných normách EN/ISO se nazývá i tato tepelná nestejnorodost tepelným mostem přesto, že ze vzájemných souvislostí je zřejmé, že se jedná o tepelné vazby. Vliv tepelné vazby se nezahrnuje při výpočtu nebo měření tepelného odporu konstrukce R nebo součinitele prostupu tepla U jednotlivých konstrukcí, ale až při výpočtu měrné ztráty prostupem tepla HT a průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} apod. Obdobně jako u tepelných mostů se rozlišují lineární a bodové tepelné vazby.

Tepelné vazby u objektů s nízkou vnitřní teplotou jsou velmi problematické a jejich řešení má zásadní vliv na celkovou energetickou náročnost objektu nejen s přihlédnutím k celkovému počtu denostupňů v mrazírně, ale především k trvalému teplotnímu gradientu v jednotlivých konstrukcích. Není výjimkou případ, kdy jedna konstrukce, například nosný betonový sloup, prochází od základu stavby postupně prostředím zemního masivu o teplotě asi $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, potom podlahou s vytápěním o teplotě $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, následně interiérem mrazírny o teplotě $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$, pak podstřešním prostorem o teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a ústí ve venkovním prostředí nad střechou.

4.4 Difuze a kondenzace vodní páry

Difuze vodní páry představuje proces pohybu molekul vodní páry porézní strukturou stavebních konstrukcí z míst o vyšší koncentraci páry do míst s koncentrací nižší plynným prostředím. Odehrává se jako přirozený pochod pro vyrovnání termodynamické rovnováhy podle Fickova zákona. Pro hustotu difuzního toku q_d v jednorozměrném

ustáleném stavu platí rovnice

$$q_d = \frac{D}{\mu \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dp_d}{dx},$$

kde: D je součinitel difuze vodní páry ve vzduchu (m^2/s), $D = D_0 \frac{p_n}{p_b} \left(\frac{T}{T_n} \right)^m$,

D_0 součinitel difuze vodní páry ve vzduchu; za normálního tlaku $98066,5\text{ Pa}$ a teplotě $273,15\text{ K}$ je $D_0 = 2,3055 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$,

μ faktor difuzního odporu,

R měrná plynová konstanta pro vodní páru, $R = 461,9\text{ J.kg/K}$,

T termodynamická teplota (K),

T_n normální termodynamická teplota (K), $T_n = 273,15\text{K}$,

p_n normální tlak vzduchu (Pa),

p_b barometrický tlak vzduchu (Pa),

p_d částečný tlak vodní páry (Pa).

V praxi se často používá v souvislosti se schopností difuze vodní páry veličiny faktoru difuzního odporu μ , neboť udává, kolikrát je větší difuzní odpor dané látky oproti stejně silné vrstvě vzduchu o stejné teplotě; pro vzduch platí $\mu = 1$.

Množství vodní páry difundující stěnou za ustáleného stavu lze stanovit podle Stefanova

vztahu ze vztahu:
$$Q_{md} = \frac{D}{\mu \cdot R \cdot T} \cdot \frac{S}{d} (p_{d1} - p_{d2}),$$

kde: S plocha stěnové konstrukce (m^2),

d tloušťka stěny (m),

p_{d1} , p_{d2} parciální tlak vodní páry (Pa).

Parciální tlak vodní páry se v místech kondenzace neřídí difuzní rovnicí, nýbrž setrvává na hodnotě parciálního tlaku nasycené vodní páry závislé na teplotě. Úloha stanovení podmínky difuze vodní páry s kondenzací vodní páry v konstrukci lze vyjádřit pomocí graficko-analytické metody, tzv. Glaserova schématu. Tento princip se stal základem pro vyšetření kondenzace prakticky všech národních norem evropských států. Parciální tlak nasycené vodní páry p_d'' lze vyjádřit například aproximačním vztahem:

$$p_d'' = \exp\left(27,4 - \frac{5745}{273,15 + \theta}\right) \quad (\text{Pa})$$

kde θ je teplota ($^{\circ}\text{C}$).

Difuzní tok za ustálených podmínek z rovnice $\frac{dp_d}{d\tau} = \left(\frac{D}{\mu \cdot R \cdot T} \frac{1}{c_d \cdot \rho}\right) \frac{d^2 p_d}{dx^2}$ se vyjádří za

ustálené podmínky $\frac{dp_d}{d\tau} = 0$, pak se řeší obyčejná diferenciální rovnice ve tvaru

$$\frac{d^2 p_d}{dx^2} = 0.$$

Pro homogenní materiálovou vrstvu vychází řešení $p_d = C_1 \cdot x + C_2$, kde C_1 a C_2 jsou integrační konstanty. Pro okrajové podmínky

$$p_d = p_{d1} \quad \text{pro povrch } x = 0,$$

$$p_d = p_{d2} \quad \text{pro povrch } x = d.$$

Lze sestavit lineární rovnici $p_d = p_{d1} + x \cdot \frac{p_{d2} - p_{d1}}{d}$ (Pa)

x – vzdálenost od počátku (m), $0 \leq x \leq d$,

p_d – parciální tlak vodní páry v rovině x (Pa).

V projektantské praxi lze využít pro posouzení rizika hromadění vnitřní vlhkosti v konstrukci buď metodiky roční bilance vlhkosti, která vychází z quasistacionárních okrajových podmínek referenčního klimatického roku platného pro dané území, jež má oporu v technických normách nebo lze využít jiných prostředků vycházejících z předpokladu nestacionárního tepelného a vlhkostního šíření. Oba postupy jsou však odhadem reálných vlhkostních a tepelných pochodů ve stěnách.

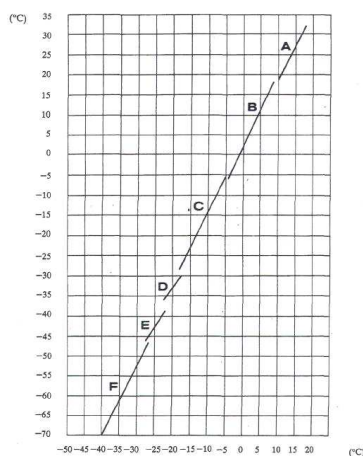
4.5 Tepelná stabilita objektů

Tepelněstabilní kritérium dle [17] zabezpečuje tepelnou stabilitu prostředí i při výpadku energetického zdroje a určí se ze vztahu

$$\theta_M(\tau) = \theta_i(\tau) + \theta_p(\tau),$$

kde $\theta_M(\tau)$ je součtová teplota po časovém intervalu τ (maximální dovolený vzestup součtové teploty po časovém intervalu $\tau = 8$ hod) (K); $\theta_i(\tau)$ je teplota interiéru po časovém intervalu τ (K) a $\theta_p(\tau)$ průměrná povrchová teplota všech povrchů v hodnoceném prostoru (K).

Maximálně přípustné hodnoty součtových teplot θ_M v hodnoceném prostoru podle provozního teplotního pásma se odečtou z grafu 1.:



Graf 1: Graf pro stanovení součtové teploty $\theta_m(\tau)$ podle provozní teploty chladírně a mrazírně

Poznámka: na vodorovné ose je uvedena provozní teplota v chladírně či mrazírně, na svislé ose je uvedena součtová teplota

Grafický postup není příliš přesný, norma např. ani neuvádí hodnoty maximálního dovoleného vzestupu součtové teploty po časovém intervalu $\tau = 8$ hod. Při hodnocení mrazírny lze použít řešení vycházející z formulace tepelného systému uvedené dále.

Praktická část

5 Cíle dizertační práce

Studium energetické náročnosti objektů s řízenou vnitřní teplotou.

- a1) Analýza a praktické výsledky energetického diagnostikování stavebních objektů formou energetického auditování realizovaných objektů s řízenou vnitřní teplotou.
- a2) Rámec požadavků na spotřebu energií objektů pro udržení vnitřních klimatických podmínek s využitím potenciálu tepelně-izolačních materiálů.
- a3) Zhodnocení současných možností výpočtového modelování tepelných procesů v detailech stavebních konstrukcí objektů s řízenou vnitřní teplotou.

Metodika měření součinitele tepelné vodivosti a součinitele prostupu tepla jako určujícího parametru pro kvalitu stavební konstrukce.

- b1) Měření součinitele tepelné vodivosti izolačního materiálu a porovnání s hodnotami deklarovanými výrobcem – ověřování modelováním metodami 3D.
- b2) Měření součinitele tepelné vodivosti stavební konstrukce se zahrnutím podélných spojů mezi jednotlivými segmenty
- b3) Modelování teplotních polí ve stavební konstrukci při respektování reálných) – konfrontace výsledků termografií.
- b4) Vliv účinku vlhkosti v konstrukci pláště mrazírny.

Ověření možnosti ovlivnění

- c1) aplikace poznatků z výsledků b) na projekty objektů s řízenou vnitřní teplotou.
- c2) Ověření optimálních variant konstrukčních úprav v objektech s ŘVT.
- c3) opatření pro omezení vlhkostního projevu v materiálu b4).
- c4) Požadavky na materiálové vlastnosti tepelných izolací mrazicích komor.
- c5) potenciál dalších opatření pro omezení ENB a zajištění dlouhodobé funkční schopnosti izolačních materiálů.

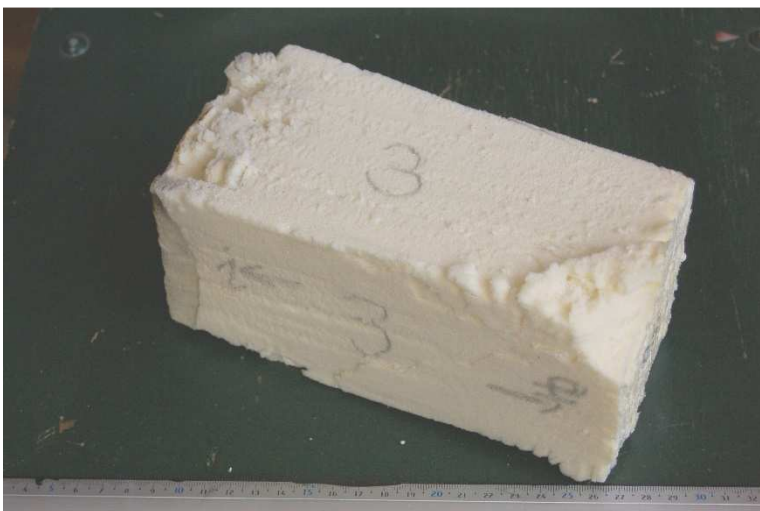
6 Experimentální část

6.1 Vlastnosti pěnového polyuretanu (PUR / PIR)

Použití tuhé polyuretanové pěny pro izolaci budov představuje nákladově příznivou variantu pro novou stavební výstavbu. Materiál má nízkou tepelnou vodivost nesrovnatelnou s jiným konvenčním produktem, tuhá polyuretanová pěna je ideálním materiálem pro renovace, kdy je kladen důraz na energetickou účinnost. Dodatečné zateplení izolací v pláštích stávajících budov může snížit průměrnou spotřebu energie o více než 50 % a použitím tuhé polyuretanové pěny lze zjednodušit montáž. Ostatní příznivé mechanické vlastnosti a výborná přilnavost k jiným materiálům otevírá široké možnosti aplikací.

Pojem tuhá polyuretanová pěna (PUR/PIR) zaujímá celou skupinu příbuzných izolačních materiálů, které kromě polyuretanu (PUR) zahrnují i polyizokyanurátové (PIR) tuhé pěny. Vynikající tepelně izolační vlastnosti uzavřených buněk z tuhé polyuretanové pěny se dosahuje přítomností nadouvadla, jako uhlovodík pentan a CO₂. Vedle nízké tepelné vodivosti, jsou tuhé polyuretanové pěny stabilní a trvanlivé. Jejich funkčnost se váže k funkčnosti celé budovy, životnost se předpokládá přes 50 let.

Použití tepelné izolace z tuhé polyuretanové pěny šetří přírodní zdroje, šetří energii a nemá žádné významné emise do životního prostředí.



Obr. Vzhled vzorku PUR odebraného z pláště mrazírny

Struktura tuhé polyuretanové pěny představuje uzavřený buněčný systém vypěněného plastu. Jako průmyslově vyráběné se tepelně izolační materiály produkují ve formě

izolačních desek nebo bloku pěny a v kombinaci s různými obkladovými vrstvami jako tuhý stavební materiál nebo sendvičové panely. Polyuretanové pěny mohou být vyráběny místně přímo na stavbě.

Pro projektanty tuhé polyuretanové pěny umožňují kreativní řešení izolace od sklepa a zdí až po stropy a střechu. Materiál je ideální na lehké, nízkoenergetické a nulové energetické stavby (pasivní domy).

Sendvičové panely z tuhé polyuretanové pěny obsahují tuhé jádro opláštěné profilovaným, většinou kovovým obkladem na obou površích. Sendvičové panely jsou zvláště vhodné pro střešní krytiny a stěnové aplikace pro různé aplikace v halách a průmyslových stavbách, stejně jako pro účely chlazení a ukládání v mrazicích jednotkách. Panely jsou lehké, snadno zpracovatelné a mohou být instalovány za všech povětrnostních podmínek. PUR/PIR sendvičové panely mají vysokou úroveň využití ve stavebním a konstrukčním návrhu staveb, nabízejí vysokou úroveň bezpečnosti, a to jak v oblasti zpracování, tak i ve fázi konečného užívání budovy.

6.2 Technické a fyzikální vlastnosti tuhé polyuretanové pěny

Vlastnosti izolačních materiálů závisí na jejich struktuře, použité surovině i výrobním procesu. Při výběru vhodného tepelně izolačního materiálu z hlediska požadované tepelné vlastnosti velký význam pro funkčnost a bezpečnost stavby, mezi další důležitá kritéria při výběru izolace jsou mechanická pevnost, odolnost proti stárnutí, zvukové izolační vlastnosti i odolnost proti vlhkosti a ohni.

Tuhá polyuretanová pěna patří k izolačním materiálům kvůli vynikající izolační vlastnosti. Má extrémně nízkou hodnotu tepelné vodivosti a mohou dosáhnout optimální úrovně úspor energie. Kvůli vynikající mechanické pevnosti a výjimečné trvanlivosti tuhé polyuretanové pěny splňují všechny požadavky kladené na izolační materiály používané ve stavebnictví.

6.3 Rozsah experimentálních měření na vzorcích PUR

Měření fyzikálních vlastností pěnového polyuretanu bylo prováděno v tomto rozsahu:

- součinitel tepelné vodivosti vzorku PUR panelu,
- součinitel difuzního odporu vzorku PUR panelu,
- mechanické vlastnosti polyuretanové pěny,
- nasákavost PUR panelu,

- posouzení životnosti polyuretanové pěny.

6.4 Tepelná vodivost materiálu

Nejdůležitější vlastností izolačního materiálu je jeho izolační schopnost. Měřítkem pro takové izolace je nízká tepelná vodivost a vysoká tepelná odolnost.

6.4.1 Součinitel tepelné vodivosti a tepelný odpor izolační vrstvy

Součinitel tepelné vodivosti λ vyjadřuje specifickou materiálovou vlastnost. Tepelný odpor R popisuje vlastnost tepelně-izolační vrstvy. Hodnota součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů se vyjadřuje v souladu s ČSN EN ISO 6946.

Součinitel prostupu tepla U vyjadřuje velikost tepelného toku na jednotku plochy stavebního dílce připadající rozdílu teplot mezi povrchy směru tepelného toku je 1K. Hodnotu U lze vyčíslit ze vztahu $U = R_T^{-1}$ pro danou stavbu a je obecně reprezentován ve $W / (m^2.K)$.

Tepelná vodivosti a tepelný odpor tuhé polyuretanové pěny a ostatní izolační materiály stanovují postupem podle přílohy A a přílohy C podle ČSN EN 13 165.

6.4.2 Tepelná vodivost z tuhé polyuretanové pěny (PUR/PIR)

Tepelná vodivost z tuhé polyuretanové pěny je závislá na:

- využití plynu v dutinkách hmoty,
- objemové hmotnosti,
- teplotě,
- chování v závislosti na vlhkosti,
- času měření.

6.4.2.1 Vliv plynné náplně v buňkách

Mimořádné izolační vlastnosti tuhé polyuretanové pěny (PUR/PIR) je dosaženo účinkem nadouvadla. Tepelná vodivost nadouvadla při referenční teplotě 10 °C je nižší než u vzduchu [$\lambda_{air} \cong 24 \text{ mW} / (\text{m} \cdot \text{K})$]. Nejobvyklejším nadouvadlem je uhlovodík pentan, a to buď čistý isomer nebo směs izomerů, iso- nebo cyklo-pentanu, s hodnotou součinitele tepelné vodivosti mezi 12 až 13 $\text{mW}/(\text{m.K})$ [1]. Pro zvláštní účely se používá fluorohydrokarbonát jako HFC-365 MFC a HFC-245 FA.

Vzhledem k vysoké míře uzavřených buněk k obsahu vlastní polyuretanové tuhé pěny (PUR/PIR), kde poměr uzavřených buněk $> 90 \%$, může zůstat podíl nadouvadla v izolačním materiálu v dlouhém období. Difuzi plynu do okolí snižují vzduchotěsné obkladové desky sendvičového panelu. Uváděné hodnoty tepelné vodivosti stanovené výrobcí představují dlouhodobé a ustálené hodnoty a vychází z doby životnosti izolačního materiálu nejméně 25 let. Praktické zkušenosti o životnosti potvrzují údobí větší delší, lze odhadovat až 60 let. Úroveň tepelné vodivosti tedy závisí na úrovni možného stárnutí materiálu. V příloze C výrobní normy ČSN EN 13165 se popisuje postup pro stanovení účinku stárnutí na tuhé polyuretanové pěny. Pro měření se použijí vzorky ve stáří osm dnů od výroby izolačních desek.

6.4.2.2 Vliv hustoty tuhé polyuretanové pěny

S množstvím tuhého materiálu se zvyšuje jeho objemová hmotnost. Tím se také zvyšuje podíl tepla procházející materiálovou „kostrou“. Zvýšení hodnoty součinitele tepelné vodivosti se ale příliš nezvyšuje v závislosti na zvýšení hustoty, neboť u tuhé polyuretanové pěny se tato vlastnost jen málo mění na hustotě rozsahu 30 až 100 kg/m³. Tento projev je důležitý pro stavbu.

6.4.2.3 Vliv teploty

Součinitel tepelné vodivosti izolačních materiálů se snižuje se snížením teploty. Zvýšení teploty má za následek zvýšení hodnoty součinitele tepelné vodivosti. Měření součinitele tepelné vodivosti se provádí měřením za standardních podmínek. To je důvod, proč se naměřené hodnoty vztahují k referenční teplotě +10 °C.

Minimální odchylky v tepelné vodivosti pro tvorbu aplikací ve srovnání s referenční teplotou +10 °C jsou brány v úvahu při navrhování hodnoty tepelné vodivosti.

6.4.2.4 Vliv absorpce vody po ponoření do vody po dobu 28 dnů

Při referenční teplotě 25 °C nabývá hodnota tepelné vodivosti vody je $\lambda \cong 0,58 \text{ W/(m.K)}$. Jako tepelná vodivost nejběžnějších izolačních materiálů se pohybuje mezi $\lambda \in [20; 50] \text{ mW/(m.K)}$, nasákavost díky ponoření do vody vede ke zvýšení tepelné vodivosti. Nicméně absorpce vody má jen malý vliv na tepelnou vodivost z tuhé polyuretanové pěny. Studie prováděné ve Forschungsinstitut für Wärmeschutz Mnichov ukázaly, že

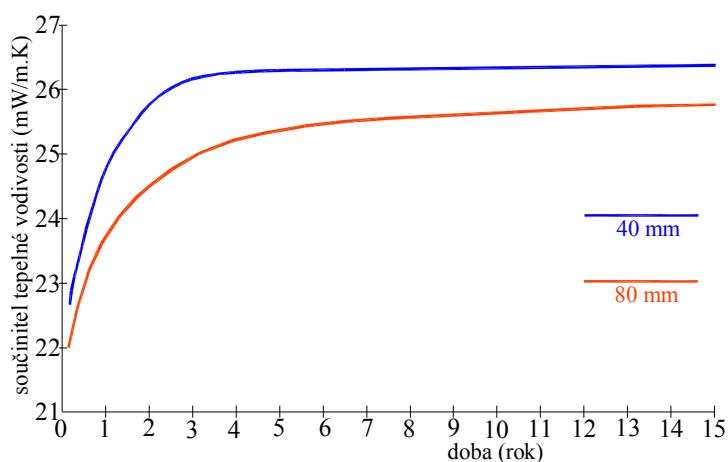
zvýšení tepelné vodivosti tuhé polyuretanové pěny pěněné pentanem po 28denním ponoření do vody je zanedbatelné, tato změna činí přibližně 1,8 mW/m.K [2].

6.4.3 Deklarovaná hodnota tepelné vodivosti

Deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_D je odvozen od laboratorně naměřené hodnoty zjištěné v souladu s podmínkami uvedenými v ČSN EN 13165. Deklarovaná hodnota je stanovena z původní naměřené hodnoty, s ohledem na statistický rozptyl a vliv stárnutí materiálu. To je uváděno po krocích 1 mW/m.K.

6.4.3.1 Dlouhodobé tepelné vodivosti z tuhé polyuretanové pěny izolačních materiálů

Forschungsinstitut für Wärmeschutz v Mnichově provádí dlouhodobé testy tuhé polyuretanové pěny (PUR/PIR), izolační desky již testuje po dobu 15 let. Tepelnou vodivost a koncentraci plynu v pórech určuje pravidelně. Na obrázku 3 je znázorněna změna tepelné vodivosti tuhé polyuretanové pěny desek pěněných pentanem po dobu 15 let uložení při pokojové teplotě.



Obr. X: Průběh hodnoty součinitele tepelné vodivosti tuhé polyuretanové pěny po dobu 15-ti let od výroby

Poznámka: grafická závislost je uvedena pro tloušťky desky 40 a 80 mm

Kromě tepelné vodivosti tuhého materiálu závisí šíření tepla na míře tepelného záření v pěnových buňkách, také tepelná vodivost závisí z velké části na přestupových podmínkách tepla přes buněčnou plynu. Poměrně výrazný nárůst tepelné vodivosti nastává od počátku sledování kvůli výměně plynů mezi CO₂ (tepelná vodivost cca 16 mW/m.K) a vzduchem (tepelná vodivost cca 24 mW/m.K).

Po lhůtě asi 3 roky dosáhne složení plynu v pórech stabilní rovnováhy, a tepelná vodivost se potom mění jen minimálně. Obecně lze říci, izolační materiály větších tloušťek dosáhnout nižší dlouhodobé hodnoty tepelné vodivosti.

Křivky ukazují, že „pevné přírůstky“ v souladu s ČSN EN 13165 pro pentan jsou přesně určeny:

- 5,8 mW/m.K, při tloušťce $d < 80$ mm,
- 4,8 mW/m.K, při tloušťkách $80 \text{ mm} \leq d < 120$ mm.

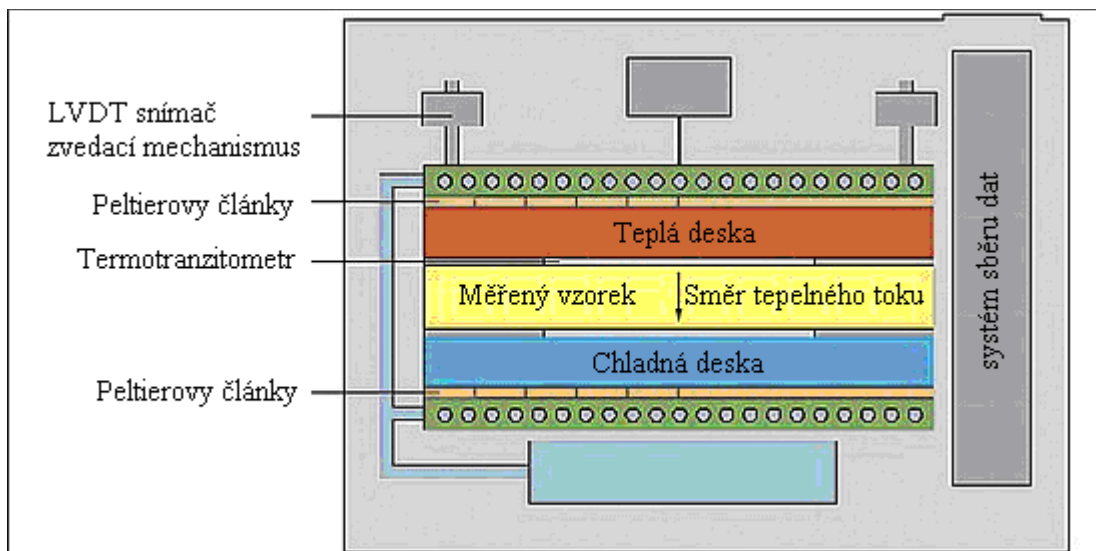
Spotřebitelé však mohou být jisti, že deklarované hodnoty tepelné vodivosti λ_D nebudou překročeny i po velmi dlouhou dobu [2, 3].

6.4.4 Metodika měření součinitele tepelné vodivosti

Pro stanovení součinitele tepelné vodivosti vzorků bylo použito měřícího zařízení HOLOMETRIX (USA) s označením Lambda 2300 (Heat Flow Meter) pro zjišťování velikosti součinitele tepelné vodivosti izolačních materiálů v rozsahu od 0,005 do 0,5 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ pro tepelný odpor měřeného vzorku od 0,1 do 8,0 $\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$.

Měřící zařízení umožňuje provádět automatizované měření velikosti součinitele tepelné vodivosti, až pro deset předvolených středních teplot měřeného materiálu v teplotním intervalu od -30 °C do $+85$ °C podle technických norem ASTM C518 a ISO 8301. Schematické vyobrazení hlavních částí přístroje na obr. 1 znázorňuje měřící princip spočívající v indikaci tepelného toku procházejícího měřeným materiálem při definovaném teplotním spádu na měřeném materiálu. Tepelný tok je zjišťován napětovým převodníkem tepelného toku zabudovaným v horní desce o vyšší teplotě a také v dolní desce o nižší teplotě. Výstupní napětový signál je úměrný velikosti tepelného toku procházejícího těmito převodníky. Odtud vyplývá, že měřící metoda je metodou relativní a měřící zařízení je tak nutno nejprve kalibrovat použitím standardního referenčního materiálu o známé, přesně určené hodnotě součinitele tepelné vodivosti.

Teplotní spád na měřeném vzorku je zjišťován pomocí termočlánků zabudovaných do povrchů obou desek, které jsou v kontaktu s měřeným vzorkem. Teplota desek je řízena ohřívacím, resp. chladicím systémem s Peltierovými články a s externím chladičem, a to podle zadané střední teploty měřeného vzorku a podle zadaného teplotního spádu.



Schematické znázornění hlavních částí měřicího zařízení LAMBDA 2300 (podle technické dokumentace HOLOMETRIX Ltd., USA)

Tvar měřeného vzorku je čtvercová deska o straně 300 mm a tloušťce od 5 do 95 mm. Snímače tepelného toku jsou čtvercového tvaru o straně 101,6 mm, je tímto rozměrem určena minimální velikost vzorku čtvercového tvaru. Pro zjišťování velikosti součinitele tepelné vodivosti sypkých materiálů je v provozních pokynech k měřicímu zařízení doporučeno vytvořit rám z vhodného tepelně izolačního materiálu opatřený dnem z hliníkové folie a v takto vytvořeném prostoru rovnoměrně rozprostřít měřený syký materiál.

Vkládání měřeného vzorku do měřicího prostoru je umožněno vertikálním posuvem horní teplé desky o vyšší teplotě. Měření tloušťky vzorku se uskutečňuje pomocí snímače LVDT.

Všechna měřicí zařízení řady Lambda 2300 pracují s vnitřním programovým vybavením *Q-Lab*. Zadávání vstupních parametrů testu, průběh měření i tisk výsledků jsou plně řízeny pomocí klávesnice zabudované v čelním panelu přístroje.



Úplná sestava měřicího zařízení s externím programovým vybavením Q-Lab

Použití externího programového vybavení *Q-Lab* poskytuje možnosti řízení průběhu měření a monitorování parametrů měřicího zařízení. Umožňuje též v grafické a tabulkové formě sledovat a případně zaznamenávat střední teplotu měřeného vzorku, velikost teplotního spádu a odpovídající okamžitou velikost součinitele tepelné vodivosti.

V informačních materiálech o měřicích zařízeních řady Lambda 2300 je uváděna reprodukovatelnost výsledků opakovaných měření téže hodnoty vstupní veličiny v rozsahu do 0,5 %.

Správnost dosahovaných výsledků je uváděna jako ± 1 až 3 %. Měřicí zařízení se vyznačuje stabilitou v rozsahu 0,1 až 0,25 % v průběhu několika dnů. Rovnovážného stavu měřicího zařízení je v některých případech dosaženo za dobu přibližně 15 minut. Volbou pracovního režimu s využitím obou převodníků tepelného toku lze dosáhnout odchylky velikosti určovaného součinitele tepelné vodivosti, od hodnoty v ustáleném stavu menší než 0,5 % a za dobu kratší než 20 min.

6.4.5 Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti standardního referenčního materiálu

Z důvodů uvedených v předchozí části byl spolu s měřicím zařízením dodán též certifikovaný referenční materiál NIST SRM 1450c (skelná vlákna s fenolovým pojivem zformovaná do tvaru polotuhé čtvercové desky). Tento materiál byl U.S. National Institute of Standards & Technology (NIST) certifikován jako standard pro měření součinitele tepelné vodivosti a tepelného odporu materiálů pro měřicí zařízení typu Lambda. Uvedený certifikovaný referenční materiál se sériovým číslem 486 má stranu o délce 300 mm a podle certifikátu je při teplotě 0 °C jeho tloušťka 24,73 mm a objemová měrná hmotnost $157,56 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Všechna orientační měření i dále popisované měření pro určení teplotní závislosti součinitele tepelné vodivosti se uskutečnila na základě kalibrace provedené u výrobce měřicího zařízení s použitím výše uvedeného standardu.

Před vlastním měřením je nutno zadat nominální hodnoty středních teplot, při kterých bude určována velikost součinitele tepelné vodivosti a též vstupní hodnoty parametrů, které definují rovnovážný stav měřicího systému a způsob jeho dosažení. Uváživě je třeba volit i nastavení teplotních odchylek (temperature offsets). Vysoké nároky na přesnost dosahovaných výsledků však nepříznivě ovlivňují celkovou dobu trvání testu. V provozních pokynech je proto doporučeno používat nejprve výrobcem uvedené hodnoty příslušných parametrů.

Vlastní měření velikosti součinitele tepelné vodivosti certifikovaného referenčního materiálu bylo provedeno pro nominální hodnoty středních teplot od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (s krokem $10\text{ }^{\circ}\text{C}$) pro teplotní spád na měřeném vzorku $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. V průběhu celého testu řízeného s použitím vnitřního i externího programového vybavení byly v minutových intervalech zaznamenávány hodnoty veličin potřebných pro určení okamžité velikosti součinitele tepelné vodivosti. Po skončení testu byl proveden tisk výsledků, které s použitím programového vybavení *Q-Test* jsou uváděny v tvaru patrném z tab. 1.

Pro střední teploty vzorku při dosažení rovnovážného stavu měřicího zařízení jsou v závorce uvedeny odpovídající teplotní spády a dále velikosti součinitelů tepelné vodivosti, tepelných odporů, teplotních gradientů a konečně doby trvání měření.

Výsledky provedeného testu je možné porovnat s hodnotami součinitelů tepelné vodivosti uvedenými v příloze certifikátu SRM 1450c.

Z kvalitativního porovnání výsledků testu s certifikovanými hodnotami součinitelů tepelné vodivosti vyplývá, že všechny testem určené hodnoty jsou vůči certifikovaným hodnotám součinitelů tepelné vodivosti posunuty směrem k vyšším hodnotám, přičemž v žádném případě sice nepřekračují v informačních materiálech uváděnou horní mez správnosti (accuracy) $+3\%$, avšak pohybují se spíše v horní části uvedeného intervalu (viz závěr kapitoly 2).

Pro posouzení reprodukovatelnosti měření nebyl zatím proveden takový test, při kterém by byl získán statisticky významný počet opakovaných měření pro zvolenou nominální hodnotu střední teploty měřeného vzorku.

SI Units				
Temperature Mean (Delta) ($^{\circ}\text{C}$)	Thermal Conductivity ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	Thermal Resistance ($\text{m}^2\cdot\text{K/W}$)	Temperature Gradient ($^{\circ}\text{K/m}$)	Test Time (hrs:mins:sec)
-10.13 (20.01)	0.030079	0.821886	809.39	02:01:06
0.57 (20.02)	0.031119	0.794416	810.01	01:04:07
10.21 (20.01)	0.032118	0.769699	809.50	01:15:08
20.86 (20.01)	0.033664	0.734345	809.60	00:46:05
30.57 (20.02)	0.034647	0.713525	809.77	01:25:08
40.84 (20.02)	0.035906	0.688500	809.80	01:25:08
50.38 (20.06)	0.036566	0.676064	811.63	01:48:11
50.40 (20.09)	0.036654	0.674442	812.49	00:30:03

Tab. 8 Přehledová zpráva o výsledcích po skončení měření

S údajem výrobce se zcela neshodují poměrně dlouhé intervaly potřebné pro dosažení rovnovážného stavu měřicího zařízení, což v našem případě pravděpodobně způsobeno volbou těsné přípustné odchylky střední teploty vzorku v rovnovážném stavu od její nominální hodnoty a snad „přísně“ nastavenými parametry pro dosažení rovnovážného

stavu. U výrobcem uváděných časů pro dosažení rovnovážného stavu však hodnoty zvolené teplotní odchylky ani dalších ovlivňujících parametrů nejsou specifikovány.

Tab. 9 Teplotní závislost součinitele tepelné vodivosti dle certifikátu SRM 1450c

Střední teplota vzorku (°C)	0	10	20	30	40	50
Součinitel tepelné vodivosti ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	0,0307	0,0318	0,0329	0,0340	0,0351	0,0362

Údaje podle U.S. National Institute of Standards & Technology (NIST), No. 486

Správnost a reprodukovatelnost výsledků měření může být volbou vstupních parametrů měřicího zařízení uzpůsobena jak přísnějším požadavkům, tak i potřebám průmyslové praxe.

6.4.6 Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti pěnového polyuretanu

Odřezek vzorku pěnového polyuretanu z obvodového panelu byl vysušen při teplotě 60 °C do konstantní hmotnosti. Po vychladnutí bloku na laboratorní teplotu byly připraveny vzorky pro měření o rozměrech 300 x 300 x 50 mm. Před započítím měření byl měřicí přístroj metrologicky navázán na certifikovaný referenční materiál. Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti na vysušeném polyuretanu jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 10 Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti tuhé polyuretanové pěny

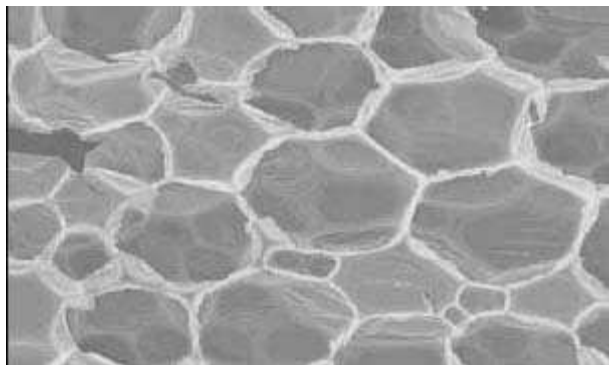
č. měření	1	2	3	4	5	průměr
λ_{PUR} [mW/(m.K)]	23,2	23,1	23,2	23,2	23,2	23,2 (s = 0,043)

Pro další výpočty byl na základě uvedeného výsledku, uvažován izotropní součinitel tepelné vodivosti polyuretanové pěny při teplotě 20 °C hodnotou $\lambda_{PUR} = 0,0232 \pm 0,0009$ W/(m.K) na hladině spolehlivosti měření 95 %.

6.5 Hustota tuhé polyuretanové pěny, vliv na další vlastnosti

Hustota tuhé polyuretanové pěny (PUR/PIR) používané pro tepelnou izolaci staveb se obvykle pohybuje mezi 30 kg/m³ a 45 kg/m³. Je však možné pro některé aplikace dosáhnout hustoty až 100 kg/m³.

Zjištěná hustota zjištěná vážením pravidelného geometrického tělesa činí $36,2 \text{ kg/m}^3$ na vzorcích PUR je obvyklou hustotou většiny aplikací, pevný plastový materiál tvoří pouze 3 % objemu. Tento materiál tvoří mřížky buněk, vzpěry a buněčné stěny, které odolávají mechanickému zatížení vzhledem ke své tuhosti a vnitřnímu uspořádání.



Obr. 11 Vzhled struktury buněk tuhé polyuretanové pěny metodou REM

500 μm

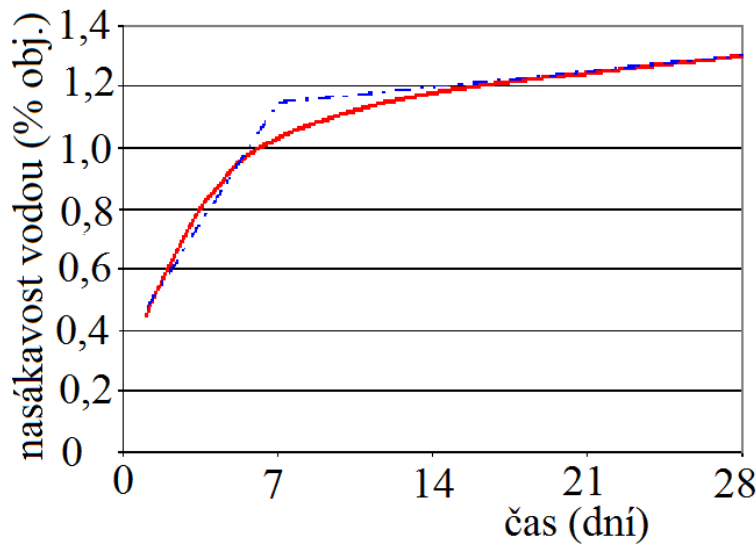
6.6 Chování materiálu za přítomnosti vody a vlhkosti

Funkčnost stavebních konstrukcí z hlediska odolnosti proti vlhkosti do značné míry závisí na chování izolačních materiálů vůči stavební a zemní vlhkosti, jakož i srážek během dopravy, skladování a montáže. Kondenzace vlhkosti na povrchu stavebních prvků, také kondenzace v průřezu stavebních prvků vlivem difuzního pochodu, také sehrává roli.

Vzhledem ke své uzavřené buněčné struktuře, která neabsorbuje ani nešíří vodu, tj. neprojevuje vztlínání. Z tohoto důvodu normální vlhkosti v budovách nevede ke zvýšení tepelné vodivosti. Difuze vodních par nemůže způsobit zvýšení vlhkosti v tuhé polyuretanové desce pěnové izolace, pokud jsou řádně z konstrukčního hlediska provedeny povrchové nepropustné vrstvy. To může nastat například v případě chybějící parotěsné zábrany nebo v důsledku výskytu vzduchové kapsy či vadného těsnění ploché střechy.

6.6.1 Absorpce vody po ponoření do vody po dobu 28 dnů

V laboratorních testech, ve kterých jsou výrobky z tuhé polyuretanové pěny desky trvale ponořeny do vody, může voda proniknout do vnitřní struktury. Zkušební 28denní ponor v souladu s ČSN EN 12087, absorpce tlaku měřená 60 mm PUR/PIR izolační deska o hustotě 35 kg/m^3 se obvykle pohybuje kolem 1,3 procenta objemu.

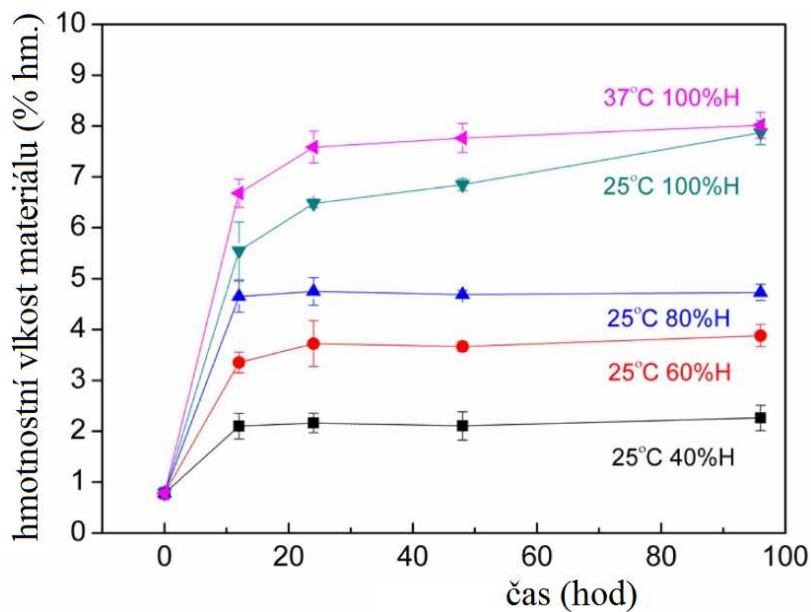


Obr. 6: Průběh nasákavosti tuhé polyuretanové pěny po 28denní ponoření do vody

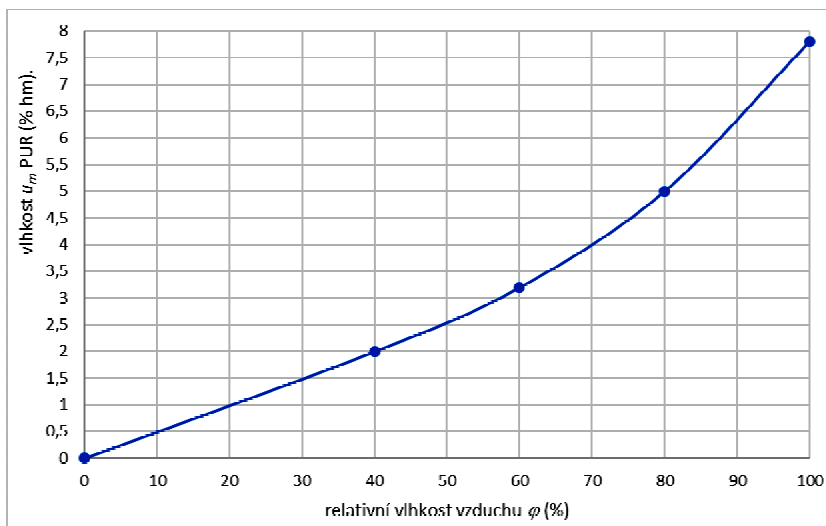
Vlastní měření – znázorněno červenou čarou konfrontováno s výsledkem dle [2] znázorněné modrou čerchovanou čarou

Pokud je opatřen panel z tuhé polyuretanové pěny vrstvou povrchové hydroizolace, může být trvale vystaven smáčení.

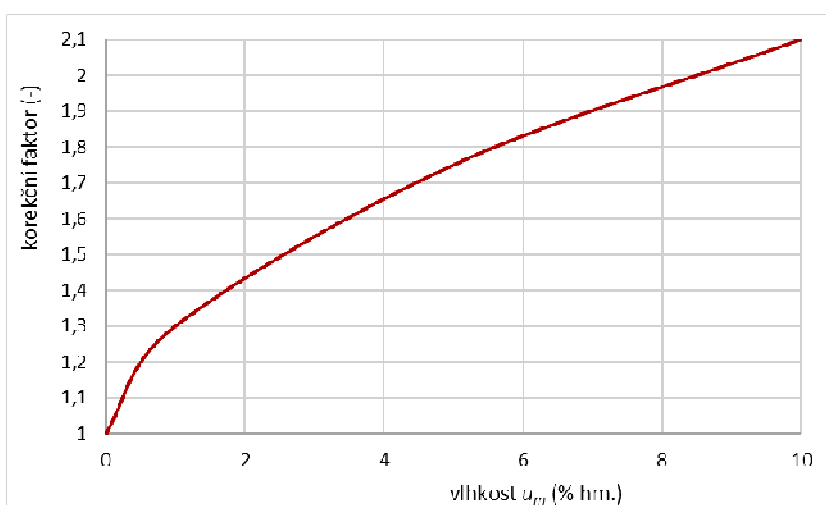
Na obrázku XX se uvádí závislost průběhu nasákavosti PUR v časové závislosti podle [45 platí] .



Obr. 6: Průběh nasákavosti tuhé polyuretanové pěny po 100 hodinách expozice kondicionování vzorků ve vlhkém prostředí [45]



Obr. Průběh sorpční křivky PUR pro vodní páru z výsledků předcházejícího obrázku



Obr. Průběh korekčního faktoru pro součinitel tepelné vodivosti podle [47]

6.6.2 Vlhkostní projevy za podmínek difuze a kondenzace a při střídání působení mrazu a tání

Pokud se desky z tuhé polyuretanové pěny používají jako izolace základu stavby, izolační desky jsou neustále v přímém kontaktu se zemí. Odsud je odvozen požadavek expozice na účinky vlhkosti a mrazu.

Maximální zjištěná absorpce vlhkosti tuhé polyuretanové pěny vzhledem ke kondenzaci se měří podle ČSN EN 12088 a činí asi 6 % objemových. Testy provedené ve Forschungsinstitut für Wärmeschutz Mnichov vody chování z tuhé polyuretanové pěny vystavené podmínkám střídavého účinku mrazu a tání podmínky poskytly hodnoty nasákavosti na izolačních deskách bez obkladů mezi 2 až 7 % obj.

6.6.3 Faktor difuzního odporu pro vodní páru μ

Faktor difuzního odporu μ pro vodní páru je hlavním parametrem pro stanovení vlivu vlhkosti stavebních prvků. Hodnota μ určuje poměr mezi difuzní schopností vrstvy stavebního materiálu oproti difuzní schopnosti stejně silné tloušťce vzduchu ($\mu_{air} = 1$).

Faktor difuzního odporu pro vodní páru tuhé polyuretanové pěny se určuje v souladu s ČSN EN 12086. Ten závisí na hustotě a způsobu výroby. Pokud jsou desky opatřeny povlaky nebo obklady, musí být deklarované hodnoty difuzního odporu pro vodní páry (symbol Z). Pokud se předpokládá účinek vlhkosti v konkrétních aplikacích ve výpočtech stavebních konstrukcí, dosazují se při něm méně příznivé hodnoty.

6.6.4 Ekvivalentní difuzní tloušťka vzduchové vrstvy s_d

Ekvivalentní difuzní tloušťka vzduchové vrstvy s_d je výsledkem součinu tloušťky vrstvy v metrech a faktoru difuzního odporu μ .

$$s_d = d \cdot \mu$$

V závislosti na jejich použití ve stavebnictví, 120 mm tuhé polyuretanové pěnové izolace oproti desce minerálního obkladu má s_d hodnotu $40 \times 0,12 = 4,8$ m, resp. $4 \times 0,12 = 0,48$ m.

6.7 Numerický výpočet tepelného odporu PUR panelu

Pro hodnocení použitého tepelněizolačního materiálu panelů a jejich spojů ve spáře mezi obvodovými panely, který se vytváří podélným spojením panelů, byl sestaven model. Z výsledků numerického modelování mohou být posouzeny úpravy ve spojích ve vztahu snížení tepelněizolační vlastnosti panelů v oblasti spojů. Vlastnosti použitého PUR panelu mohou být porovnány s deklarovanými hodnotami ve výrobním certifikátu výrobce.

Pro hodnocení podélného zámkového spoje PUR panelů je vytvořen dvourozměrný matematický model, respektující jednak danou geometrii zámkového spoje při zadaných vlastnostech použitých materiálů a předpokládaných okrajových podmínkách, především okolní teploty a vlhkosti.

Přitom se bere ohled na konkrétní technologii zámkového spoje. Jedná se především o utěsnění spáry plechového zámku na vnější (teplejší) straně spoje butylénovým tmelem a podélné spojení povrchu PUR panelů v místě spoje pomocí PUR pěny.

Výsledkem hodnocení spoje panelů je jednak kvantifikace snížení výsledného součinitele prostupu tepla celkové konstrukce stěny mrazírny vlivem konstrukce zámku. Tímto se

rozumí vytvoření tepelného mostu v panelu zmenšením síly panelu v místě spoje z nominální hodnoty 180 mm na cca 160 mm v šířce cca 20 mm.

Limitující pro kvalitu spoje je utěsnění spáry v plechovém zámku těsnicím tmelem, aby do prostoru spoje mezi panely nevnikla žádná vlhkost, popř. její množství bylo minimalizováno.

Výsledkem hodnocení spoje panelů s ohledem na teplotní rozložení ve spoji je kvantifikace snížení nominálního součinitele prostupu tepla výsledné konstrukce stěny včetně podélných zámků (tepelných mostů) vlivem konstrukčního a technologického provedení stěny z PUR panelů.

6.7.1 Postup stanovení hodnoty tepelného odporu sendvičového panelu

6.7.1.1 Formulace geometrického modelu

Sendvičový panel vyplněný polyuretanovou pěnou o tloušťce 180 mm byl detailně odměřen pro získání přesných obrysů zejména detailů kovových spojovacích prvků. Systém vnitřního uspořádání labyrintového uzávěru sendvičových panelů byl fotograficky dokumentován s přiloženým měřítkem obr. 1. V programu grafického editoru byly fotografie překresleny na rozměrové uspořádání spoje.

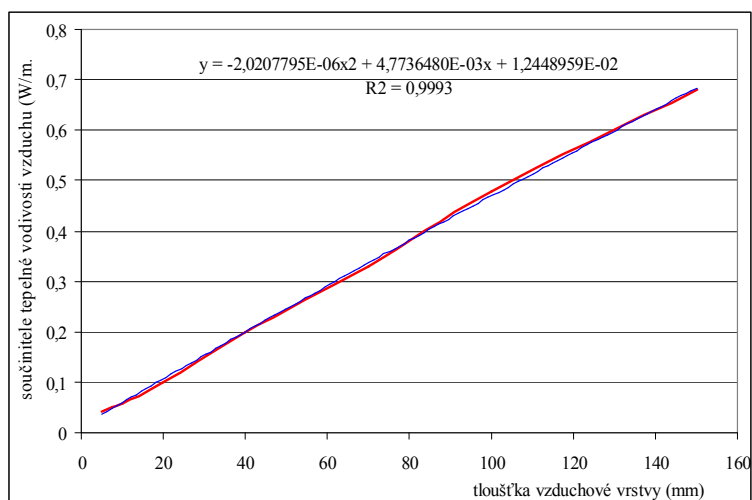


Vzhled detailu ve spoji sendvičových panelů s polyuretanovým jádrem

6.7.1.2 Určení tepelněizolační vlastnosti vzduchových dutin

Pro stanovení tepelných odporů vzduchových dutin v obou směrech bylo použito návrhových hodnot součinitele tepelné vodivosti λ_x , resp. $\lambda_y = f(d_{vv})$ dle vztahu popsaného v ČSN 73 0540-3 tabulkou s aproximační funkční závislostí popsanou vztahem v grafu:

d [mm]	λ_{air} [W/(m.K)]
5	0,042
10	0,059
20	0,100
40	0,200
70	0,330
100	0,480
150	0,680



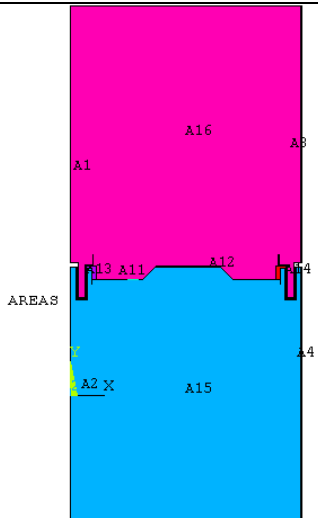
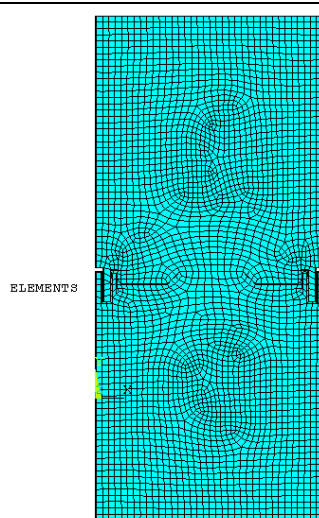
Tab. 2: Závislost hodnoty součinitele tepelné vodivosti na tloušťce svislé dutiny vzduchu na tloušťce svislé dutiny

6.7.1.3 Numerické modelování teplotních polí a průběhů tepelných toků v panelech

Pro stanovení teplotního rozložení bylo použito předpokladu dvojrozměrného šíření tepla ve stacionárním stavu, pro tento popis tepelného šíření platí Fourieova diferenciální rovnice ve tvaru:

$$\lambda_x \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

Numerické výpočty byly provedeny metodou konečných prvků, zobrazení teplotních údajů do přehledné barevné škály bylo provedeno s podporou strojového programu. Podstatou metody pro stanovení rozložení teplotního pole ve 2D rozměru je ustálený tepelný stav teplotního pole diskretizované sítě plošných elementů. Příklad diskretizace uvádí obr. 4. Metoda stanovení teplotního pole pomocí numerických výpočtů je uvedena v normě ČSN 73 0540-2. K tomu jsou předepsány výpočtové hodnoty součinitelů tepelných vodivosti materiálů zúčastněných v posuzovaném stavebním fragmentu včetně okrajových přestupových a teplotních hodnot.

 <p>Schéma modelu spoje sendvičových panelů</p>	 <p>Diskretizace oblasti spoje sendvičových panelů</p>
<p>Obr. 5: Řešený fragment ve vodorovném řezu panelem pro úlohu modelování</p>	<p>Obr. 6: Schéma volné diskretizace pro účely modelování teplotního pole a tepelných toků MKP</p>

Výpočtové stanovení tepelných odporů bloků a stanovení celkového teplotního odporu stěny z PUR panelů z vypočtených povrchových teplot dle ČSN 73 0540.

Pro stanovení výsledného tepelného odporu stěny byl použit metodický postup dle ČSN EN 1745. Dle uvedené normy je nejprve vyšetřen vodorovný řez stěnou. Je stanoven vážený průměr povrchových teplot na fragmentu panelu začleňujícím podélnou polovinu sendvičového panelu, styčnou spáru a podélnou polovinu panelu sousedního (Obr.5). Z tohoto váženého průměru teploty je vypočten tepelný odpor fragmentu dle vztahu (4). Tepelný odpor fragmentu R je použit pro výpočet ekvivalentního součinitele tepelné

$$\text{vodivosti materiálu sendvičového panelu } \lambda_{eq}. \quad \lambda_{eq} = \frac{d}{R} \quad [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad (2).$$

Teplota θ_{si} na vnitřním povrchu tvarovky byla stanovena váženým průměrem teplot ve všech uzlech nacházejících se na linii vnitřního povrchu získaných při vyřešení teplotního průběhu.

Výpočtový vztah (4) pro tepelný odpor R sendvičového panelu v podélném směru byl odvozen ze vztahu pro hustotu tepelného toku (3):

$$q = \frac{(\theta_{ai} - \theta_e)}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{(\theta_{ai} - \theta_{si})}{R_{si}} \quad [\text{W.m}^{-2}] \quad (3)$$

$$R = \frac{R_{si}(\theta_{ai} - \theta_e)}{(\theta_{ai} - \theta_{si})} - R_{si} - R_{se} \quad [\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}] \quad (4)$$

Pro výpočty tepelného odporu panelů bylo použito následujících okrajových výpočtových podmínek:

Teplota vzduchu vnitřního prostředí $\theta_{ai} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$,

Teplota vzduchu vnějšího prostředí $\theta_e = -24 \text{ }^\circ\text{C}$,

Součinitel přestupu tepla na vnitřním i vnějším povrchu $h_{si} = h_{se} = 8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$,

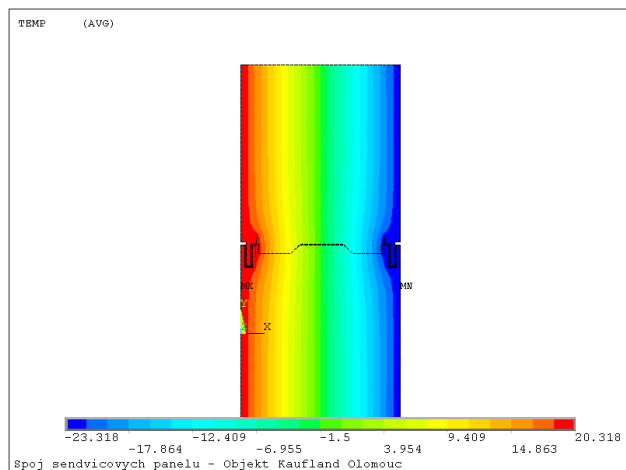
(Tyto hodnoty odpovídají vnitřní interiérové teplotě a návrhové zimní teplotě venkovního prostředí, které uvádí ČSN 730540).

Podle požadavku normy ČSN EN 1745 se vztahuje výsledný tepelný odpor materiálové vrstvy k typickému vlhkostnímu stavu konstrukce. Výsledný tepelný odpor je proto snížen vlivem přirozeného obsahu vlhkosti, přičemž 1 % objemové vlhkosti v materiálu snižuje výsledný tepelný odpor zdiva o 6 %.

6.7.2 Rozložení teplotních polí a tepelných toků panelem

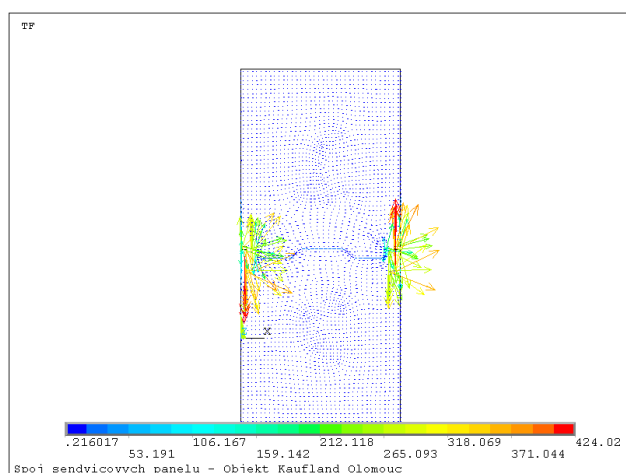
6.7.2.1 Řešení projevu geometrie spoje na průběh teplotního pole

Polyuretanový panel $\lambda_{PUR} = 0,0232 \text{ W/m.K}$ se vzduchovou spárkou ve spoji panelů



Obr. 7) Rozložení teplotního pole (TEMP) v horizontálním řezu tvarovkou 1.

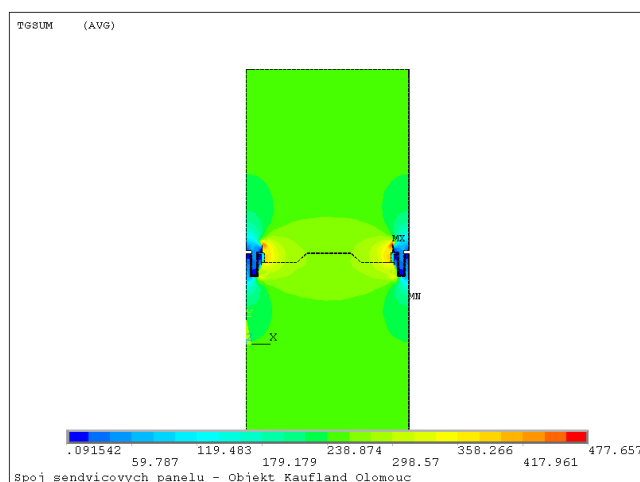
(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -24 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = R_{se} = 0,125 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)
(Teplota uvedena ve $^\circ\text{C}$)



Obr. 8) Rozložení hustot tepelných toků (TF_SUM) na řezu panelem 1.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -24 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = R_{se} = 0,125 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

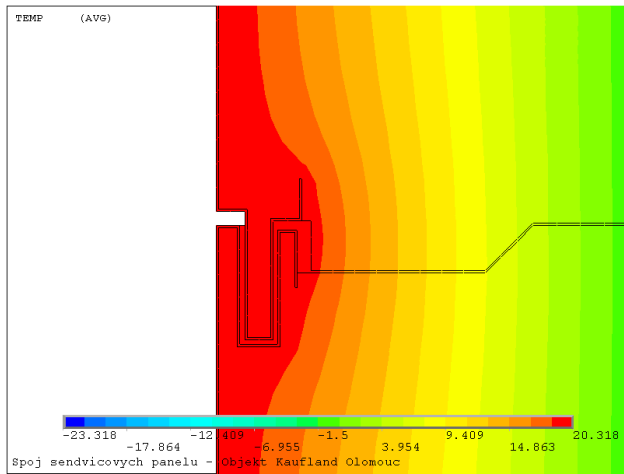
(Hustota tepelného toku uvedena ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)



Obr. 9) Rozložení teplotního gradientu (TGSUM) na horizontálním řezu panelem 1.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -24 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = R_{se} = 0,125 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplotní gradient uveden ve $\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$)

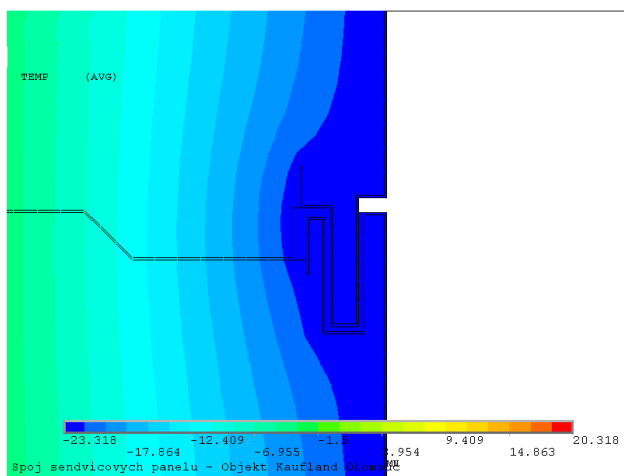


Obr. 10)

Rozložení teplotního pole (TEMP) v detailu spoje.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $\theta_e = -24 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} =$
 $R_{se} = 0,125 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplota uvedena ve $^\circ\text{C}$)



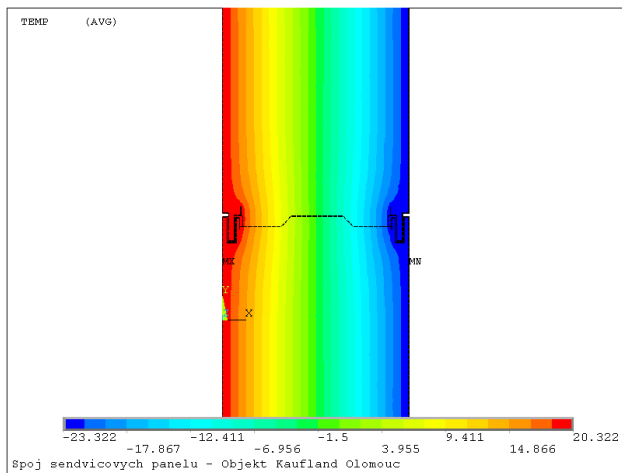
Obr. 11)

Rozložení teplotního pole (TEMP) v detailu spoje.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $\theta_e = -24 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} =$
 $R_{se} = 0,125 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplota je uvedena ve $^\circ\text{C}$)

Panel 2 – polyuretanový panel $\lambda_{PUR} = 0,0232 \text{ W/m.K}$ s využitím těsnicí pěny

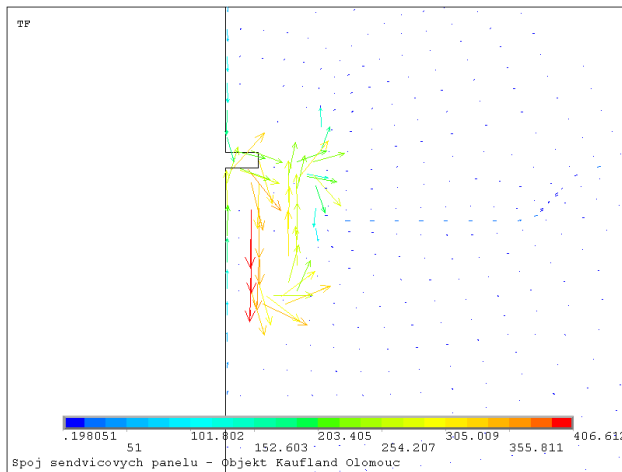


Obr. 12)

Rozložení teplotního pole (TEMP) v horizontálním řezu tvarovkou 2.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplota uvedena ve $^\circ\text{C}$)

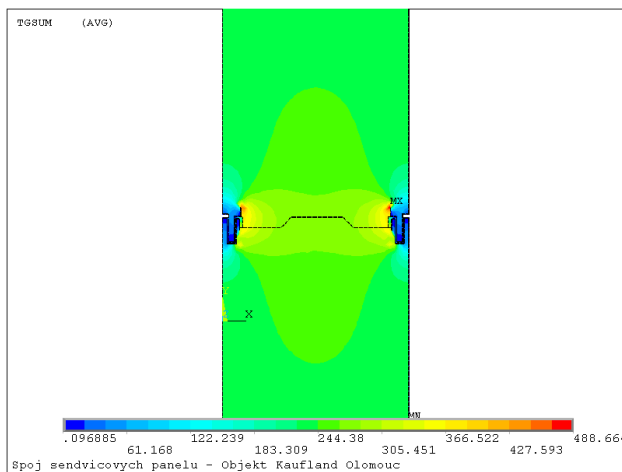


Obr. 13)

Rozložení hustot tepelných toků (TF_SUM) ve spoji panelů.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

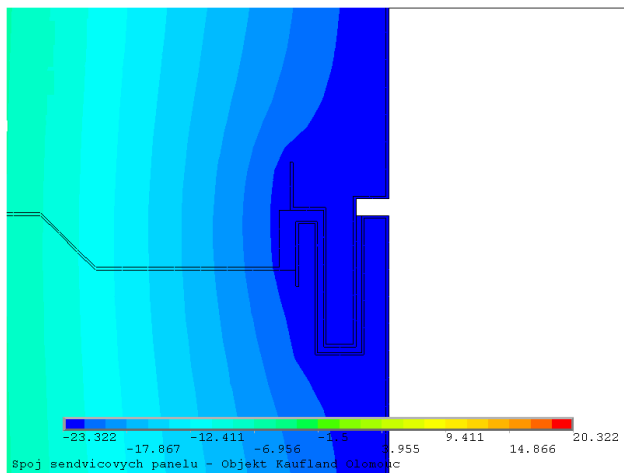
(Hustota tepelného toku uvedena ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)



Obr. 14) Rozložení teplotního gradientu (TGSUM) na horizontálním řezu

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplotní gradient uveden ve $\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$)

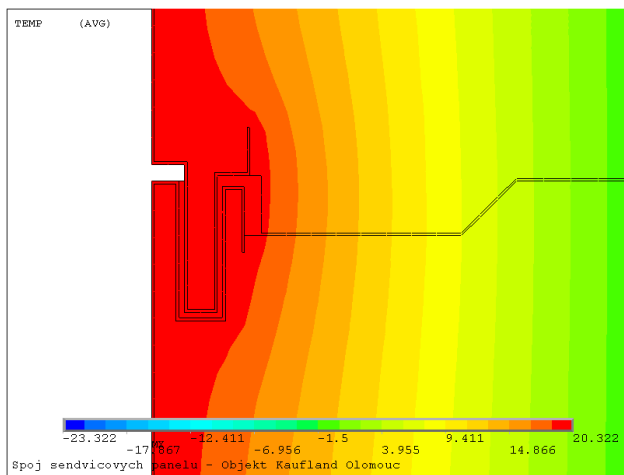


Obr. 15)

Rozložení teplotního pole (TEMP) ve vertikálním řezu tvarovkou 2 při použití tepelně izolační malty.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a
 $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplota uvedena ve $^\circ\text{C}$)



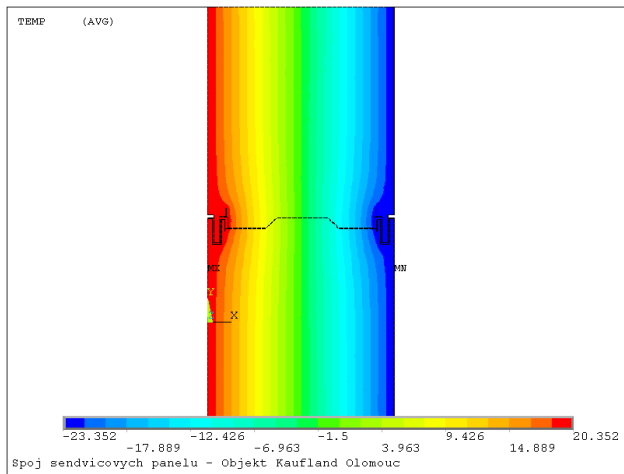
Obr. 16)

Rozložení teplotního pole (TEMP) ve vertikálním řezu tvarovkou 2 při použití standardní zdicí malty bez porézního plniva.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a
 $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplota uvedena ve $^\circ\text{C}$)

Panel 3 – polyuretanový panel $\lambda_{PUR} = 0,0220 \text{ W/m.K}$ se vzduchovou spárkou ve spoji panelů

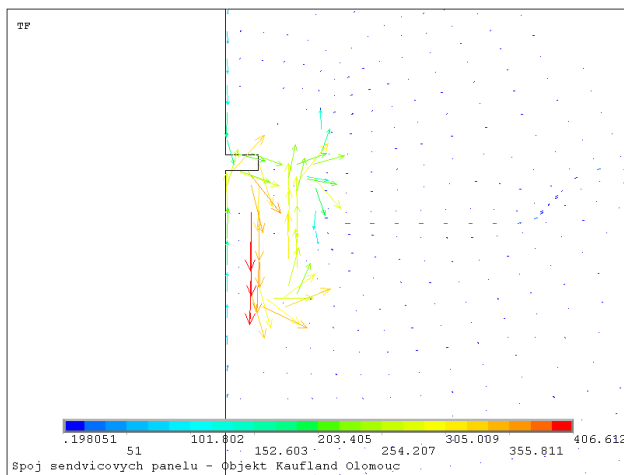


Obr. 17)

Rozložení teplotního pole (TEMP) v horizontálním řezu tvarovkou 3.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplota uvedena ve $^\circ\text{C}$)

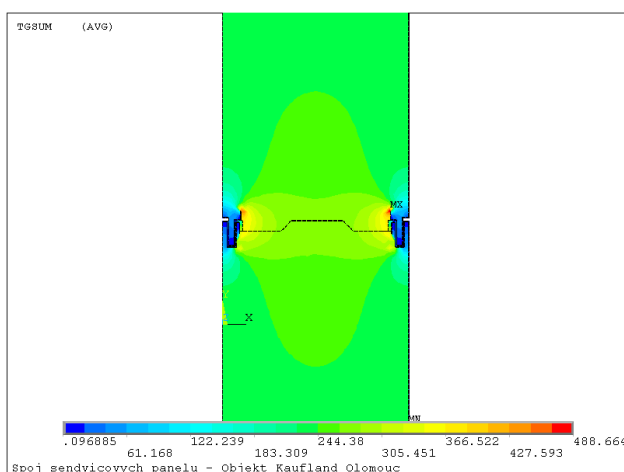


Obr. 18)

Rozložení hustot tepelných toků (TF_SUM) na horizontálním řezu panelem.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

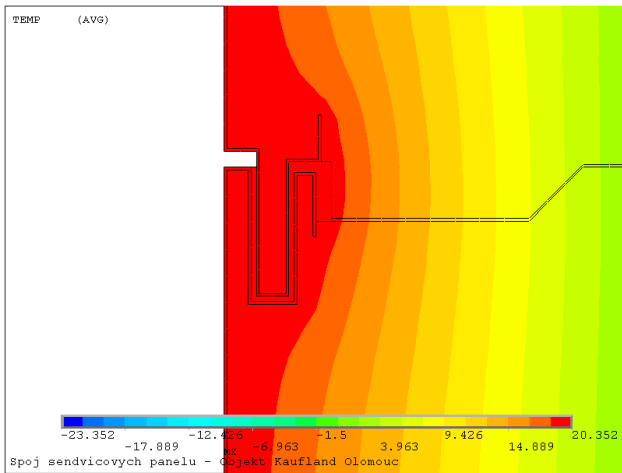
(Hustota tepelného toku uvedena ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)



Obr. 19) Rozložení teplotního gradientu (TGSUM) na horizontálním řezu tvarovkou 3.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplotní gradient uveden ve $\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$)

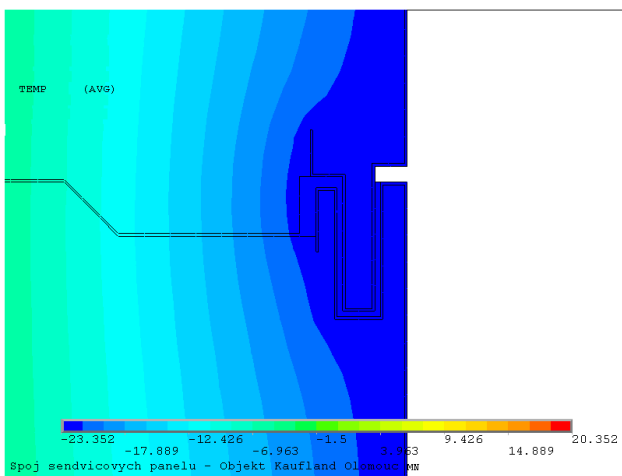


Obr. 20)

Rozložení teplotního pole (TEMP) ve vertikálním řezu tvarovkou 3 při použití tepelně izolační malty.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13$
 $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a
 $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplota uvedena ve $^\circ\text{C}$)



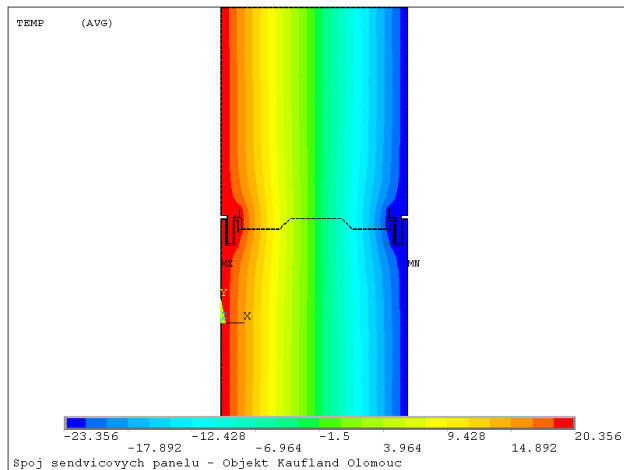
Obr. 21)

Rozložení teplotního pole (TEMP) ve vertikálním řezu tvarovkou 3 při použití standardní zdicí malty bez porézního plniva.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13$
 $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a
 $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplota uvedena ve $^\circ\text{C}$)

Panel 4 – polyuretanový panel $\lambda_{PUR} = 0,0220 \text{ W/m.K}$ s využitím těsnicí pěny

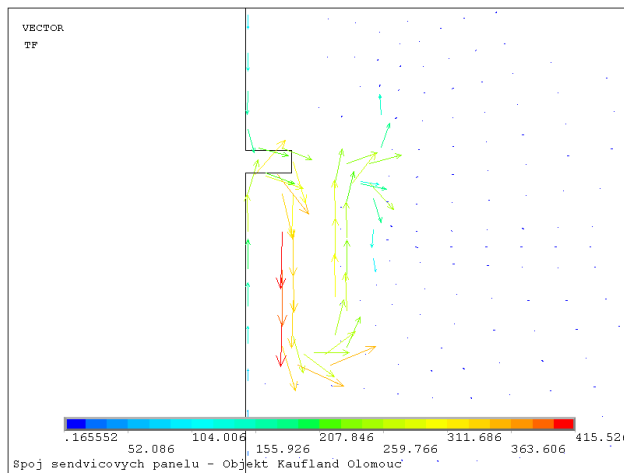


Obr. 12)

Rozložení teplotního pole (TEMP) v horizontálním řezu tvarovkou 2.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplota uvedena ve $^\circ\text{C}$)

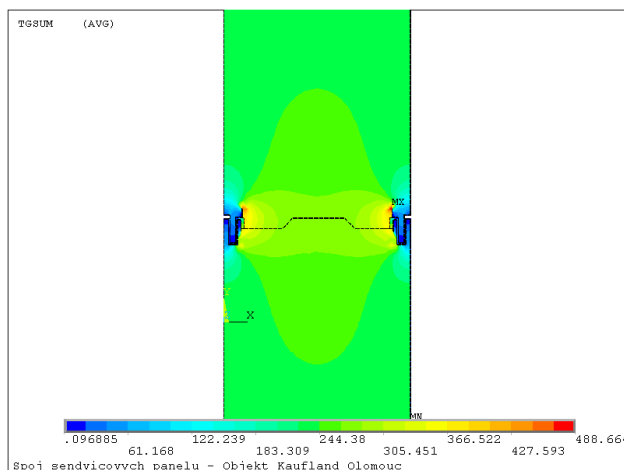


Obr. 13)

Rozložení hustot tepelných toků (TF_SUM) ve spoji panelů.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

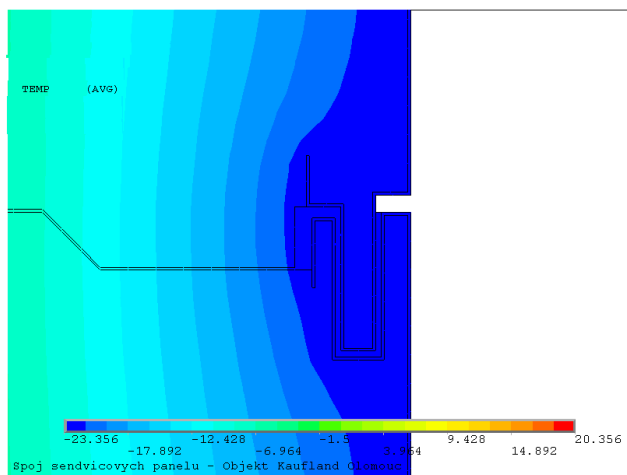
(Hustota tepelného toku uvedena ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)



Obr. 14) Rozložení teplotního gradientu (TGSUM) na horizontálním řezu

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

(Teplotní gradient uveden ve $\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$)

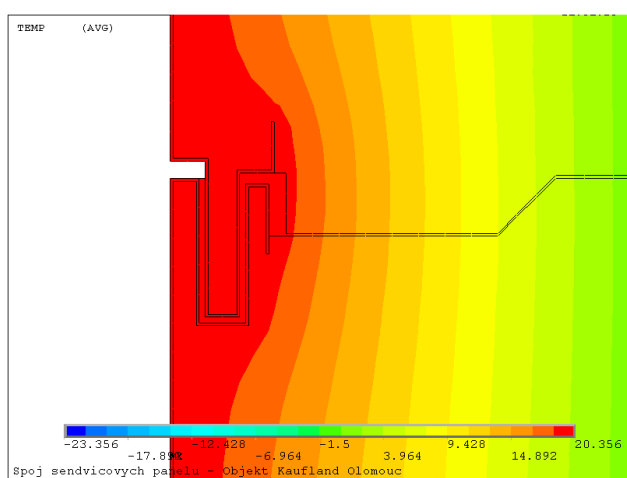


Obr. 15)

Rozložení teplotního pole (TEMP) ve vertikálním řezu tvarovkou 2 při použití tepelně izolační malty.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
 $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) a

(Teplota uvedena ve $^\circ\text{C}$)



Obr. 16)

Rozložení teplotního pole (TEMP) ve vertikálním řezu tvarovkou 2 při použití standardní zdicí malty bez porézního plniva.

(při teplotním spádu $\theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ za přestupových podmínek $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
 $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) a

(Teplota uvedena ve $^\circ\text{C}$)

6.7.3 Přehled poznatků z tepelného modelování PUR panelů

Výpočtem stanovené tepelné odpory sendvičových panelů jsou shrnuty v tabulce 3:

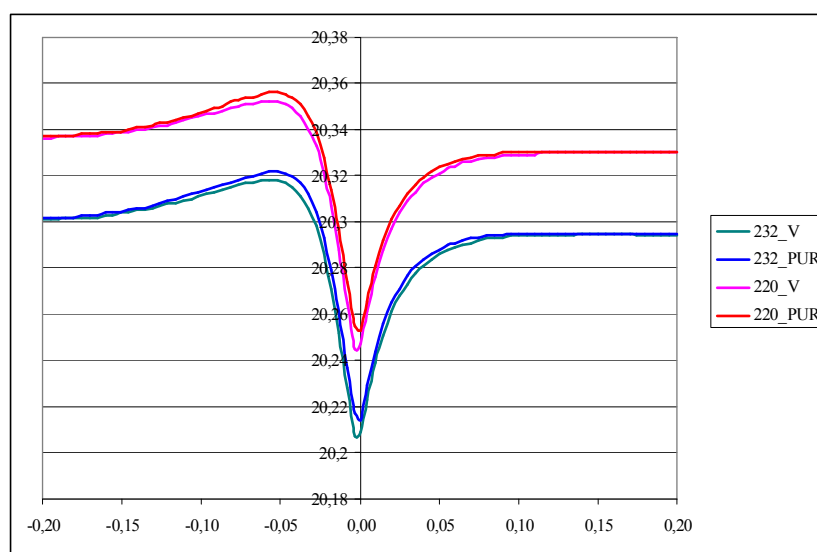
Tab. 3) Přehled hodnot tepelných odporů PUR panelů zjištěných výpočtem metodikou ČSN 73 0540

označení	Materiál spáry	R_t [m ² .K.W ⁻¹]	λ_{eq} [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
Panel 1	Vzduch	7,71	0,0232
Panel 2	PUR	7,73	0,0232
Panel 3	Vzduch	8,12	0,022
Panel 4	PUR	8,15	0,022

kde značí :

- R_t tepelný odpor vlastního panelu ve vysušeném stavu v podélném směru,
 λ_{eq} ekvivalentní hodnota součinitel tepelné vodivosti bloku.

Na základě výsledku modelování teplotních polí na principu plošného tepelného vedení v okolí spoje sendvičových panelů byly zjištěny teplotní průběhy, které jsou vyobrazeny na následujícím obrázku pro jednotlivé výpočtové případy.



Obr. XX:
Vyobrazení
průběhů
povrchových teplot
v oblasti spoje
sendvičových
panelů

Je patrné, že teploty v místě spoje panelů se projeví snížením povrchové teploty. Míra snížení povrchové teploty, resp. teplotní rozdíl, závisí na hodnotě součinitele tepelné vodivosti pěnového polyuretanu výplně sendvičového panelu a materiálu výplně spáry. Označení „232“ platí pro pěnový polyuretan s experimentálně zjištěnou hodnotou součinitele tepelné vodivosti 0,0232 W/m.K, „220“ platí pro pěnový polyuretan podle deklarace polského výrobce s hodnotou součinitele tepelné vodivosti 0,0220 W/m.K. Označení „V“ platí pro výplň dělicí spáry vzduchem, „PUR“ pro montážní pěnový polyuretan při utěšňování spár.

Vzhledem k téměř absolutní shodě hodnot součinitele tepelné vodivosti lze při střední teplotě panelu v rozmezí okolo 0 °C očekávat výsledný tepelný odpor vyšší než je uvedena hodnota v řádku 3 a 4 tabulky 4.

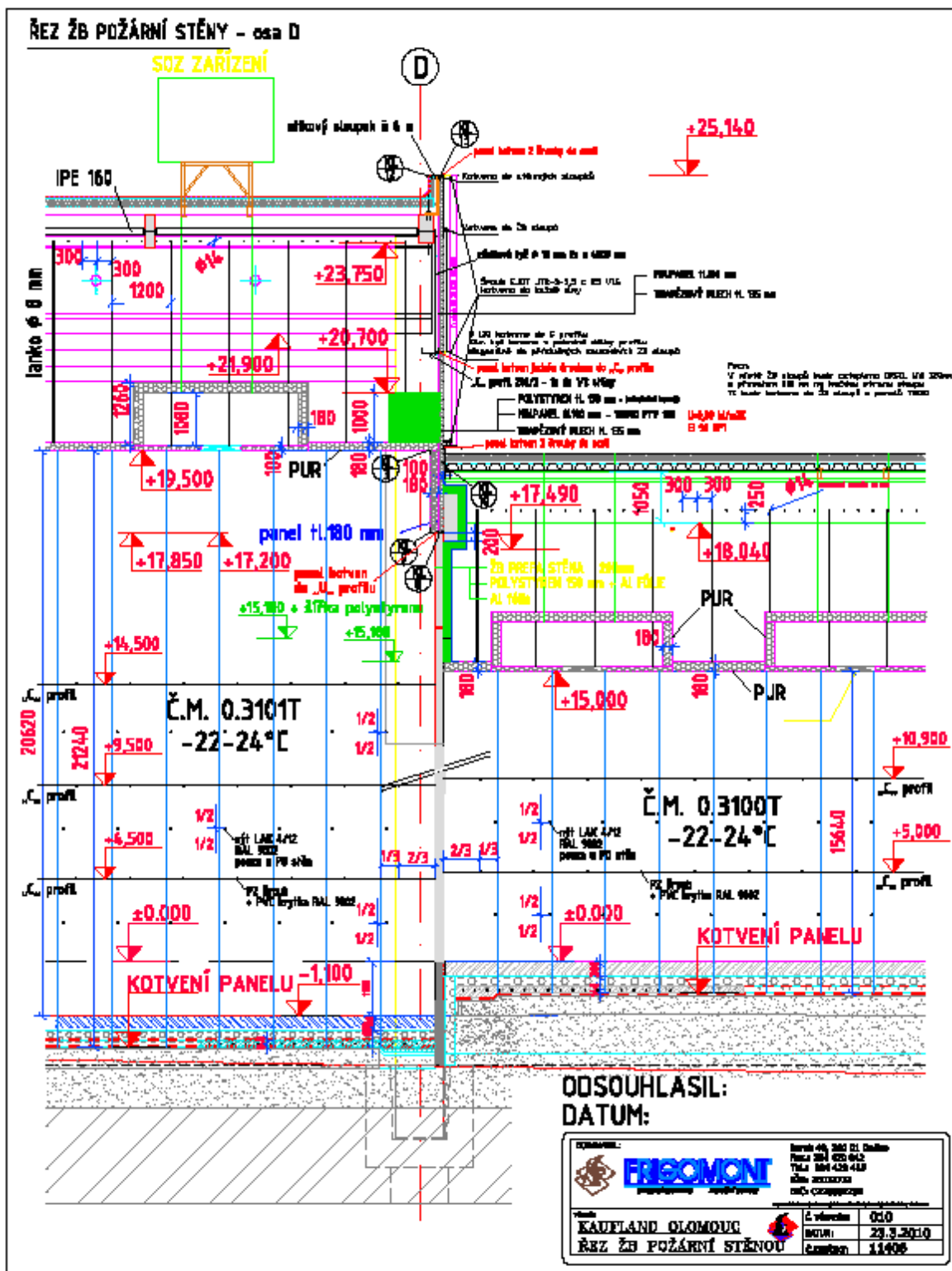
7 Simulace vybraných teplotních polí v objektu mrazírny

Na rozdíl od předešlých výpočtů se v tomto případě jedná o 3D model teplotního pole v problémové části objektu projektované mrazírny. V tomto uspořádání sehraává významnou roli betonový sloup o příčném rozměru 1000 x 1000 mm, který prochází jak mrazírenskou komorou s vnitřní teplotou nižší než -20 °C, tak venkovním prostředím o maximální teplotě v letním období (výpočtová teplota +35 °C). Z konstrukčního hlediska se jedná o kritický spoj nosné železobetonové konstrukce objektu mrazírny se stěnovým panelem pláště, k němuž je připojena stropní konstrukce nosníku s kompresorovou strojnou.

Uspořádání je znázorněno ve výkresu projektové dokumentace, který je uvedena na obrázku XX dále.

Pro simulační výpočty bylo využito výpočtového systému ANSYS, který využívá po řešení Fourierovy rovnice vedení tepla výpočtového principu metody konečných prvků (popis výpočtové metody a numerická diskretizace výpočtové oblasti se vymyká možnostem bližšího popisu v této práci, čtenář je v této části odkazován na *Theoretical Manual ANSYS*).

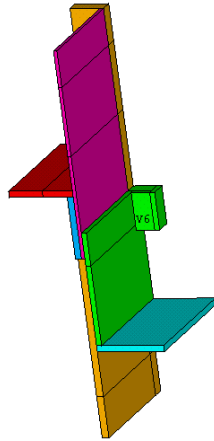
Detail osy D tohoto objektu je dále modelován s využitím Fourierovy diferenciální rovnice (1), dále vztahů (3) a (4), jak je uvedeno v předešlé kapitole v práci.



Obr. Výkres dělicí stěny projektu

Výsledky modelování jsou dokumentovány grafickými modely:

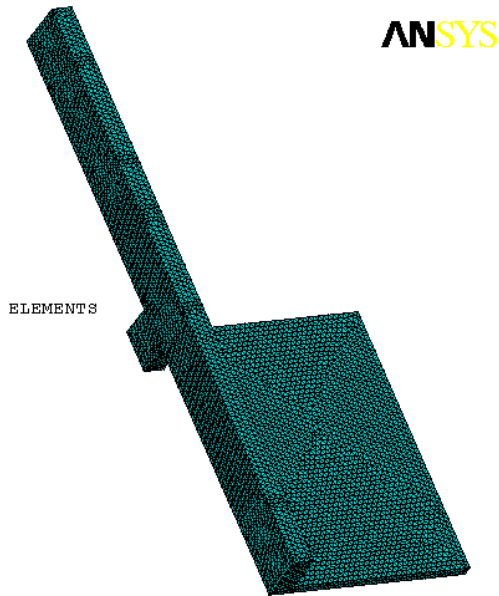
1
VOLUMES
VOLU NUM



ANSYS

Obr. x.1: Konstrukční
uspořádání řešené
konstrukce

Puvodni usporadani detailu sloupu

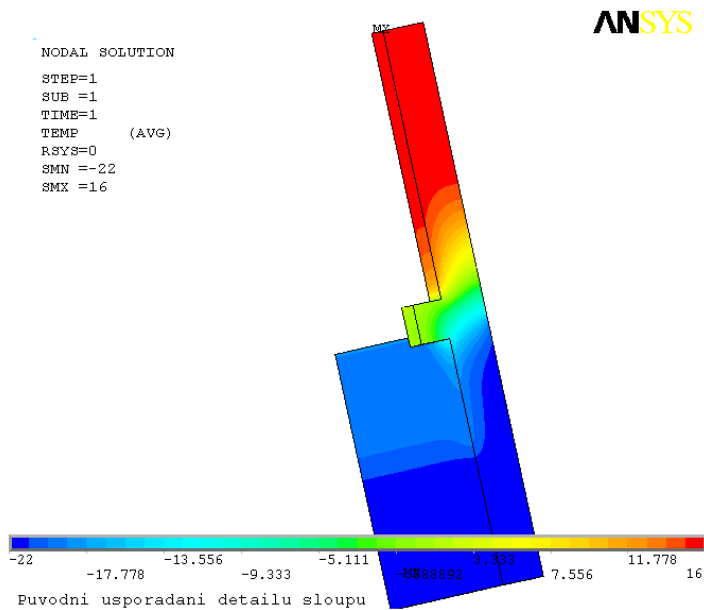


ANSYS

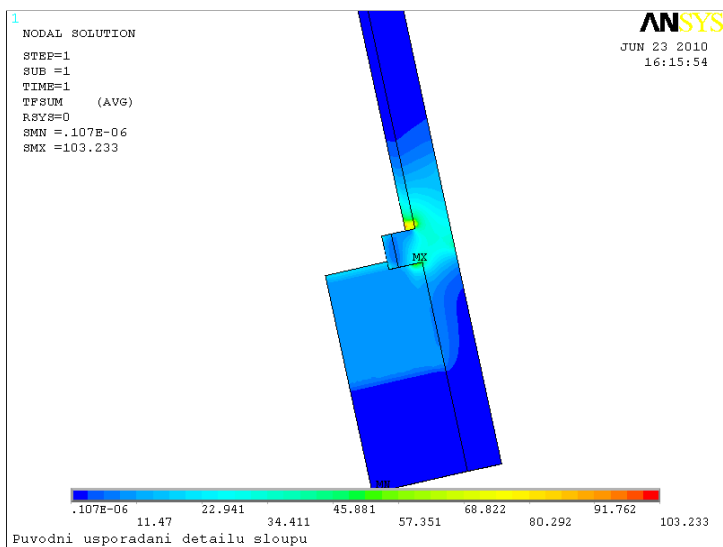
ELEMENTS

Obr. x.2: Geometrické
uspořádání řešené
konstrukce

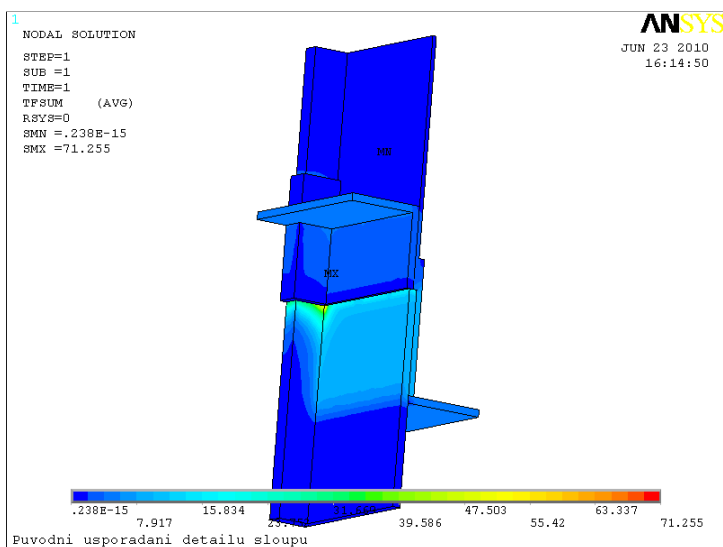
Puvodni usporadani detailu sloupu



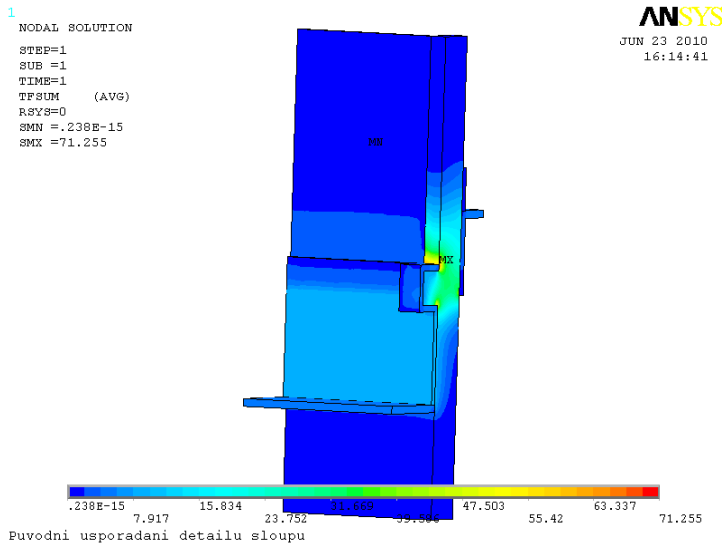
Obr. x.3: Rozložení teplotního pole v řešené konstrukci



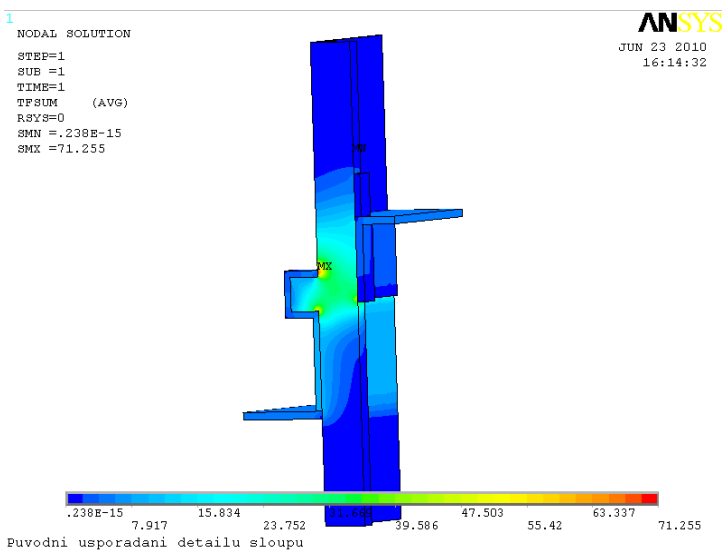
Obr. x.4: Rozložení tepelných toků v řešené konstrukci (vnější orientace)



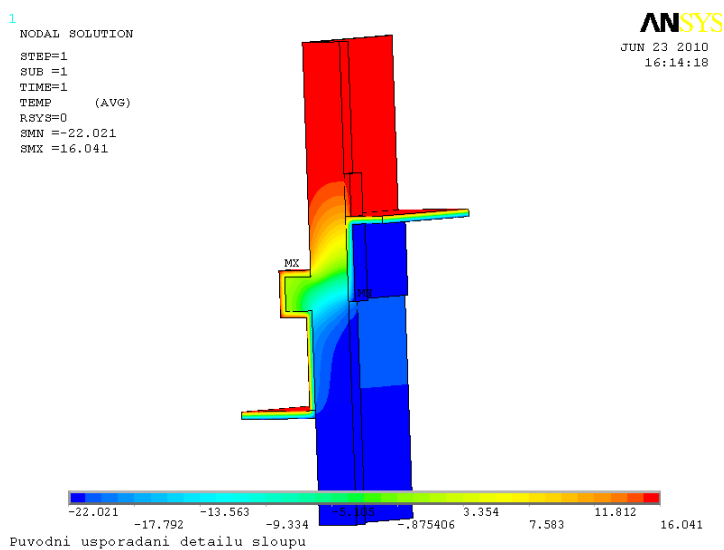
Obr. x.5: Rozložení tepelných toků v řešené konstrukci (vnitřní orientace)



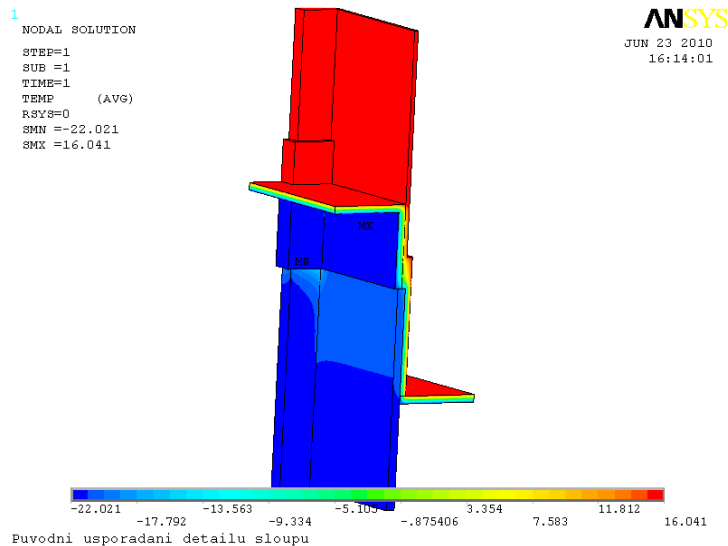
Obr. x.6: Rozložení tepelných toků v řešené konstrukci (vnitřní orientace)



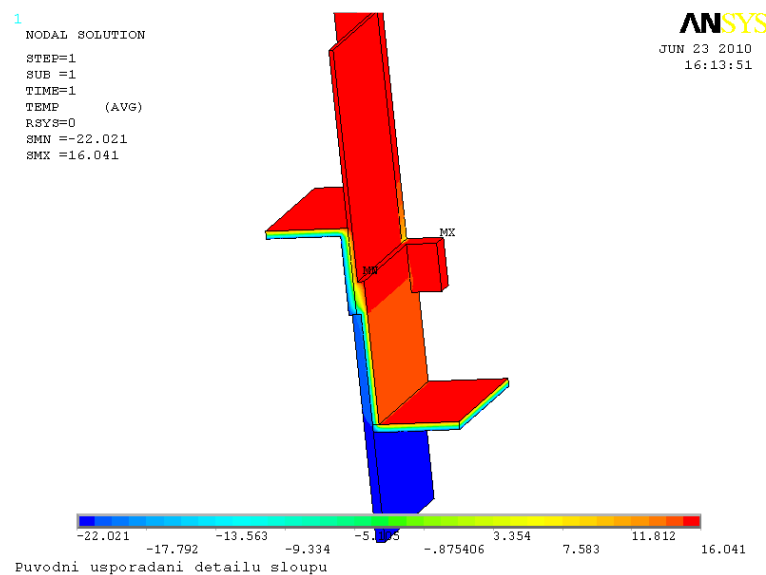
Obr. x.7: Rozložení tepelných toků v řešené konstrukci (vnitřní orientace)



Obr. x.8: Rozložení teplotního pole řešené konstrukce s přidavnou tepelnou izolací (vnější orientace)



Obr. x.9: Rozložení
teplotního pole
řešené konstrukce
s přidavnou
tepelnou izolací
(vnitřní orientace)



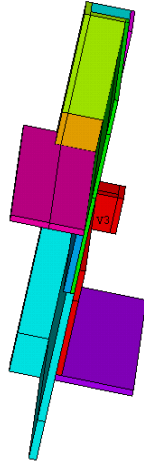
Obr. x.10:
Rozložení
teplotního pole
řešené konstrukce
s přidavnou
tepelnou izolací
(vnější orientace)

Na základě výpočtových poznatků o modelu a jeho vlastnostech byl vytvořen návrh s příznivější izolační schopností. Konkrétně se jednalo o aplikaci kombinace tepelné izolace z pěnového polyuretanu a pěnového polystyrénu. V daném případě se jednalo o ověření situace konstrukčního uspořádání tepelných izolací na konstrukcích připojených k železobetonovému sloupu procházejícího z mrazicí komory do podstřešního prostoru jednak pro minimalizaci tepelných ztrát, také pro zabránění povrchové kondenzace na chladných površích nosné konstrukce.

Detailní schéma je patrné z následujících obrázků:

1
VOLUMES
VOLU NUM

ANSYS
JUN 23 2010
16:57:38

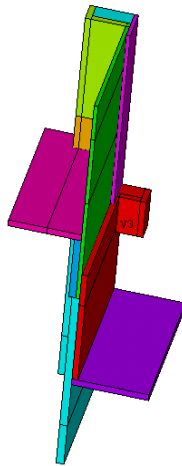


Uprava detailu vnejsi prilozkou a vnitřni bandazi po cele vysce sloupu

Obr. x.11: Geometrické uspořádání detailu řešené konstrukce po úpravě příložnou tepelnou izolací bandážováním
Vnitřní povrch

1
VOLUMES
VOLU NUM

ANSYS
JUN 23 2010
16:58:08

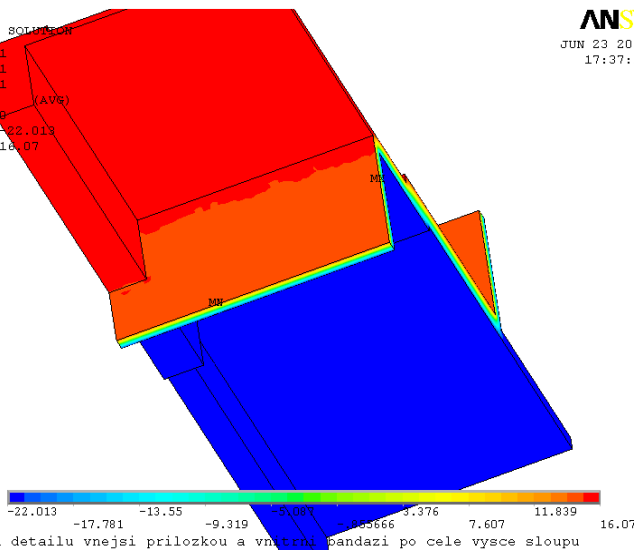


Uprava detailu vnejsi prilozkou a vnitřni bandazi po cele vysce sloupu

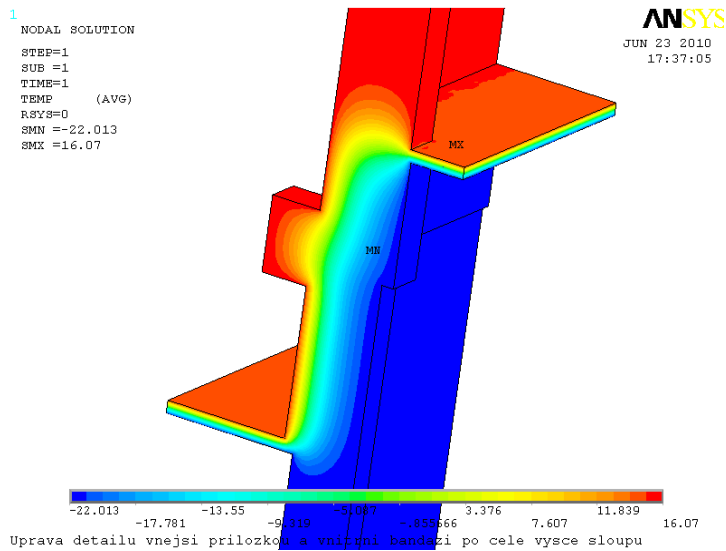
Obr. x.12: Geometrické uspořádání detailu řešené konstrukce po úpravě příložnou tepelnou izolací bandážováním
Vnější povrch

1
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
TEMP (AVE)
R5Y8=8
SMN =-22.013
SMX =16.07

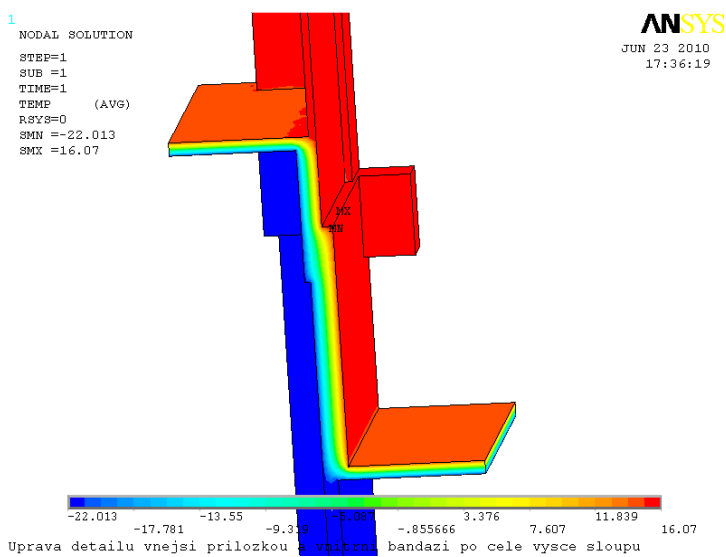
ANSYS
JUN 23 2010
17:37:12



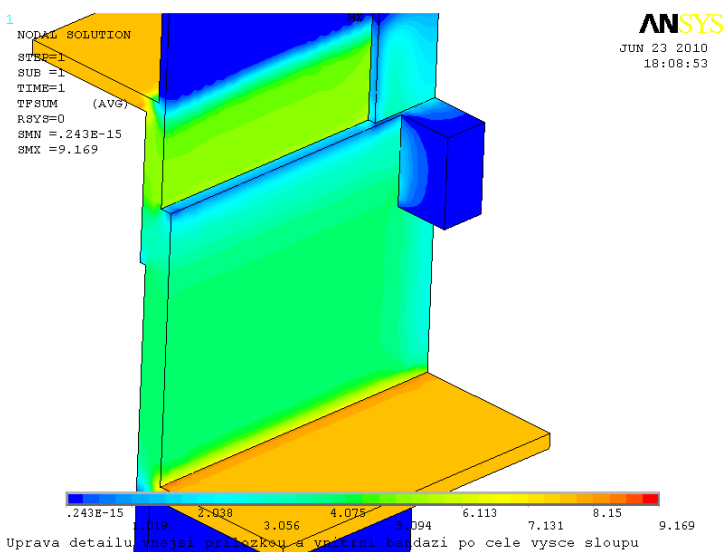
Obr. x.13: Rozložení teplotního pole v detailu řešené konstrukce po úpravě příložnou tepelnou izolací bandážováním
Vnější povrch



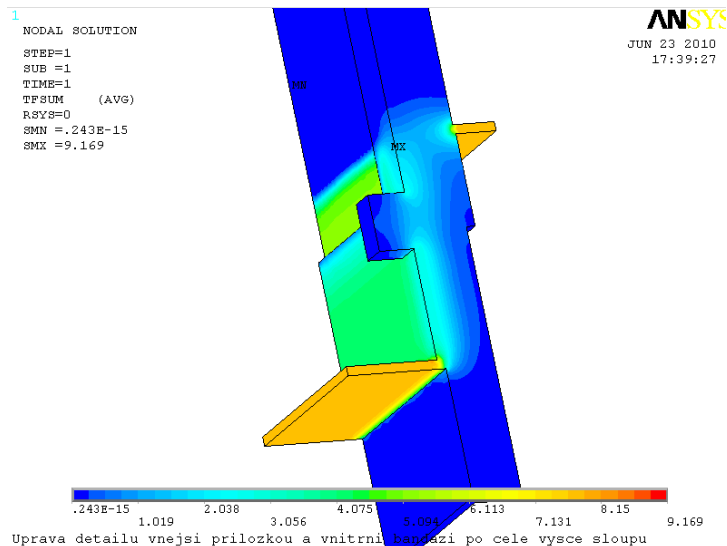
Obr. x.14: Rozložení teplotního pole v průřezu sloupu řešené konstrukce po úpravě příložnou tepelnou izolací bandážováním Vnitřní povrch



Obr. x.15: Rozložení teplotního pole v průřezu sloupu řešené konstrukce po úpravě příložnou tepelnou izolací bandážováním Vnitřní povrch



Obr. x.16: Rozložení tepelných toků v řešené konstrukce po úpravě příložnou tepelnou izolací bandážováním Vnitřní povrch



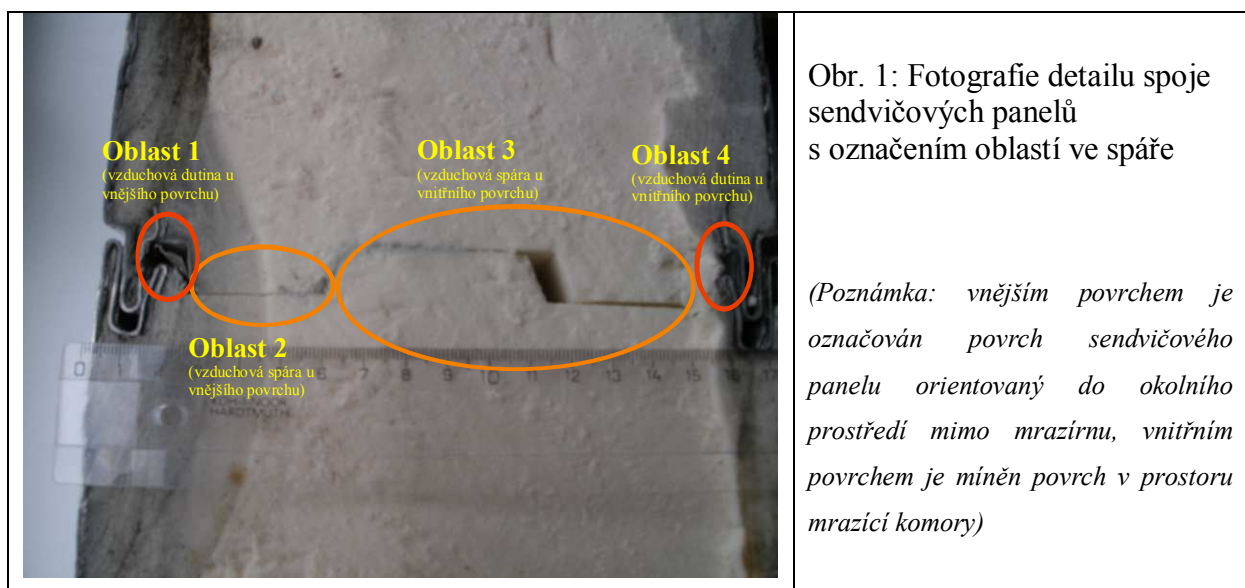
Obr. x.17: Rozložení tepelných toků řešené konstrukce na řezu železobetonovým sloupem po úpravě příložnou tepelnou izolací bandážováním

Při změně návrhu izolace v konstrukčním detailu poklesly součtové hodnoty tepelného toku tak, že z původního rozmezí 20–50 W/m² poklesly hodnoty na 15–17 W/m². Při integraci přes řešenou plochu a při vyčíslení energetických ztrát během ročního provozu objektu jsme došli k orientační částce na energii.

7.1 Vliv vlhkosti v obvodovém plášti mrazírny

7.1.1 Sestavení výpočtového modelu sendvičového panelu

Systém vnitřního uspořádání labyrintového uzávěru sendvičových panelů je fotograficky dokumentován na obrázku 1. V obrázku jsou rovněž schematicky znázorněny oblasti kontaktní spáry s označením dílčích oblastí, které byly modelovány s vyplněním, resp. utěsněním PUR pěnou, případně tmelem.



Obr. 1: Fotografie detailu spoje sendvičových panelů s označením oblastí ve spáře

(Poznámka: vnějším povrchem je označován povrch sendvičového panelu orientovaný do okolního prostředí mimo mrazírnu, vnitřním povrchem je míněn povrch v prostoru mrazicí komory)

7.1.2 Modelování teplotních polí a průběhu parciálních tlaků vodní páry v panelech

Pro stanovení teplotního rozložení i rozložení parciálních tlaků vodní páry bylo použito předpokladu dvojrozměrného šíření tepla ve stacionárním stavu. Pro popis tepelného šíření i šíření vodní páry difuzí platí Fourieova diferenciální rovnice ve tvaru:

$$\lambda_x \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = 0 \quad (1),$$

$$\delta_x \frac{\partial^2 p_d}{\partial x^2} + \delta_y \frac{\partial^2 p_d}{\partial y^2} = 0 \quad (2),$$

$$\varphi = \frac{p_d}{p_{d,\theta}''} \quad (3)$$

Parciální tlak vodní páry byl stanoven podle zadaných relativních vlhkostí obou prostředí. Průběhy izolinií relativních vlhkostí byly stanoveny porovnáním parciálních tlaků vodní páry s hodnotou parciálního tlaku nasycené vodní páry pro zadanou teplotu. K tomuto účelu bylo využito aproximačního vztahu, které popisuje velmi těsně tabulkové hodnoty, a to ve tvaru

$$p_{d,\theta}'' = e^{\left(\frac{a \cdot \theta + b}{c + \theta}\right)}, \text{ kde } \theta \text{ je teplota a symboly } a, b \text{ a } c \text{ tvoří individuální konstanty.}$$

Podstatou metody pro stanovení rozložení teplotního pole ve 2D rozměru je ustálený tepelný stav teplotního pole diskretizované sítě plošných elementů na Eulerově metodě.

Metoda stanovení teplotního pole pomocí numerických výpočtů je uvedena v normě ČSN 73 0540-2. K tomu jsou předepsány výpočtové hodnoty součinitelů tepelných vodivostí materiálů zúčastněných v posuzovaném stavebním fragmentu včetně okrajových přestupových a teplotních hodnot.

Tab. 1: Přehled fyzikálních vlastností materiálů použitých pro numerické modelování

materiál	součinitel tepelné vodivosti λ (W/m.K)	faktor difuzního odporu μ (-)	součinitel difuzní vodivosti δ ($\cdot 10^{-9}$ s)
ocelový plech	58	∞	0
Vzduch	0,026	1,00	0,18284
Pěnový polyuretan	0,021	42	0,004353
PUR (tzv. pistolová pěna)	0,028	45	0,004063

Výpočtové stanovení izolinií relativních vlhkostí z vypočtených teplot a parciálních tlaků vodní páry, ve kterých lze lokalizovat oblasti vnitřní saturace vlhkosti s kondenzací.

7.1.3 Okrajové podmínky teplotních a vlhkostních výpočtů

a) Pro výpočty teplotního pole bylo použito následujících okrajových výpočtových podmínek:

Teplota vzduchu vnějšího prostředí $\theta_{ai} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$

Teplota vzduchu vnitřního prostředí $\theta_e = -24 \text{ }^\circ\text{C}$

Přestupový tepelný odpor na vnitřním povrchu $R_{si} = 0,125 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

Přestupový tepelný odpor na vnějším povrchu $R_{se} = 0,125 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

b) Pro výpočty rozložení parciálních tlaků vodní páry bylo použito výpočtových podmínek:

Relativní vlhkost vzduchu vnějšího prostředí $\varphi_{ae} = 50 \text{ } \%$ (parciální tlak vodní páry $p_{de} = 1470 \text{ Pa}$)

Relativní vlhkost vzduchu v prostředí mrazírny $\varphi_{ai} = 100 \text{ } \%$ (parciální tlak vodní páry $p_{di} = 70 \text{ Pa}$)

Přestupový odpor pro vodní páru na vnějším povrchu $R_{de} = 0,05 \cdot 10^9 \text{ m/s}$

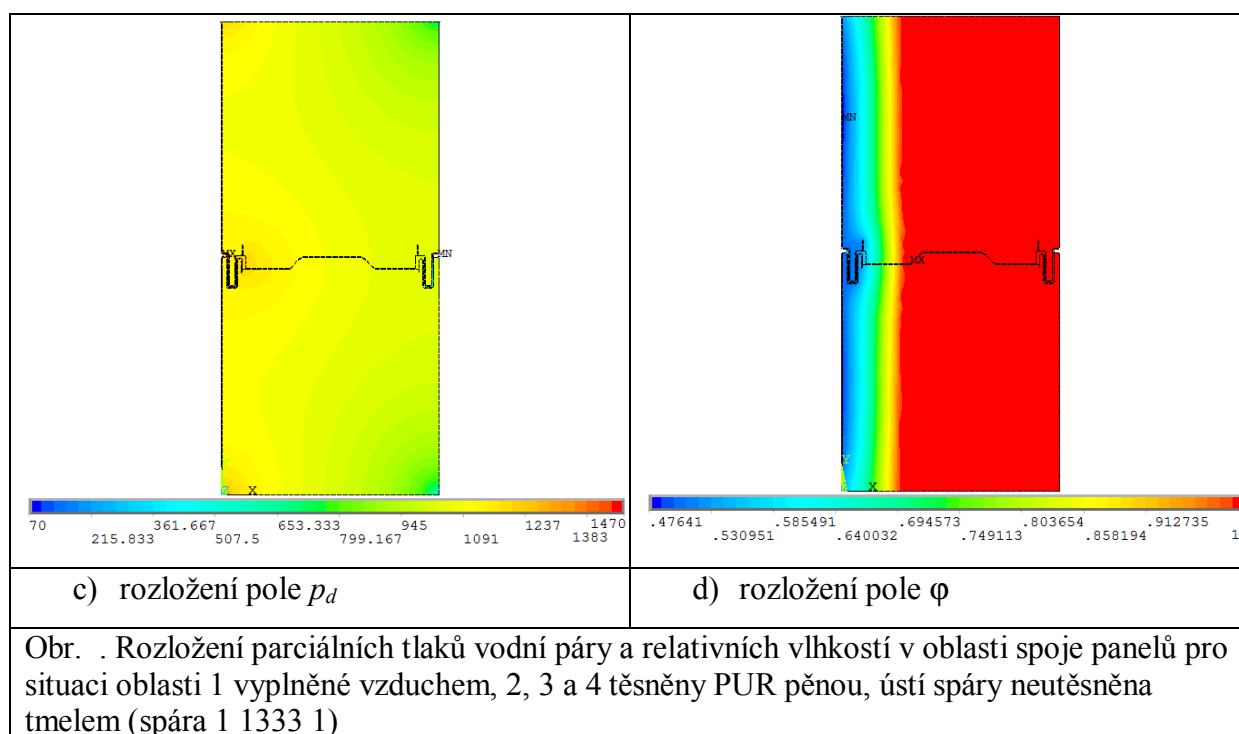
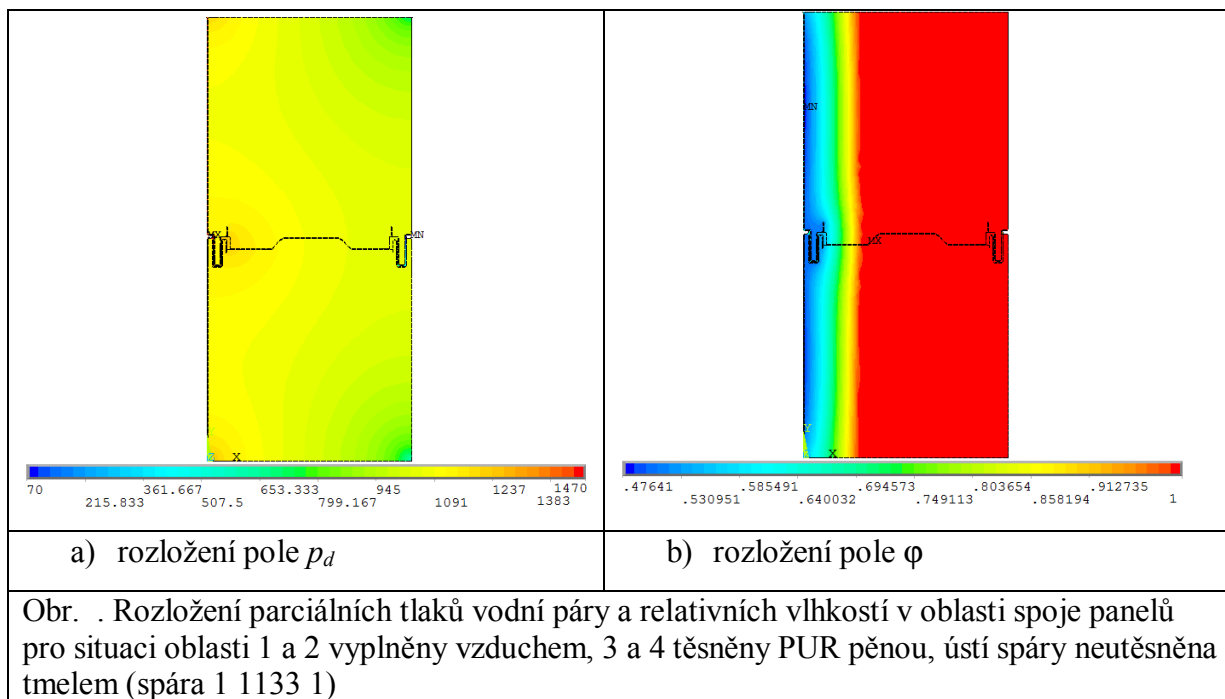
Přestupový odpor pro vodní páru na vnitřním povrchu $R_{di} = 0,1 \cdot 10^9 \text{ m/s}$ (v prostoru mrazírny).

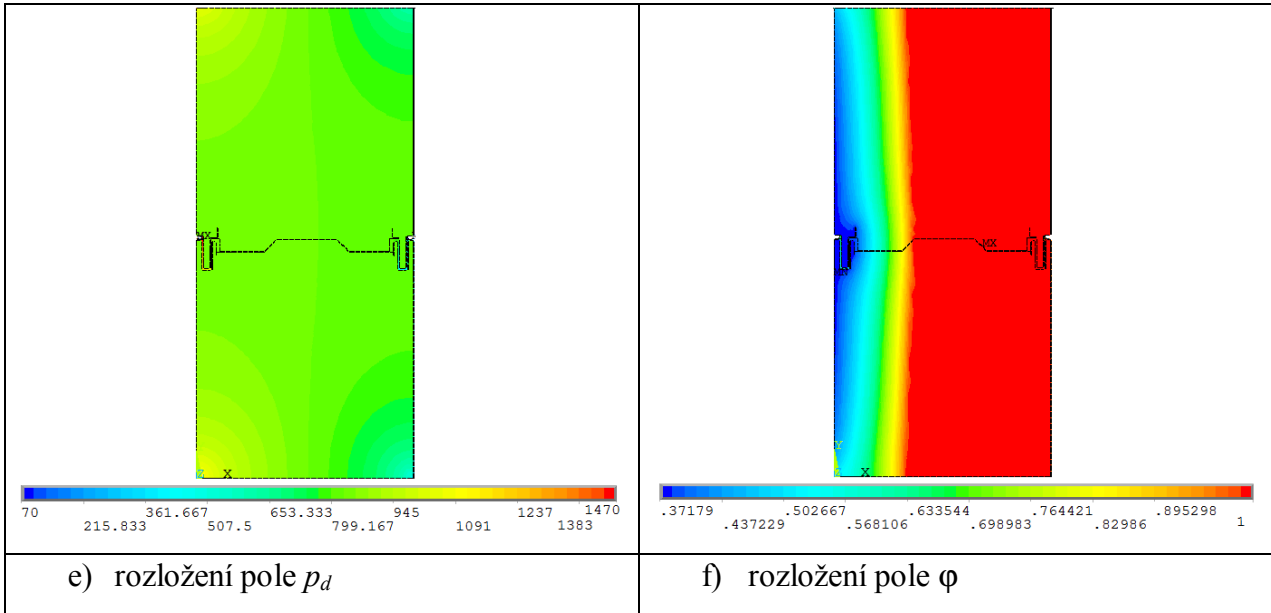
7.1.4 Rozložení teplotních polí a tepelných toků panelem

Způsob utěsnění spáry mezi sendvičovými panely o šíři 1 mm velmi citlivě ovlivňuje relativní vlhkost vzduchu φ v pórech tepelněizolačního materiálu. Podle charakteristiky sorpční rovnovážné vlhkosti lze dále odvodit vlhkostní úroveň materiálu, které úzce souvisí s hodnotou součinitele tepelné vodivosti tepelněizolačního materiálu. V důsledku platí, že lze vysokých tepelných odporů sendvičových panelů dosahovat jen se suchými tepelněizolačními materiály.

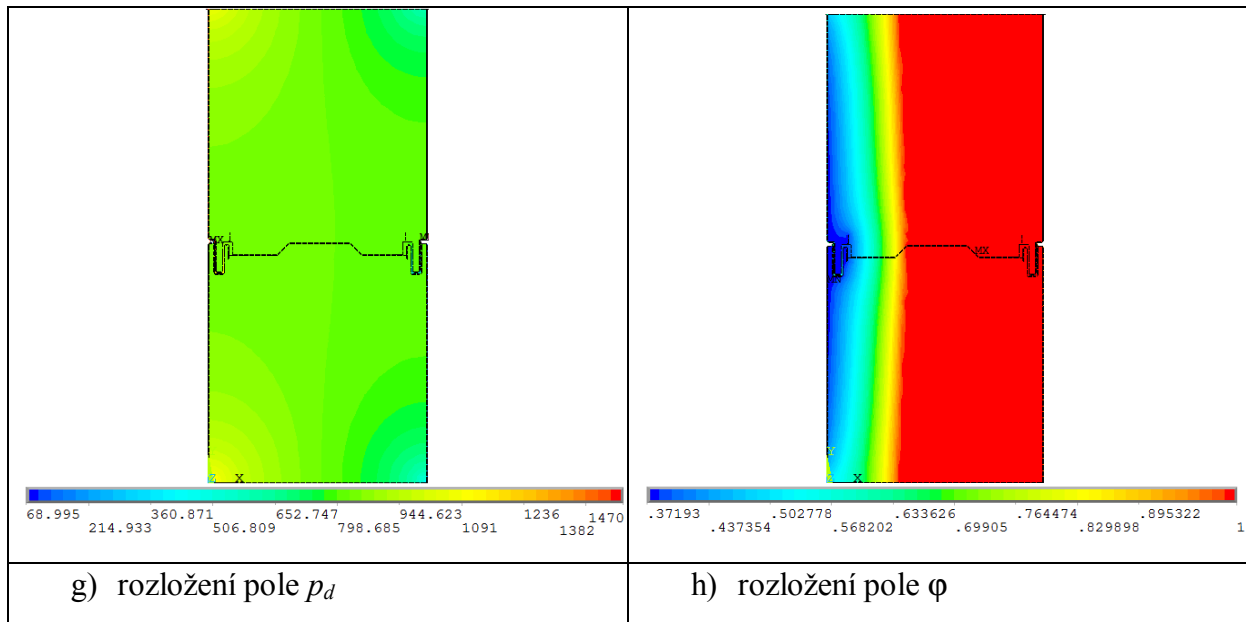
Podle rozložení teplot a parciálních tlaků vodní páry byly v uzlových bodech výpočtové oblasti řešené úlohy dopočteny relativní vlhkosti pórového vzduchu. Intenzitu vnitřní kondenzace vlhkosti lze odvodit z rozdílu hustot difuzního toku vstupující do spáry mezi panely a vystupujícího do vnitřního prostředí.

V tomto případě jde o prokázání způsobu utěsnění spáry mezi sendvičovými panely tak, aby bylo dosaženo nízké relativní vlhkosti vzduchu v tepelněizolačním materiálu.

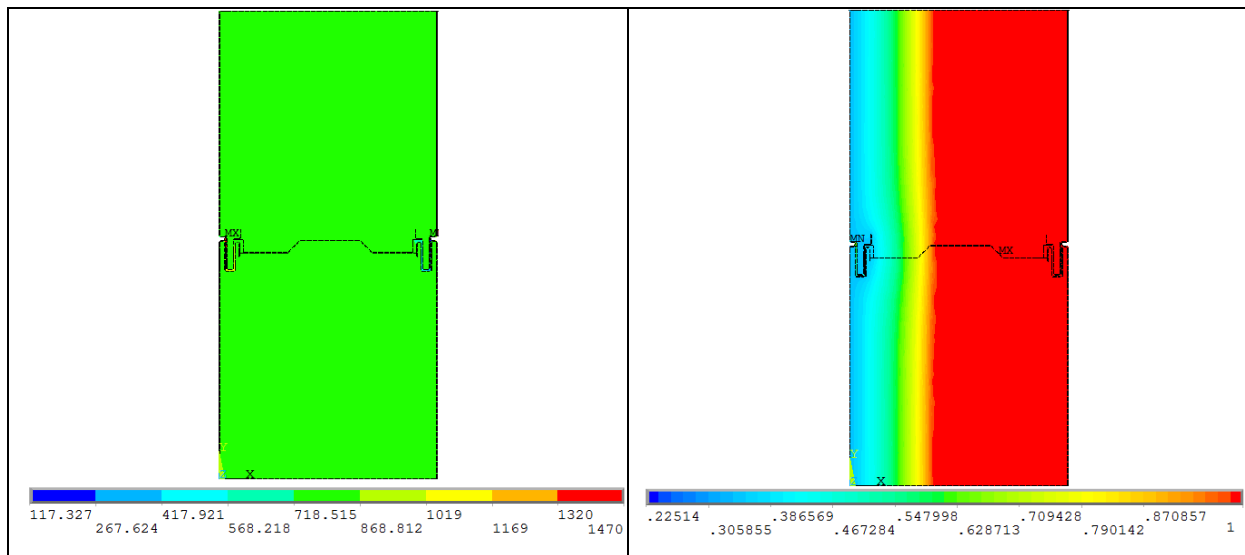




Obr. . Rozložení partiálních tlaků vodní páry a relativních vlhkostí v oblasti spoje panelů pro situaci oblasti 1, 2, 3 a 4 těsněny PUR pěnou, obě ústí spáry neutěsněna tmelem (spára 1 3333 1)



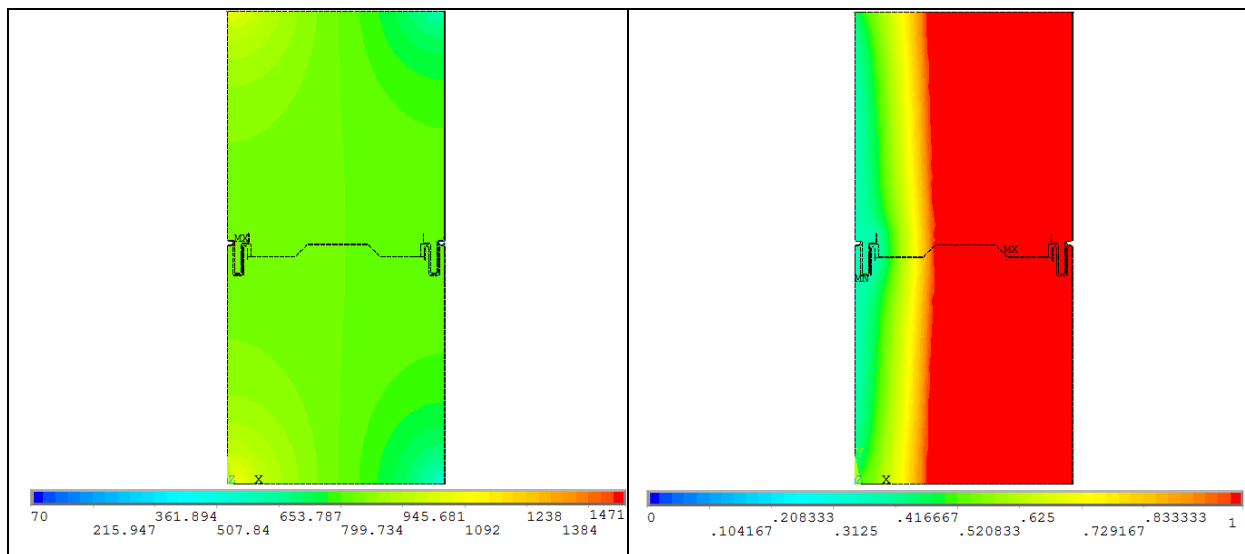
Obr. . Rozložení partiálních tlaků vodní páry a relativních vlhkostí v oblasti spoje panelů pro situaci oblasti 1, 2, 3, 4 a 5 utěsněny PUR pěnou, vnitřní ústí spáry utěsněno tmelem, vnější ústí spáry bez utěsnění tmelem (spára 1 3333 5)



i) rozložení pole p_d

j) rozložení pole ϕ

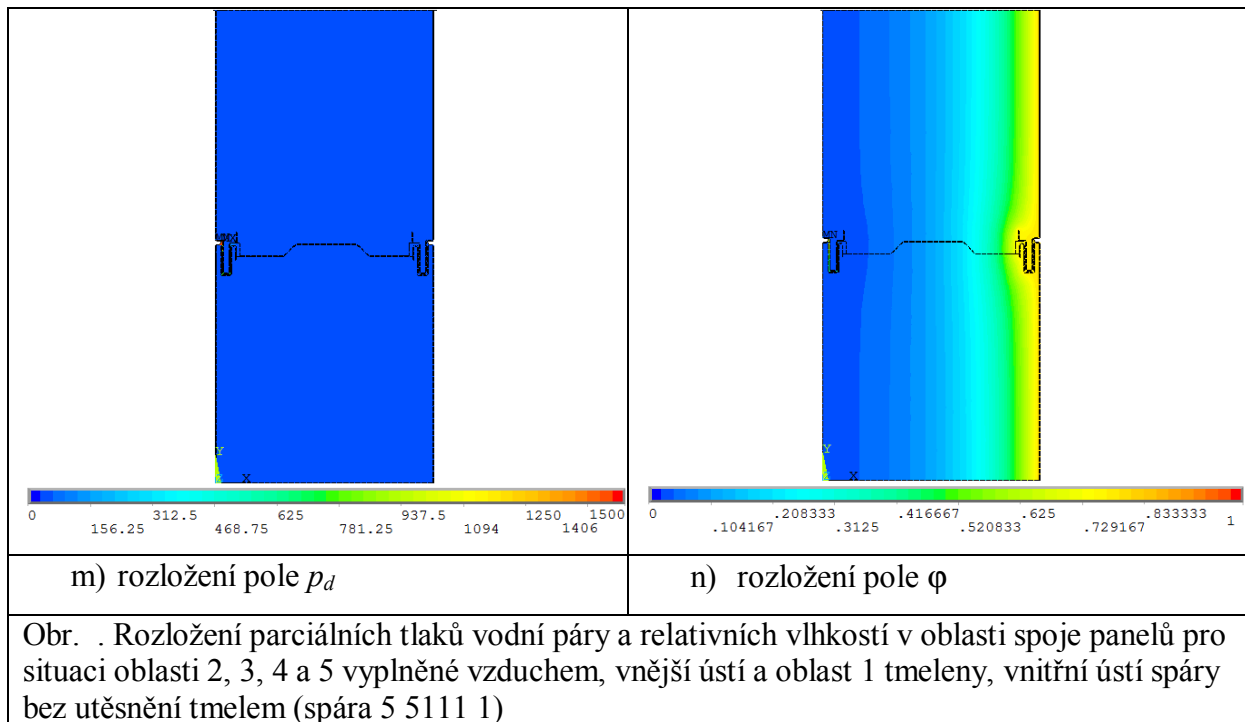
Obr. . Rozložení parciálních tlaků vodní páry a relativních vlhkostí v oblasti spoje panelů pro situaci oblasti 1, 2, 3, 4 a 5 vyplněny vzduchem, vnější ústí tmeleno, vnitřní ústí spáry bez utěsnění tmelem (spára 5 1111 1)



k) rozložení pole p_d

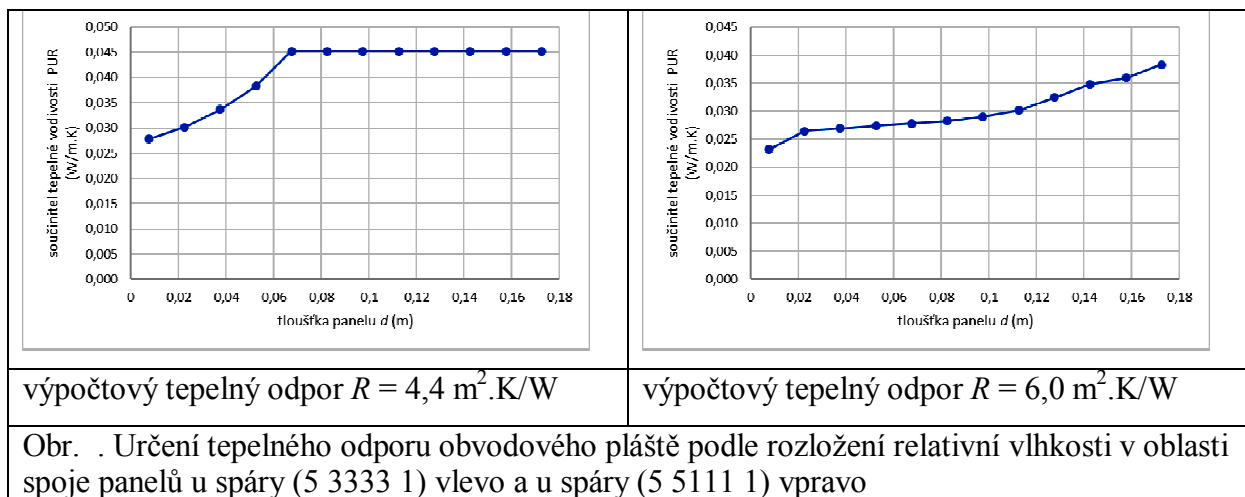
l) rozložení pole ϕ

Obr. . Rozložení parciálních tlaků vodní páry a relativních vlhkostí v oblasti spoje panelů pro situaci oblasti 1, 2, 3, 4 a 5 lepeny PUR pěnou, vnější ústí tmeleno, vnitřní ústí spáry bez utěsnění tmelem (spára 5 3333 1)



Porovnáním grafických průběhů izoliní relativních vlhkostí jednotlivých výpočtových případů, které jsou uvedeny na obrázcích č. 2 až 8 vyplývá, že ve všech případech nastává vnitřní saturace materiálu tepelné izolace difundující vodní párou. Vzhledem k tomu, že vodní pára z okolního prostředí proniká pouze spárou mezi jednotlivými sendvičovými panely do polyuretanové tepelné izolace sendvičových panelů, oblast utěsnění spoje je pro funkčnost izolace klíčová.

Aproximací hodnot součinitele tepelné vodivosti PUR přes vypočtené úrovně relativní vlhkosti, odtud dále projekcí hodnot do vlhkostního obsahu, lze v ustáleném stavu výpočtově určit tepelný odpor R obvodového pláště. Pro aproximaci bylo využito funkčních závislostí uvedené v grafech na obrázcích ~~XX~~ až ~~XX~~.



7.1.5 Souhrn poznatků z provedených výpočtů

Podle polohy utěsnění spáry ve spoji mezi sendvičovými panely se mění poloha hranice kondenzační oblasti, v obrázcích oblast nasycení pórového vzduchu na úroveň relativní vlhkosti $\varphi = 1,0$, resp. $\varphi = 100 \%$, která je vyznačena červenou oblastí. Nejmenší vlhkostní zátěže na vnitřní izolaci je dosaženo ve schématu na obrázku 8, která je či není vyplněná PUR pěnou v oblasti vnitřní vzduchové části spáry v oblastech 2 až 4 mezi PUR izolací, avšak je doplněna utěsněním butylénovým tmelem vnějším tmelením, nýbrž také v oblasti 1. Z předloženého výpočtového posouzení plyne, že za tohoto uspořádání vnitřní kondenzace vodní páry prostupující spojem mezi sendvičovými panely nastane.

Ve skutečnosti nastane stav vlhkostní rovnováhy, který umožní proces difuze vodní páry v oblasti spáry mezi sendvičovými panely s omezenou vlhkostní saturací pórovitého tepelněizolačního materiálu. V ostatních případech úroveň vlhkostní saturace souvisí s množstvím vzniklého kondenzátu.

Porovnáním výpočtových tepelných odporů podle vlhkostní úrovně materiálu, které jsou uvedeny na obrázku XX vyplývá, že lze předpokládat snížení tepelného odporu obvodového pláště v důsledku chybně provedené spáry posuzovaného obvodového pláště o tloušťce 180 mm až na úroveň 73 % oproti správně utěsněné spáře.

7.1.6 Eliminace účinku podélného spoje izolačních panelů na prostup tepla stěnou

Z výsledků uvedených v předešlém odstavci vyplývá důležitý význam ošetření podélného spoje PUR panelů, aby tímto spojem nepronikala vodní pára z okolního prostředí. Tato úprava se provádí zatmelením speciálním butylovým tmelem, který zůstává trvale plastický i při nízkých teplotách. Extrémně zatížené oblasti se doplňkově přelepují páskou s kovovou fólií. Mimo důležité ošetření venkovního okraje podélného spoje PUR panelů se provádí zpevnění tohoto spoje ve střední části pomocí PUR pěny.

Toto opatření není příliš důležité, naopak v oblasti 3, ve vzdálenější oblasti od venkovního okraje PUR panelu, toto nelze doporučit, lépe ponechat spoj netěsný, aby případná vzdušná vlhkost mohla pronikat směrem k vnitřnímu okraji panelu. Stejně tak se nedoporučuje utěsnění podélného spoje na vnitřním povrchu PUR panelu.

8 Vliv tepelné kapacity materiálů obálkových konstrukcí na výslednou spotřebu energie

8.1 Měrná tepelná kapacita a tepelná kapacita

8.1.1 Měrná tepelná kapacita c_p

Měrná tepelná kapacita c_p vyjadřuje, kolik tepelné energie je zapotřebí ke zvýšení teploty 1 kg hmotnosti látky o 1 K. Měrná tepelná kapacita c_p se měří v J/(kg.K). Více tepelné energie je zapotřebí ke zvýšení teploty o 1 K materiálu s větší tepelnou kapacitou.

Tabulka 1: Hodnoty tepelné kapacity c_p vybraných konkrétních materiálů

Materiál	Tepelná kapacita c_p (J/kg.K)
Polyuretanová pěna (PUR/PIR)	1400 ÷ 1500
Dřevovláknitá izolační deska	2550
Minerální vlna	860
Materiály na dřevité bázi	1600
Sádrokarton	1000
Hliník	896
Měď	383
Železo	450
Vzduch ($\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3$)	1010
Voda	4186,8
Pálená keramika	960

V souladu s ČSN EN 12524 se užívají tyto hodnoty ve nestacionárních výpočtech vedení tepla stavebních prvků a konstrukcí.

8.2 Výpočtové modelování a simulace teplotních stavů v objektech s nízkou teplotou

9 Optimalizace tloušťky izolace obvodového pláště objektu s nízkou provozní teplotou

9.1 Formulace předpokladů pro aplikaci optimalizační metody

Během zpracování výpočtů energetické náročnosti objektů s nízkou provozní teplotou, kdy byly hledány parametry pro hodnocení energetické náročnosti objektů, byl při návrhu jednotlivých variant brán jediný volný parametr, a to tloušťka použitého PUR panelu. Přitom pro ideální objekt byla předpokládána stejná tloušťka jak u stěn a stropů, tak u podlahové konstrukce.

Výsledky, ze kterých je patrná závislost provozních nákladů, tedy roční spotřeby energie na tloušťce použitého panelu, je uvedena v následujících tabulkách.

V tabulce jsou základní hodnoty výsledků, které charakterizují určitý návrh objektu s nízkou provozní teplotou, kde se sleduje především mimo investičních nákladů (M) především provozní energetická náročnost (P). Od těchto dvou základních hodnot se odvozuje ekonomické hodnocení. Toto v nejprostší formě lze vyjádřit jako prostou návratnost vložených investičních prostředků, kde úspora provozní energetické náročnosti se projeví jako případné snížení roční spotřeby energie pro provoz objektu při zvětšení tloušťky stěnového panelu o jednu dimenzi (zde 2 cm). Zde se projeví zvětšení dimenze panelu zvýšením investičních nákladů, které se vrátí ve formě úspory asi za tři roky. Každé další zvýšení dimenze přináší další zvýšení M a snížení P, ale návratnost je s každým dalším krokem méně výrazná.

V ekonomické praxi se používá mimo jednoduchého kritéria prosté návratnosti ekonomických ukazatelů.

9.1.1 Optimalizace návrhu opláštění objektu s řízenou nízkou provozní teplotou

Jak plyne z předešlých výsledkových tabulek, kde jsou uvedeny hodnoty potřebných investic pro realizaci objektu mrazírny při použití celkem 6 dostupných tloušťek PUR panelů, je optimalizace návrhu při použití jediného volného parametru (tloušťka panelu) celkem triviální.

Podstatně složitější je optimalizace návrhu reálného objektu, kde jsou navíc vloženy mezistěny, které oddělují vlastní prostor s řízenou teplotou od venkovního prostředí. Zde lze volit jak tloušťku venkovního panelu, která odděluje meziprostor od venkovního prostředí, stejně jako tloušťku panelu, která odděluje meziprostor od vlastního prostoru s řízenou

teplotou. Mimoto lze volit samotný rozměr meziprostoru, např. volbou vzdálenosti obou panelů a navíc jako důležitý parametr zastává důležitou roli teplota meziprostoru v případě, že sem budeme dodávat energii, tedy že jej budeme chladit.

Jediný výpočet reálného (stejně jako teoretického) objektu s použitím stabilitního výpočtu pomocí programu *STABIL* trvá na dostupném počítači cca 90 minut. Již při volbě tří různých parametrů, které mohou nezávisle na sobě nabývat řádově desítek hodnot, nelze v reálném čase najít jakýkoli rozumný výsledek. Již z toho důvodu je nutné hledat cesty, jak tuto časovou náročnost snížit či omezit na minimum.

9.1.2 Využití optimalizační metody dynamického programování pro určení optimální tloušťky izolačního panelu

K tomuto lze použít metodu dynamického programování, které pomocí předem určených okrajových podmínek výběr neomezeného množství hodnot volných parametrů omezuje na podstatně menší prostor. K metodě tohoto výběru se používá tzv. teorie grafů.

Teorie grafů je relativně samostatná část diskretní matematiky, kde pro pochopení základních pojmů této teorie se nevyžadují hluboké znalosti jiných matematických disciplín. Většina pojmů má celkem jednoduchou názornou interpretaci. Je však nutné mít na zřeteli, že jednoduchá formulace problému neznamena ani zdaleka jednoduchost řešení.

Grafem G nazýváme uspořádanou dvojici C , kde U je libovolná neprázdná množina, jejíž prvky nazýváme uzly (vrcholy), H je neprázdná množina, jejíž prvky nazýváme hrany grafu G . Přitom platí $H \subseteq P_2(U)$, kde $P_2(U)$ je množina všech dvojic prvků množiny U , tedy hrana je určena libovolnou dvojicí uzlů z množiny U .

Konečný graf je takový, kde U je konečná množina. Graf $G_1 = [U_1, H_1]$ je podgrafem grafu $G_2 = [U_2, H_2]$, jestliže $U_1 \subseteq U_2$, $H_1 \subseteq H_2$.

Graf $G_1 = [U_1, H_1]$ je faktorem grafu $G_2 = [U_2, H_2]$, je-li podgrafem G_2 a $U_1 = U_2$.

Strom nazýváme konečný souvislý graf neobsahující jako podgraf žádnou kružnici.

Kostra grafu $G = [U, H]$ je takový faktor $[U, H_1]$, který je stromem.

Při řešení našeho případu se budeme zabývat právě stromovými grafy, proto je nutné si přiblížit vlastnosti související s těmito grafy.

Kružnice délky n obsahuje n koster. Přitom každá kostra vznikne vynecháním právě jedné hrany. Strom obsahuje právě jednu kostru - sebe sama. Konečný souvislý graf obsahuje alespoň jednu kostru.

Graf přitom může mít více koster, přičemž jejich počet prudce narůstá v závislosti na počtu uzlů n . Tento počet byl již určen na konci minulého století (Cayley 1898). Počet koster v úplném grafu K_n je roven číslu n^{n-2} . Již při letmém pohledu na tento výraz je zřejmé, že již u nejmenších grafů je neuskutečnitelný postup prověřování všech možností i při použití vysoce výkonných počítačů. S počtem koster v daném grafu úzce souvisí též problém určení počtu grafů na dané množině uzlů. Odpověď na tuto otázku se přitom určí přímo z definice grafu.

Je-li $[U, H]$ graf na n uzlech, je podle definice $H \subseteq P_2(U)$, přičemž $\left| P_2(U) \right| = \binom{n}{2}$. Všech grafů, jejichž podmnožina uzlu je podmnožina množiny U je tedy tolik, kolik má množina

$P_2(U)$ podmnožin. Počet grafů $g(n)$ na n uzlech je tedy dán vztahem $g(n) = 2^{\binom{n}{2}}$.

Nechť $[U, H]$ je graf. Buď dáno zobrazení $f: H \rightarrow R$. Trojici $[U, H, f]$ nazýváme hranově ohodnocený graf. Přitom $f(t)$ nazýváme ohodnocení hrany t .

Buď dán hranově ohodnocený konečný souvislý graf $[U, H, f]$. Kostra $[U, H^*]$ grafu $[U, H]$ se nazývá minimální kostra v $[U, H, f]$, když pro každou kostru $[U, H_1]$ grafu $[U, H]$ platí

$$\sum_{h \in H^*} f(h) \leq \sum_{h \in H_1} f(h)$$

Konečný souvislý graf obsahuje pouze konečně mnoho koster, obsahuje proto nutně každý konečný souvislý hranově ohodnocený graf alespoň jednu minimální kostru.

Že graf $[U, K]$ sestavený uvedeným algoritmem je kostra grafu $[U, H, f]$ je zřejmé. To že je skutečně minimální, plyne ze skutečnosti, že ve vztahu:

$$\sum_{h \in K} f(h) \leq \sum_{h \in L} f(h) \text{ nutně platí } |K| = |L|.$$

Zde $[U, L]$ je libovolná kostra grafu $[U, H, f]$.

Použití tohoto algoritmu v praxi může ovšem narazit na problém objektivního ohodnocení jednotlivých hran.

Při aplikaci této metody na optimalizaci návrhu reálného objektu řízenou vnitřní teplotou můžeme jako jednotlivé hrany grafu přiřadit volené parametry a jejich obory hodnot.

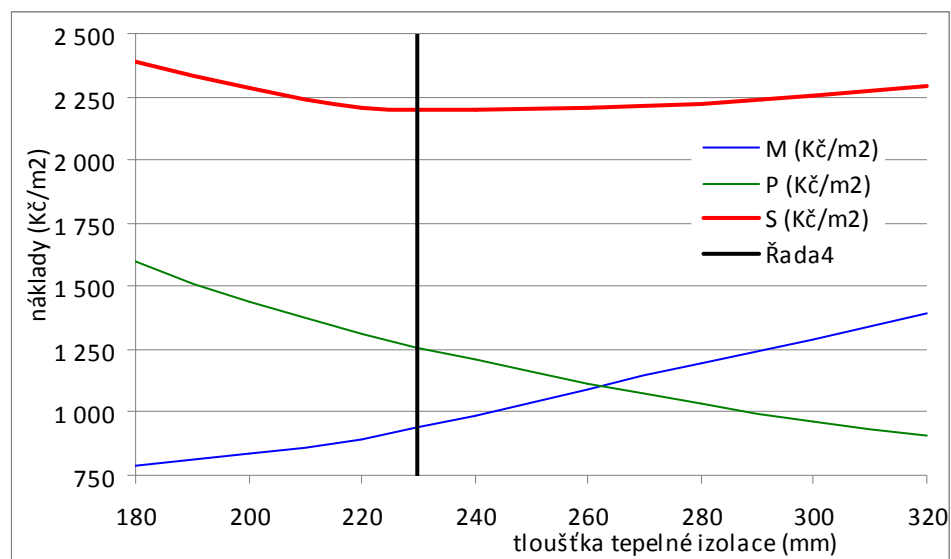
Tab. XX: Přehled parametrů pro řešenou optimalizační úlohu

d (mm)	M (Kč/m ²)	P (Kč/m ²)	S (Kč/m ²)
-------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

140	690	2044	2734
160	740	1794	2534
180	790	1599	2389
200	840	1442	2282
220	890	1314	2204
240	990	1206	2196
260	1090	1114	2204
280	1190	1036	2226
300	1290	968	2258
320	1390	908	2298

Poznámka: d – tloušťka izolační vrstvy; M – materiálové náklady a montáž; P – provozní náklady; S – součet nákladů.

Obr. Grafické vyobrazení průběhu sledovaných veličin na tloušťce izolační vrstvy, optimální tloušťka je vyznačena svislou čarou



Vyčíslením tabulkových údajů vyplývá, že optimální tloušťka izolačního panelu činí 230 mm, jež poskytuje nejnižší hodnotu nákladů za sledované období.

10 Tepelná diagnostika obvodového pláště mrazírny in situ

Popis postup – srovnání výsledků obsahu vlhkosti v PUR s tabulkou závislosti vlhkost/lambda a srovnání výše spotřeby energie – energetické náročnosti skutečného objektu s týmž objektem, se suchou tepelnou izolací

10.1 Postup a rozsah měření

10.1.1 Příprava měření

Měření obsahu vlhkosti ve stěně PUR panelu jsme původně plánovali provádět z vnější strany mrazírny, což by mohlo být výhodnější pro samotný průběh měření již z titulu příznivé teploty okolního vzduchu.

Po předběžné prohlídce prostoru vybrané mrazírny, kdy byly vyhodnoceny možnosti odběru vzorků jak z vnitřní, tak z vnější strany stěny mrazírny, byla jednoznačně dána přednost odběru vzorků z vnitřní strany mrazírny.

Tento způsob odběru vzorků z vnitřní strany mrazírny sice nebyl příznivý pro samotné osoby provádějící měření, neboť pobyt v prostoru o teplotě nižší než minus 20 °C je již po několika minutách nepříjemný. Samotné měření nakonec probíhalo v délce nepřetržitého pobytu v prostoru mrazírny déle než 5 hodin.

Nejprve byla vytipována vlastní místa odběru vzorků. K tomuto byla vybrána přednostně místa s poškozeným povrchem, kde případný zásah odebráním části panelu nenadělá tolik škody.

Dále byla vytipována místa v blízkosti podélných spár mezi PUR panely, která může ovlivnit obsah vlhkosti v hmotě PUR panelu. Byly nalezeny spáry, kde byla poškozena vrstva těsnicího tmelu ve spáře mezi panely. Tato spára, která je běžně široká v intervalu 3 - 5 mm, v jednom případě byla širší než 8 mm. Tato šířka byla zjištěna jak z vnitřní, tak i z vnější strany. Zde došlo zřejmě k pohybu panelu vlivem teplotních dilatací.

Místa měření s možností ovlivnění netěsnostmi povrchu panelu z vnější i vnitřní strany byla doplněna místy, kde je povrch krytý celistvým plechem a zřejmě tedy není ovlivněn případnou netěsností.

Dále byla prověřena možnost vlastního průběhu odběru vzorku hmoty PUR, a to z části použitého PUR panelu, který byl k dispozici v laboratoři. Zde bylo provedeno zkušební odebrání vzorku.

K tomuto bylo nejprve nutno vybrat vhodný nástroj pro narušení plechového krytu panelu a taktéž nástroj k odebrání vlastního vzorku tak, aby nedošlo k jeho narušení celistvosti.

K provedení kvalitního měření je totiž zapotřebí vzorek ve tvaru kvádrů o minimálním rozměru stěny 60 x 60 mm, lépe však o rozměru 90 x 90 mm. Přitom je potřeba odebrat celistvý vzorek, který prochází celou stěnou o síle 180 mm. Z praktických důvodů (minimalizace vlivu na provoz mrazírny) bylo upuštěno od původního záměru odebrat vzorky procházející celým průřezem stěny včetně venkovního plechového krytu PUR panelu. Tento záměr byl ale opuštěn i přes komplikaci s odběrem vzorku bez poškození venkovní stěny, kdy občas mohlo dojít k porušení celistvosti vzorku.

10.1.2 Lokalizace míst odběru vzorků

Lokalizace míst odběru vzorků byla provedena v souladu s předešlým textem tak, aby minimum počtu odebraných vzorků postihlo co nejširší škálu míst s maximálním předpokládaným rozdílem obsahu vlhkosti.

1. Vzorek umístěný co nejbližší podélné spáře, která je z venkovní strany otevřená.
2. Vzorek využívající stávající poškození z vnitřní strany
3. Vzorek umístěný přímo nad místem odběru vzorku č. 2 o výšce 1,2 m
4. Vzorek umístěný co nejbližší podélné spáry mezi panely
5. Vzorek využívající stávající poškození z vnitřní strany

10.1.3 Vlastní odběr vzorků

Vlastní odběr vzorků byl proveden dne 8.6.2015. Vzorky byly odebrány mechanicky po odstranění plechového krytu panelu z ocelového plechu. Bezprostředně po odběru byly vzorky uloženy do neprodyšného obalu, aby nedošlo ke zkreslení případným snížením obsahu vlhkosti vysušením do okolního vzduchu.

Místa odběru vzorku byla po odběru vzorku, kde došlo k vyjmutí určitého objemu PUR materiálu z obvodového panelu, neprodleně ošetřena vyplněním odebraného objemu PUR pěnou. Tato pěna při nízké teplotě tuhla velmi pomalu. Následné definitivní ošetření dohodnuto se zadavatelem tohoto měření – ocelový plech bude profesionálně ošetřen klempířskou opravou.

10.1.4 Vyhodnocení obsahu vlhkosti

Tabulka předběžných hodnot obsahu vlhkosti odebraných vzorků Mrazírna Prostějov - diagnostika obvodové stěny – červen 2015. Odebrané vzorky byly umístěny do sušicí komory v laboratoři a následně váženy, aby byl zjištěn váhový úbytek vlhkosti, obsažené ve vzorku.

Tab. XX: Vlhkostní obsahy vzorků PUR sendvičového panelu stěny mrazírny

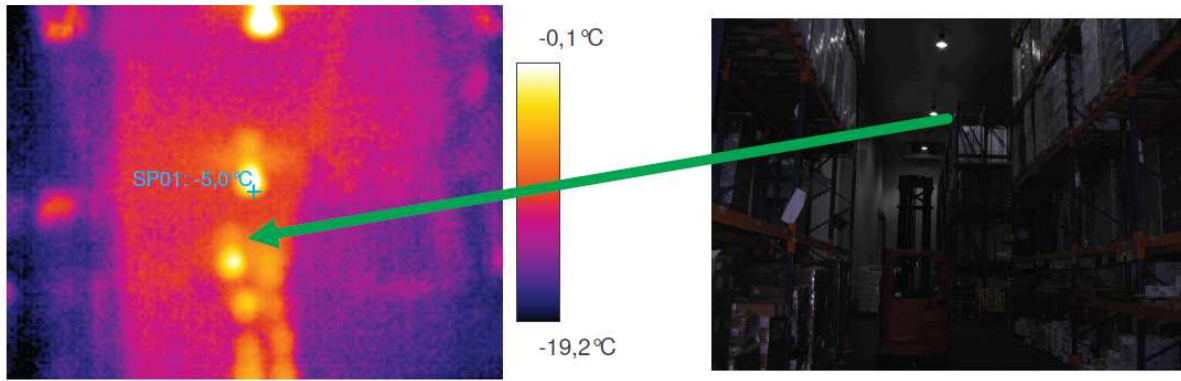
Datum / Vzorek	9.6.2015 18,00 hod (původní vlhký vzorek)	10.6.2011 17,00 hod	13.6.2011 17,00 hod	14.6.2015 16,00 hod (vysušený vzorek)	u_m (%)
1	21,54	21,09	21,01	21,01	2,51
2	24,45	24,05	24,01	24,00	1,84
3	53,64	52,82	52,52	52,49	2,14
4	112,13	110,32	109,77	109,68	2,18
5	50,98	50,10	49,85	49,82	2,28

10.1.5 Termografická diagnostika obvodového pláště mrazírny

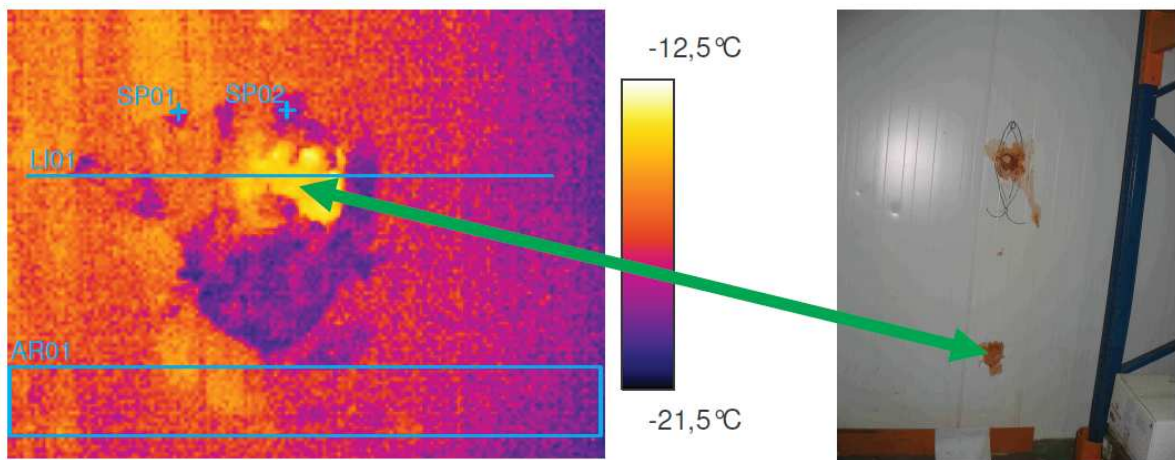
Pro termografickou diagnostiku byla použita termografická kamera FLIR E4 (Laboratoř Fyziky stavebních látek, VUT v Brně) pracující na principu mikrobolometrů s citlivostí ve spektrálním pásmu $8 \div 14 \mu\text{m}$. Předmětem teplotní diagnostiky byl svislý obvodový plášť mrazírny tvořený sendvičovými PUR panely o tloušťce 180 mm s povrchovým profilovaným ocelovým plechem (produkt RUUKKI Poland / Finland).

Provedenou diagnostikou v letním období byl sledován zejména projev vnitřní vlhkosti, která by měla výrazně snižovat tepelně-izolační schopnost pěnového polyuretanu, a to zvláště v okolí spojů jednotlivých panelů.

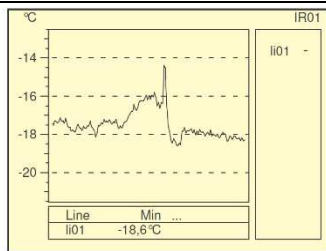
Jednotlivé snímky teplotního rozložení byly dokumentovány rovněž fotograficky (termografický snímek se zcela přesně neshoduje s fotografií, neboť oba přístroje mají značně rozdílné záběrové úhly).



Vnitřní prostor mrazírny ($\theta_{oC} = -17,6\text{ °C}$)



Vnitřní plášť mrazírny - oblast sondy 2 ($\theta_{oC} = -17,6\text{ °C}$)



teplot

LI01 – distribuce

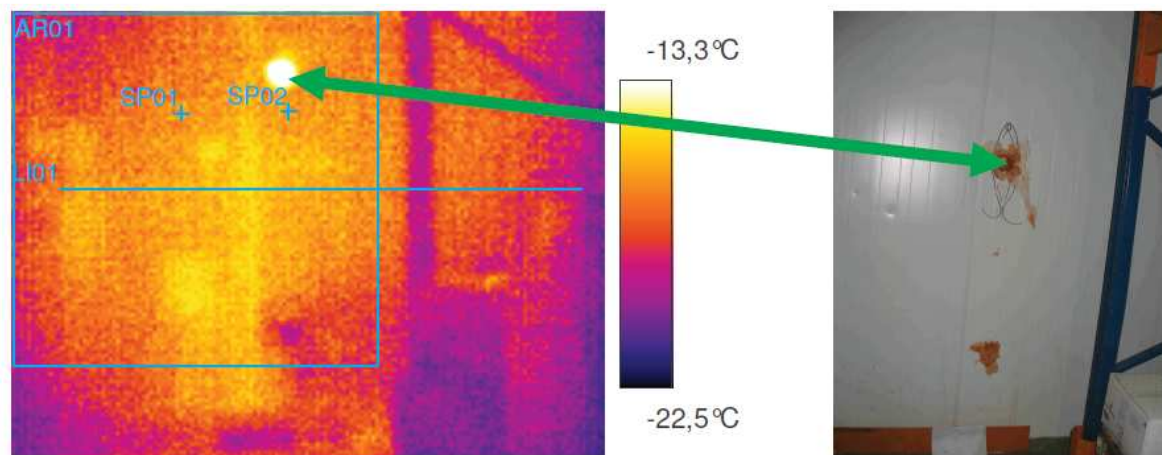
Comment:

SP01 -17,7 °C -37,7 °C

SP02 -18,0 °C -38,0 °C

LI01 : max -14,4 °C -34,4 °C

LI01 : min -18,6 °C -38,6 °C



Obr. : Vnitřní plášť mrazírny - oblast sondy 2, 3 ($\theta_{oc} = -17,6\text{ °C}$)

10.2 Předběžné závěry ze zjištěných údajů

Místo odběru vzorku č. 1 bylo umístěno bezprostředně u podélné spáry, která byla viditelně poškozena zřejmým pohybem panelů. Tento vzorek vykazuje nejvyšší hodnotu naměřené vlhkosti. Má tedy poškozená spára na vnějším povrchu nezanedbatelný vliv na úroveň obsahu vlhkosti ve stěně. Místo odběru vzorku č.2 bylo delší dobu (tato doba nezjištěna) poškozeno provozními vlivy. Proto zde byla naměřena nejnižší hodnota obsahu vlhkosti, která měla možnost úniku do vnitřního prostředí mrazírny, kde je nejnižší hodnota relativní vlhkosti ve vzduchu.

Místa odběru vzorku 3 a 4 vykazují průměrnou hodnotu bez dalšího ovlivnění. Místo odběru vzorku č.5 sice bylo poškozeno před prováděním odběru vzorku, proto bylo možno očekávat nízkou hodnotu jako u vzorku č. 2, ale zřejmě převážil vliv blízkosti podlahy. Těsně nad podlahou lze zřejmě očekávat vyšší hodnoty vlhkosti.

10.3 Zjištěné poznatky diagnostikování pláště mrazírny

Z výsledků termografických měření lze pozorovat lokální zvýšení povrchové teploty v místě provedených sond. I když byly dutiny v místě sond důsledně vyplněny montážní polyuretanovou pěnou, lze prokázat teplotní anomálii v tom místě.

Podle vlhkostního stavu odebraných vzorků pěnového polyuretanu lze usuzovat na negativní projev poškození celistvosti venkovního povrchu stěny mrazírny, neboť dochází k nežádoucímu pronikání vzdušné vlhkosti dovnitř stěnového panelu.

Naopak poškození opláštění na vnitřní straně mrazírny nemají negativní vliv na obsah vlhkosti, naopak lze pozorovat snížení průměrného obsahu vlhkosti v oblasti kontaktních spár mezi panely.

11 Závěr a přínos práce pro praxi

Cílem této práce je navázat na současnou úroveň poznatků hodnocení energetické náročnosti stavebních objektů se zaměřením na průmyslové objekty s řízenou nízkou provozní teplotou udržovanou na konstantní hodnotě. Jedná se o objekty provozované celoročně, kde předepsaná nízká vnitřní teplota je udržována přívodem chladicího media připravované mrazírenskými agregáty. Je zřejmé, že energetická náročnost u velkokapacitních mrazíren i chladíren sehrává důležitou roli.

Tepelné ztráty mrazírenských a chladírenských objektů se realizují pláštěm vnitřní komory. Výsledky experimentálního měření izolačního pláště, které byly získány měřením v laboratoři, potvrdily deklarované vlastnosti materiálu podle certifikátu výrobce. V této souvislosti byla prověřována také nasákavost materiálu a jeho difuzní vodivost. Experimentální měření uskutečněná na realizovaných objektech potvrdila teoretické výsledky modelů šíření tepla v jednotlivých konstrukcích objektů. Tyto výsledky byly využity k návrhu modifikace konstrukce tepelné izolace s cílem dalšího snížení energetické náročnosti objektu. Výsledky experimentů sice potvrdily teoretické předpoklady (matematický model šíření tepla), ale také přinesly některé náměty pro další práci. Bylo například zjištěno, že zřejmě existuje dosud nejednoznačně prokázaná závislost mezi obsahem plicního plynu v materiálu tepelné izolace obvodového PUR panelu s ohledem na stáří materiálu, stejně jako případná závislost aktuálního obsahu vlhkosti uvnitř stěnového panelu, a to jak s ohledem na geometrickou polohu místa odběru vzorku (výška nad podlahou), tak s ohledem na roční dobu. Proto některé výsledky měření v zimním období vykazovaly rozdíly od výsledků měření provedené v letním období.

Celkové hodnocení objektů bylo upřesněno pro vybrané objekty pomocí výpočtu stability, kde roční spotřeba energie byla určena s ohledem na skutečný průběh energetického zatížení objektu vlivem slunečního záření se zahrnutím vlivu každodenní dráhy slunce během celého roku. Byly zjištěny významné rozdíly mezi stávajícími výsledky, získanými s použitím běžných klimatických údajů průběhů teplot venkovního vzduchu a novými výsledky pořízenými stabilitním výpočtem.

Mimo hodnocení objektů jako celku byly hodnoceny i jednotlivé části konstrukce objektu. Na dvourozměrném modelu šíření tepla jsou popsány detaily konstrukce obvodové stěny s návrhem změny technologie spojování stěnových panelů, trojrozměrný model šíření tepla byl použit pro rozbor konstrukčního řešení nejvíce namáhané konstrukce nosného železobetonového sloupu objektu.

Při modelování 3D teplotních polí v objektu jako celku je hodnotícím parametrem kvality optimálního návrhu stavebního objektu roční potřeba energie, potřebná pro krytí celkové tepelné ztráty prostupem všemi obálkovými konstrukcemi hodnocené stavby při respektování proměnných podmínek okolního prostředí v průběhu roku. Konkrétně se jedná o nalezení takového návrhu vybraných detailů konstrukce hodnoceného objektu, kdy dojde ke snížení předpokládané spotřeby energie oproti dosud platným návrhovým hodnotám.

V toto souvislosti byly posouzeny požadavky na provozování stavebního objektu pro zamezení vzniku a rizika hromadění vlhkosti vnitřní vlhkosti, která mohou vést jednak ke snížení tepelně izolační schopnosti stavební konstrukce, tak i k podstatnému zkrácení životnosti této konstrukce.

V této práci je popsán stav současného hodnocení objektů s řízenou vnitřní teplotou, který byl posouzen analytickými nástroji pro energetické hodnocení obytných objektů. Podle výsledků analýzy byl kriticky zhodnocen současný způsob hodnocení objektů s řízenou vnitřní teplotou a nově navržen způsob hodnocení objektu pomocí sjednocujícího parametru. Tím je hodnota měrné roční spotřeby energie na jednotku podlahové plochy objektu, redukované na jednotku výšky objektu. Na základě hodnocení mnoha objektů různých tvarů i velikostí se podařilo prokázat závislost mezi hodnotou přepočteného součinitele prostupu tepla objektu a velikostí měrné roční spotřeby energie na jednotku podlahové plochy objektu, redukovanou na jednotku výšky objektu.

Geometrická charakteristika objektu se popisuje podle technických normativů pomocí poměru A/V , tedy povrchu plochy obálky objektu a vnitřního obestavěného prostoru. Tento poměr pro objekty stejného geometrického tvaru (třeba krychle) dosahuje výrazně odlišných hodnot při různé velikosti objektu. Například pro rozměr stěny 1 m je poměr $A/V = 6$, pro rozměr krychle o straně 10 m je poměr $A/V = 0,6$, zatímco pro krychli o straně 100 m je poměr $A/V = 0,06$. Při hledání různých tvarů a velikostí hodnocených objektů se vycházelo z poměru A/V o hodnotách 0,14, 0,4 a 0,7. Přitom byly rozměry objektů voleny tak, aby pokryly celou škálu rozměrů dnes realizovaných objektů s řízenou vnitřní teplotou.

Přitom nejmenší hodnocený objekt má rozměry srovnatelné s obvyklým rodinným domem (10 x 10 m podlahové plochy), největší objekt má rozměr o půdorysné ploše 160 x 160 m a výška objektů se pohybuje od nejmenší cca 6 m až po cca 30 m.

Získané výsledky na těchto objektech spíše teoretického tvaru o jediném vnitřním prostoru zadané teploty byly ověřovány na objektech, jejichž rozdělení vnitřních prostor se blíží reálným podmínkám. Mimo základního největšího prostoru o řízené vnitřní teplotě (např. - 22 °C pro mrazírnu) je tu meziprostor, oddělující tuto část od venkovního prostředí a dále dva

prostory o různých teplotách. Jednak vytápěná část – denní místnosti, kanceláře a sociální zázemí, jednak temperovaná část – expedice.

Ověřovací výpočty byly prováděny pro reálné objekty s různými vnitřními teplotami, kde rozdělení prostor bylo uvedeno co nejbližší reálným poměrům uspořádání vnitřních prostor v mrazírenských objektech.

Disertační práce svým pojetím má přispět k současným trendům ve stavebnictví snahou o ekologický přístup vzhledem k životnímu prostředí, trvale udržitelného rozvoje ve stavebnictví a nastínění dalších možných způsobů šetření energiemi při využití zjištěných poznatků pro optimální návrh izolačního pláště budovy s řízenou vnitřní teplotou.

Izolační materiály vyrobené z tuhé polyuretanové pěny neabsorbují vlhkost ze vzduchu.

12 Seznam použité literatury

- [1] Albrecht, W., Cell-Gas Composition – An Important Factor in the Evaluation of Long-Term Thermal Conductivity in Closed-Cell Foamed Plastics In: Cellular Polymers, Vol. 19, No. 5, 2000
- [2] Prüfbericht Nr. F.2-421, 462, 630, 731, 840/98, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW München), 1998
- [3] Albrecht, W., Änderung der Wärmeleitfähigkeit von 10 Jahre alten PURHartschaumplatten mit gasdiffusionsoffenen Deckschichten; Bauphysik 25, Heft 5, 2003
- [4] IVPU Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (Hrsg.), Aus Forschung und Technik; Nr. 2: Zeitstand-Druckverhalten von PUR-Hartschaum, 2002
- [5] Untersuchungsbericht “Sommerliches Temperaturverhalten eines Dachzimmers bei unterschiedlichem Dachaufbau”, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW München), 2000
- [6] IVPU, Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (Hrsg.), Ökobilanz von PUR-Hartschaum-Wärmedämmstoffen – Energieverbrauch und Energieeinsparung, Stuttgart, 2002
- [7] IVPU, Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (Hrsg.), Wärmeschutz im Altbau – Energetische Modernisierung mit PURHartschaum nach Energieeinsparverordnung (EnEV), Stuttgart, 2002
- [8] Koschade, R., Die Sandwichbauweise, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2000
- [9] Technické informace převzaté z http://www.excellence-in-insulation.eu/site/fileadmin/user_upload/PDF/Thermal_insulation_materials_made_of_rigid_polyurethane_foam.pdf, Report No.1 Polyurethan Foam Ass oCiations, odkaz z října 2011
- [10] Halahyja, M., Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie, Alfa 1985, ISBN 80-88905-04-4
- [11] Pytlík, P., Vlastnosti a užití stavebních materiálů, VUTIUM 1998, ISBN 80-214-1123-6.
- [12] Dahlsveen, T., Petráš, P., Energetický audit budov, JAGA Bratislava 1996 .
- [13] Dahlsveen, T., Bárta, L., Hirš, J., Piños, M., Úspora energií v budovách, STP Praha 1995, s. 153-155

- [14] Vaverka, J., Chybík, J., Sedlák, R., Energetické hodnocení budov a tepelná pohoda vnitřního prostředí, VUT Brno 1992 72
- [15] Mrlík, F., Vlhkostné problémy stavebných konstrukcí, ALFA/SNTL 1984 7
- [16] ČSN 73 0540 – 1-4: Tepelná ochrana budov, ČSN 2009
- [17] ČSN 14 8102 – Tepelné izolace chladíren a mrazíren
- [18] Chyský, J., Vlhký vzduch, SNTL 1977
- [19] Kutílek, M., Vlhkost pórovitých materiálů, SNTL Praha 1984 .
- [20] ČSN ISO 7726, Směrnice č. 46 sv. 38/78 Sb. o hygienických požadavcích na pracovní prostředí, tepelně vlhkostní mikroklima v budovách.
- [21] ČSN EN ISO 832: Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy, 2000
- [22] ČSN EN ISO 13789: Tepelné chování budov – Měrná tepelná ztráta – Výpočetní metoda, pracovní překlad, ÚNMZ Praha 1999
- [23] ČSN EN ISO 13370: Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody, ÚNMZ Praha 1999
- [24] ČSN EN ISO 14683: Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Lineární činitel prostupu tepla – Zjednodušená metoda a orientační hodnoty, ÚNMZ Praha 2000
- [25] ČSN ISO 7726: Tepelné prostředí. Přístroje a metody měření fyzikálních veličin
- [26] Šťastník, S., Zach, J., Zkoušení izolačních materiálů, CERM, Brno 2002, ISBN 80-214-2253-X
- [27] ČSN 72 7012 – 2, 3: Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky, ÚNMZ Praha 1994
- [28] Protokol o certifikaci sendvičového izolačního panelu Metalplast IZOTHERM s jádrem z polyuretanové pěny typ CH č. P-C-2003 0373/P, vydal CSI Praha 2003
- [29] NKN – Národní kalkulační nástroj – výpočetní nástroj pro stanovení energetické náročnosti budov ve smyslu metodiky Vyhlášky č. 148/2007 Sb. ČVUT Praha, fakulta stavební, katedra technických zařízení budov
- [30] Recktenwald, G., Crank-Nicolson Solution to the Heat Equation. ME 448/548 Notes, Portland State University, Department of Mechanical Engineering, 2005
- [31] Trojan, K., Aplikace dynamického programování, diplomní práce, přírodovědecká fakulta UJEP Brno, 1989
- [32] ČSN 73 0540, část 1 až 4 (vydané 2005 a 2007), v nichž jsou stanoveny národní požadavky na stavební konstrukce, tedy i na vliv tepelných mostů. Požadavky této

normy jsou uvedeny níže v kapitole požadavky normy. Dalšími souvisejícími normami jsou:

- [33] ČSN EN ISO 10211:2008 (73 0551) Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Výpočet tepelných toků a povrchových teplot – Podrobné výpočty
- [34] ČSN EN ISO 14683:2008 (73 0561) Tepelné chování budov – Měrná ztráta prostupem tepla – Výpočtová metoda
- [35] ČSN EN ISO 13370:2008 (730559) Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody
- [36] ČSN EN ISO 6946:2008 (730558) Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda
- [37] ČSN EN ISO 7345:1997 (730553) Tepelná izolace – Fyzikální veličiny a definice
- [38] ČSN EN ISO 13790:2005 (730317) Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění
- [39] ČSN EN ISO 13789:2008 (730565) Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda
- [40] Vyhl. 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov

13 Seznam vlastních publikací doktoranda

- [41] Trojan, K., Šťastník, S., Analýza tepelných zisků lehkého stavebního objektu z hlediska letní tepelné ochrany budov, odborná konference Construmat 2007, ISBN 978-80-248-1536-7 Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Ostrava2007, Sborník tuz. konf.4907.2
- [42] Trojan, K., Šťastník, S., Energetický audit jako nástroj snížení energetické spotřeby v těžebním průmyslu, Mezinárodní konference těžba a životní prostředí ve střední Evropě, Těžební unie České republiky Brno 2006, CZ Sborník tuz. konf.5957.6
- [43] Trojan, K., Šťastník, S., Energetický audit jako prostředek pro snížení spotřeby energie v těžebním průmyslu XII, mezinárodní konference CONSTRUMAT 2006, ISBN 80-8069-747-7, Slovenská poľnospodárska universita v Nitre, Mechanizačná fakulta Račkova dolina, Slovensko2006, CZ Sborník tuz. konf.3957.6
- [44] Trojan, K., Šťastník, S., Vyhodnocení vlivu změny polohy slunečních kolektorů na jejich celkovou účinnost, WORKSHOP NDT 2005, NON-DESTRUCTIVE TESTING IN ENGINEERING PRACTICE. ISBN 80-7204-420-6, VUT FAST Brno, Brno2005, Sborník tuz. konf.8957.6
- [45] Yu, Ya-Jen et al. "The Effect of Moisture Absorption on the Physical Properties of Polyurethane Shape Memory Polymer Foams." *Smart materials & structures* 20.8 (2011): 085010. *PMC*. Web. 19 June 2017.
- Thermal insulation materials made of rigid polyurethane foam (PUR/PIR), BING –Federation of European Rigid Polyurtehane Foam Association, Report No.1 (October 2006), dostupné na http://highperformanceinsulation.eu/wp-content/uploads/2016/08/Thermal_insulation_materials_made_of_rigid_polyurethane_foam.pdf (cit. 05/2016).
- [47] Bentley, R. E., Temperatue and Humidity Measurement, Vol. 1, p. 174, Springer-Verlag1998, ISBN 981-4021-09-1.