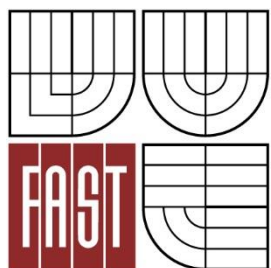




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT
A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

STUDIE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI OBJEKTŮ S ŘÍZENOU VNITŘNÍ TEPLOTOU

THE STUDY OF ENERGY PERFORMANCE OF OBJECTS WITH CONTROLLED INTERNAL
TEMPERATURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUBOŠ KARMÍN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. RNDr. STANISLAV ŠŤASTNÍK, CSc.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Luboš Karmín
Název	Studie energetické náročnosti objektů s řízenou vnitřní teplotou
Vedoucí bakalářské práce	prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Davies, Morris, G., Building Heat Transfer, John Wiley 2004
Halahyja, M. a kol., Stavební tepelná technika. Tepelná ochrana budov, ALFA Bratislava 1998
ČSN 730540, Tepelná ochrana budov, UNMZ 2011
ČSN 14 8102 Tepelné izolace chladíren a mrazíren, UNMZ 1993
Firemní literatura ohledně tepelně-izolačních materiálů

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Objekty s řízenou vnitřní teplotou, například mrazírenské sklady, mají při provozování relativně značnou energetickou zátěž. Určujícími hledisky jsou kritéria, jež jsou navázány jak na materiálovou koncepci pláště objektu, tak na jejich geometrické uspořádání. Vzhledem ke specifickým vnitřním podmínkám se ukazuje, že konkrétní spotřeba energie je ovlivňována dále řadou vlivů jak konstrukčních i provozních.

Dosavadní poznatky o tomto druhu objektů však nejsou doposud natolik upřesněny, aby bylo možné přesně vymezit jejich podíl na energetické náročnosti.

V této souvislosti proveďte:

- i) Rešerši poznatků ohledně konstrukčního a materiálového uspořádání staveb s řízenou vnitřní teplotou,
- ii) Popište fyzikální procesy související s tepelným šířením obvodovým pláštěm objektů, zejména interakci s vnějšími klimatickými podmínkami.
- iii) Specifikujte stavební materiály využitelné pro konstrukci obvodového pláště tohoto typu staveb. Vymezte jejich použitelnost i účinnost v reálných podmínkách klimatu ČR,
- iv) Na základě dostupných údajů o spotřebě energie proveďte hodnocení energetické náročnosti pro vybrané mrazírenské objekty s ohledem na konstrukční uspořádání opláštění, případně materiálovou bázi izolačních panelů,
- v) Nastiňte očekávané trendy ve vývoji těchto objektů z hlediska jejich energetické náročnosti. Posuďte také možnosti stávajících objektů z hlediska dalšího zvýšení energetické účinnosti.

Při vypracování bakalářské práce dbejte zásad platných na FAST VUT Brno; praktická část do 20 % rozsahu; celkový rozsah do 40 stran včetně tabulek a grafů.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

V této práci je zpracováno velmi úzké téma budov s řízenou vnitřní teplotou, především mrazíren. Tyto objekty mají jednu z největších spotřeb energie, co se stavebních objektů týče. Cílem této práce je shrnout normové požadavky na výstavbu mrazíren a postihnout jevy, které mají značný vliv na celkovou spotřebu těchto objektů. Výpočty provedené v rámci této bakalářské práce posuzují změnu fyzikální vlastnosti emisivity povrchu izolačních panelů mrazíren přímo vystavených slunečnímu záření. Uvažováno bylo též s jeho odstíněním. Na základě zjištěných údajů je možné pokračovat ve studiu daného tématu a návrhu reálného úsporného řešení ve stavební praxi.

Klíčová slova:

energetická náročnost mrazíren, PUR izolace, povrchová emisivita, matematické modelování, odstínění slunečního zatížení.

ABSTRACT

In this thesis is summarized close topic about buildings with controlled internal temperature, especially cold stores. These objects have one of the biggest energy consumption among all structures. The goal of this thesis is to write down standard requirements for the construction of cold stores and summarize process that have a significant effect on overall consumption of energy in this type of structures. Calculations made in this thesis review changes in physical properties of surface emissivity PUR panels which are directly exposed to sunlight. Option of shielding of solar load is included as well. Researched data could be base for continue in studying of the topic and design of future saving optimization of cold stores etc..

Key words:

energy consumption of freezing plants, polyurethane insulation, surface emissivity, mathematical modelling, shielding of solar load.

Bibliografická citace VŠKP

KARMÍN Luboš. *Studie energetické náročnosti objektů s řízenou vnitřní teplotou*. Brno, 2016. 47 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce: prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2016.

.....
podpis autora

Luboš Karmín

Poděkování

Chtěl bych především vyjádřit poděkování mé rodině za veškerou podporu při plnění mého studia. A také vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. RNDr. Ing. Stanislavu Šťastníkově, CSc. Za vstřícnost, ochotu pomáhat a předávat cenné zkušenosti a za všechnu věnovaný čas během vedení mé bakalářské práce.

Obsah:

1	Úvod a současný stav.....	10
1.1	Historie mrazíren a konzervace potravin	11
1.2	Hygiena skladování potravin a užívané materiály	11
1.3	Mrazírny - objekty s řízenou vnitřní teplotou.....	12
2	Kritéria hodnocení mrazíren dle ČSN 14 8102	13
2.1	Navrhování tepelně-izolačních a parotěsných vrstev	13
2.1.1	Požadavky na konstrukční řešení	16
2.1.2	Pokyny pro navrhování	17
2.2	Hodnocení chladiřů a mrazíren	19
2.2.1	Energetické kritérium	19
2.2.2	Dílčí požadavky konstrukce	20
2.2.3	Vliv tepelných mostů na stavební konstrukce	22
3	Konstrukční a materiálové uspořádání objektů s řízenou vnitřní teplotou..	23
3.1	PUR Panely.....	23
3.1.1	Výroba tepelně izolačních materiálů z tuhé PUR pěny	24
3.1.2	Výroba desek z tuhé polyuretanové pěny s pružným kaširováním.....	24
3.1.3	Výroba tuhých bloků polyuretanové pěny	25
3.1.4	Kontinuální výroba bloků pěny	25
3.1.5	Diskontinuální výroby bloků pěny	26
3.1.6	Kontinuální výroba sendvičových panelů s kovovými čely ...	27
3.2	Spoje panelů	28
3.3	Statické uspořádání mrazíren a chladiřů.....	29
4	Tepelné ztráty v plášti budovy a okolní vlivy	30
4.1	Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů	30
4.1.1	Součinitel tepelné vodivosti materiálu λ	30

4.2	Tepelný odpor konstrukce, součinitel prostupu tepla	31
4.3	Vlivy působící na tepelně-izolační vlastnost izolačních materiálů.....	32
4.3.1	Účinnost tepelně-izolačních vrstev	32
4.3.2	Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích, formulace podmínek pro šíření tepla.....	33
4.3.3	Tepelná stabilita objektů	34
5	Energetická náročnost mrazíren	36
5.1	Návrh hodnocení mrazíren podle jejich energetické náročnosti	36
6	Experimentální část	38
6.1	Cíle a metody experimentálních výpočtů	39
6.2	Pohltivost povrchu izolačního PUR panelu 85 %	39
6.3	Pohltivost povrchu izolačního PUR panelu 50 %	40
6.4	Pohltivost povrchu izolačního PUR panelu 35%	41
6.5	Odstínění jižní stěny mrazírny.....	42
6.6	Zhodnocení experimentální části	43
6.7	Optimální tloušťka panelu na izolaci mrazíren	44
7	Závěr	45
8	Seznam použité literatury	47

1 Úvod a současný stav

Existuje řada opatření vytvořených s cílem zamezit zvyšování spotřeby energie, přesto k jejímu výraznému poklesu v současnosti nedochází. Jsou zde patrné snahy ze strany EU a dalších organizací o šetrný přístup ke zdrojům energie jako takové. Mělo by být zodpovědností náš všech volit ohleduplný přístup k přírodním zdrojům, a z části tím tak bránit nepřírozeným klimatickým změnám a dalším navazujícím společenským problémům. Snahou této práce je analyzovat úzkou, avšak náročnou oblast budov s řízenou vnitřní teplotou, jako jsou například mrazírny a další provozy vyžadující udržení stále normové teploty po celou dobu provozu.

Uvádí se, že ve vyspělých zemích chladicí a klimatizační zařízení tvoří více jak 15 % z celkové spotřeby elektrické energie. Tento podíl se neustálým rozvojem naší civilizace zvyšuje [1] .

Výstavba stavebních objektů je sama o sobě spojena s dlouhodobým dopadem na životní prostředí tak, jako jejich provoz. Spotřeba energie se značně liší dle účelu stavby. Co se týče samotných mrazíren, spotřeba extrémně narůstá v závislosti na normových požadavcích pro skladování potravin a okolních klimatických podmínkách.

Cílem této práce je analýza hlavních faktorů majících vliv na množství spotřebované energie a návržení ekonomicky a technicky nenáročného řešení, které povede k úspoře energií spotřebovávaných na udržení normové teploty objektů s řízenou vnitřní teplotou.

Materiálové vlastnosti používaných konstrukcí mají již pevně stanovené parametry. V této práci bude navrženo řešení, které nebude vyžadovat zásadní stavební úpravy, či dokonce přerušení provozu, a přesto by mělo přinést významnou část úspor na spotřebě energie využívané na provozování tohoto typu stavebních objektů.

1.1 Historie mrazíren a konzervace potravin

Snaha o prodloužení životnosti potravin a jejich konzervaci je úzce spojena s vývojem naší civilizace. Konzervace mrazem byla využívána již v pravěku, ale první průmyslové bezpečně fungující chladírny a mrazírny se používají až od roku 1870, kdy Němec Karl von Linde (1842 – 1934) zdokonalil kompresor. Uchovávalo se v nich maso a ryby. Ovoce se průmyslově mrazilo od roku 1909, zelenina od roku 1929 a o něco později se začala mrazit i hotová jídla. Dnes se mrazírny používají pro uchovávání a distribuci mnoha druhů potravin, jak pro koncové zákazníky, tak stravovací zařízení [2] .

1.2 Hygiena skladování potravin a užívané materiály

Za posledního půl století došlo ke zdvojnásobení světové populace. V následujících desetiletích se očekává nárůst obyvatel Země až na 8 miliard. Tato rostoucí tendence ve světě stále zvyšuje požadavek na zajištění dostatečného množství potravy.

Hygiena je důležitým faktorem všude tam, kde se zpracovávají potraviny, tak i při dalších procesech, které vyžadují čisté prostředí, jako jsou elektrotechnický a farmaceutický průmysl.

Dnešní materiály jako PUR a PIR panely s jádrem z tuhé polyuretanové pěny používané pro obvodové konstrukce řeší eliminaci tepelných mostů a zajistí tedy, že na obou površích nenastane vnitřní kondenzace, která by následně mohla vést k tvorbě bakterií a plísní. Samotné povrchy jsou navrženy tak, aby je bylo možné čistit a udržovat tak hygienicky nezávadné.

Izolace z tuhé polyuretanové pěny jsou klíčovými materiály pro nízkoteplotní uchování potravin během jejich produkce, skladování a distribuci. Díky tomu je možné skladovat potraviny, které by jinak podlehly zkáze, pokud by nebyly spotřebovány [7] .

1.3 Mrazírny - objekty s řízenou vnitřní teplotou

Mrazírna je stavební objekt určený převážně k uchovávání potravin a dalších látek, které vyžadují skladovací teploty pod bodem mrazu.

Mrazírny se vyznačují jednoduchou jednolodní halovou konstrukcí bez oken. Ke vstupu a přesunu zboží jsou využívána mrazírenská vrata v kombinaci se závěsy zabraňujícími proudění. Plášť objektu je opatřen izolačními panely za účelem minimalizace tepelných ztrát, v tomto případě na rozdíl od konvenčních staveb je naším cílem co nejmenší prostup tepla do objektu. Interiér je uzpůsoben ke skladování zboží, čímž jsou myšleny například regály a koridory pro manipulační techniku. Každá mrazírna je vybavena technologií chlazení, která je umístěna mimo mrazírenskou část z důvodu produkce odpadního tepla. Chladicí technologie se od sebe liší zejména typem výparníku a použitými kompresory. Výparníky pro mrazírnu musí být vybaveny elektrickým nebo jiným druhem aktivního odtávání z důvodu zachování co nejvyšší účinnosti chladicího procesu, která i tak dosahuje zhruba $\eta = 25 \%$ [3] .

2 Kritéria hodnocení mrazíren dle ČSN 14 8102

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 [5] .

2.1 Navrhování tepelně-izolačních a parotěsných vrstev

Při posuzování a hodnocení stěnových, stropních a podlahových konstrukcí chladíren a mrazíren nutno vycházet ze souboru norem ČSN 73 0540 a normy ČSN 73 0542. Podle vnitřní prostorové teploty se rozlišují teplotní pásma podle tabulky 1.

Tab. 1: Rozdělení teplotních pásem podle vnitřní prostorové teploty [5]

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
POZNÁMKA: Při navrhování obvodových konstrukcí prostorů s nižší provozní teplotou než -40 °C se postupuje individuálně.	

Tab. 2: Hodnoty nejmenšího dovoleného tepelného odporu R_N [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] [5]

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

1) Hodnoty R_N jsou uvažovány pro podlahové konstrukce nad sklepními prostory, jejichž $\theta \leq +10$ °C. Pokud se jedná o případ, kdy $\theta > +10$ °C, posuzuje se jako vnitřní stěnová konstrukce.

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 chladiřů a mrazířů musí vykazovat na všech místech (s výjimkou větracích otvorů, vrat a dveří) tepelný odpor $R \geq R_N$. Hodnoty R_N uvádí tabulka 2. 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 chladiřů a mrazířů 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 6.

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

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

vii) Parotěsná zábrana stěnové, stropní a podlahové konstrukce chladiřen a mrazíren musí vykazovat na všech místech (s výjimkou větracích otvorů, vrat a dveří) difúzní odpor $R_d \geq R_{dN}$. Hodnoty R_{dN} uvádí tabulka 3.

viii) Hodnoty difúzního 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. 3: Hodnoty nejmenšího dovoleného difúzního odporu R_{dN} [$10^9\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$] [5]

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

2.1.1 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 normy ČSN 14 8102 – Tepelné izolace chladíren a mrazíren.

ii) Tepelně izolační panely (dále jen „panely“) musí být konstrukčně uspořádány tak, aby byly použitelné jak pro vytvoření stěnového, tak i stropního pláště. Speciálně 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 plášťů 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 parotěsné 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 plášťů z panelů je nutno konstrukčně ochránit tak, aby při manipulaci se skladovacími dopravními prostředky nedocházelo k jejich poškození (vytvořením ochranných soklů apod.).

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.

2.1.2 Pokyny pro navrhování

i) Navrhování stěnových a stropních plášťů 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 (t. j. včetně vlivu spár) je povinen zajistit výrobce. Po uvedení chladírny nebo mrazírny do provozu, se doporučuje provést kontrolu jakosti konstrukcí termovizním měřením.

iii) Nejvyšší přípustné hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivá teplotní pásma v závislosti na rozdílu teplot $\Delta\theta$ uvádí tabulka 4.

Tab. 4: Hodnoty součinitele prostupu tepla U_N ve $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ [5]

Pásma	A	B	C	D	E	F
$\Delta\theta$ do 10 K	0,925	0,625	0,360	0,330	0,300	0,240
$\Delta\theta$ do 20 K	0,625	0,480	0,300	0,270	0,240	0,220
$\Delta\theta$ do 30 K	0,480	0,360	0,240	0,230	0,220	0,180
$\Delta\theta$ do 40 K	-	0,300	0,220	0,200	0,180	0,160
$\Delta\theta$ do 50K	-	-	0,180	0,170	0,165	0,150
$\Delta\theta$ do 60 K	-	-	-	0,160	0,150	0,145
$\Delta\theta$ do 70 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) 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 normy ČSN 14 8102 – Tepelné izolace chladíren a mrazíren.

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 [5] .

2.2 Hodnocení chladíren a mrazíren

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

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

2.2.1 Energetické kritérium

V této kapitole 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 měrný tepelný zisk ($\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$),

Q_{celk} celkový tepelný zisk hodnoceného prostoru (W),

V_{celk} celkový objem (m^3),

θ_e vnější teplota ($^{\circ}\text{C}$),

θ_i vnitřní teplota ($^{\circ}\text{C}$).

ii) Nejvýše přípustné měrné tepelné zisky v závislosti na celkovém objemu podle provozního teplotního pásma uvádí tabulka 5.

Tab. 5: Hodnoty nejvyšších dovolených měrných tepelných zisků q_{max} ve $W \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$ [5]

Objem V (m ³)		100	200	500	1000	2000	5000≤
Měrný tepelný zisk	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
	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.

2.2.2 Dílčí požadavky konstrukce

Opačný tepelný tok v konstrukci mrazíren názorně ukázán na skladbě podlahy.

Řez 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:

2.2.3 Vliv tepelných mostů na stavební konstrukce

Tepelným mostem se považuje místo v plášti 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 chladnější povrch a naopak v exteriéru teplejší povrch než okolní konstrukce. Lokalizaci tepelných mostů zobrazuje například termogram. Obvykle jsou patrné tepelné mosty v okolí stavebních otvorů a také mezi jednotlivými tvárnicemi.

Tepelné mosty nabývají ve stavební praxi stále většího významu, a to jak z hygienického, tak i energetického a potažmo i ekonomického pohledu. Mohou mít velký vliv i na statiku stavby a mohou vést až k jejímu poškození. Při srovnávání současných a dříve realizovaných staveb je nutné si uvědomit, že vliv tepelných mostů je významně ovlivněn i používáním zcela jiných technologií a materiálů, než jaké se používaly dříve. I minulosti však byly problémy s tepelnými mosty, jen se jim to nepřisuzovalo a považovalo se to jako přirozená degradace stavby.

U obvodového pláště mrazíren se tepelné mosty projevují na vnější straně konstrukce z důvodu opačného teplotního spádu. Jejich škodlivost se může projevit namrzáním vnějších částí konstrukce či permanentní kondenzací vody na jejich površích. V konečném důsledku může tato závada urychlovat degradaci konstrukce mrazírny.

3 Konstrukční a materiálové uspořádání objektů s řízenou vnitřní teplotou

3.1 PUR Panely

Izolační sendvičové panely se používají ve stavebnictví již déle než 40 let. Hlavním cílem při jejich vývoji bylo poskytnout stavebnímu průmyslu systém opláštění prostřednictvím prefabrikovaných prvků, které by byly odolné vůči povětrnostním vlivům a vyznačovaly se nejen vysokou pevností a tepelnou i protipožární odolností, ale také dlouhodobou životností a možností rychlé montáže. Za dobu své existence se izolační sendvičové panely vyvíjely, měnily se materiály používané k jejich výrobě. Sendvičový panel je stavební materiál, který má široké spektrum použití. Slouží k opláštění a zastřešení nejrůznějších typů konstrukcí, ať už ocelových, železobetonových, dřevěných, popřípadě jiných, může být použit jako stropní podhled či jako dělicí příčka. Snadno se též kombinuje s jinými materiály. Povrch má tvořený zpravidla žárově pozinkovaným ocelovým plechem, který je opatřen vrstvou polyesterového laku. Izolační jádro tvoří buď tuhá polyuretanová pěna (PUR), která patří mezi tepelné izolace s nejnižším součinitelem tepelné vodivosti, či minerální vlna o vysoké specifické hmotnosti, v případě aplikace vyžadující vyšší požární odolnost. V současnosti se začíná uplatňovat také polyizokyanurátová pěna (PIR), která je z hlediska tepelně izolačních vlastností srovnatelná s pěnou polyuretanovou, velká přednost je však v její odolnosti vůči požáru. Panely s jádrem na bázi tvrzeného polystyrenu se v současné době používají již jen okrajově pro jejich horší tepelně izolační vlastnosti a menší požární odolnosti. Plechy lícující sendvičové panely jsou vyráběny v různých barevných odstínech a jejich povrchy mohou mít různé profilace jak na interiérové, tak na exteriérové straně. Mohou být též ošetřeny různými typy ochranných nátěrů na bázi polyesteru, PVC, popřípadě dalších vrstev na bázi plastů v závislosti na tom, pro jaké účely a prostředí se panely použijí. Podle požadavků na tepelně izolační vlastnosti jsou vyráběny v tloušťkách od 20 do 250 mm. Šíře panelů se může lišit u různých výrobců, nejčastěji však bývá 1000 nebo 1100 mm. U většiny výrobců je samozřejmostí nařezání sendvičových panelů na požadované délky dle navržené konstrukce [7].

3.1.1 Výroba tepelně izolačních materiálů z tuhé PUR pěny

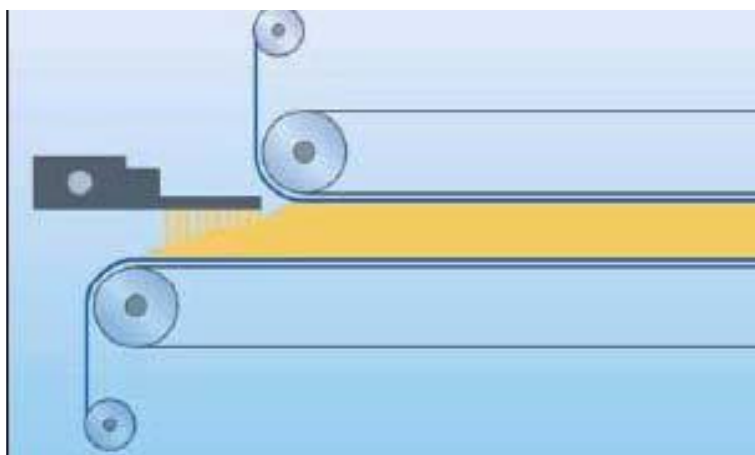
Tuhé polyuretanové pěny jsou vyráběny chemickou reakcí mezi dvěma základními komponentami v tekuté fázi s využitím nadouvadla s nízkým bodem varu, jako je pentan nebo CO_2 . Základní materiály reagují přímo za míchání a přitom se vytváří polymerní matrice polyuretanu. Teplo uvolněné při této reakci způsobuje vypařování nadouvadla z pěny polymerní matrice [7] .

Z tuhé polyuretanové pěny jsou továrně materiály vyráběny jako:

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

3.1.2 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, který je pak vtažen do laminátoru. Tato směs v tlakové zóně laminátoru 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 [7] .



Obr. 2: Schéma kontinuální výroby desek z tuhé polyuretanové pěny s pružným kašírováním [7]

Flexibilní obklady jsou obvykle vyráběny z materiálů:

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

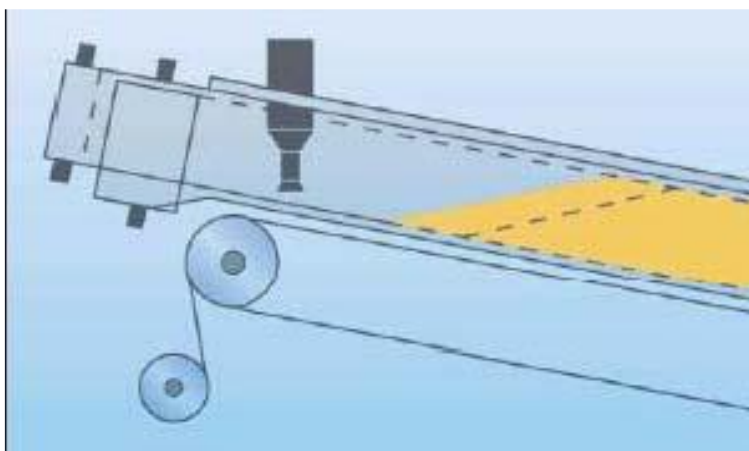
Různé obklady jsou voleny tak, aby vyhovovaly zamýšlenému použití izolačních desek. Opláštění mohou sloužit jako parotěsná vrstva, vlhkostní bariéra, optický vzhled nebo ochrana proti mechanickému poškození. Izolační desky jsou nabízeny s různými profily hranou, např. perem a drážkou, odstupňovaným profilem 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 sádkokarton lepený na izolační desky [7] .

3.1.3 Výroba tuhých bloků polyuretanové pěny

Tuhé bloky polyuretanové pěny mohou být vyrobeny buď v kontinuálním, nebo diskontinuálním procesu.

3.1.4 Kontinuální výroba bloků pěny

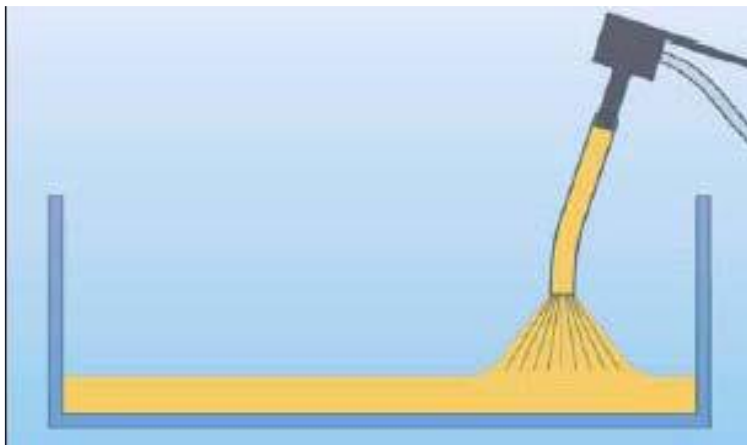
Při kontinuální výrobě bloku pěny reakční směsi se používá papírový proužek, který je posouván po obou stranách běžícího pásu. Na konci pásu lze rozšířit blok zkrátit na požadovanou délku.



Obr. 3: Schéma kontinuální výroby bloků pěny [7]

3.1.5 Diskontinuální výroby bloků pěny

Základní složky se míchají než se přepustí do formy. Reakční směs se napěňuje a tvoří tuhou pěnu bloku.



Obr. 4: Schéma diskontinuální výroby bloků pěny [7]

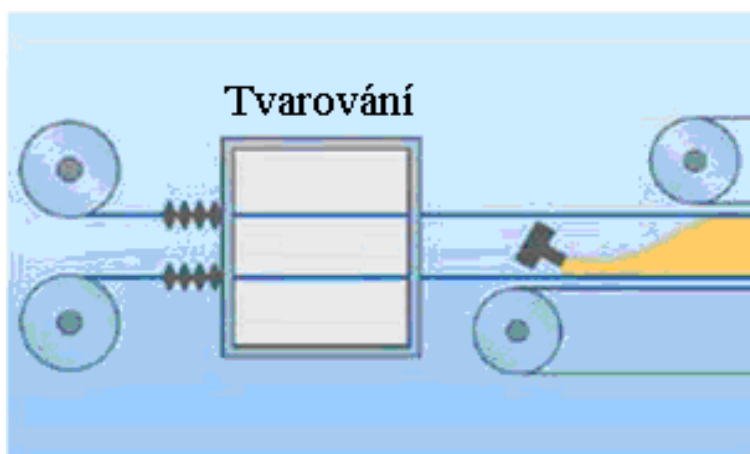
Poté, co pěna dosáhne své konečné tuhosti, kdy se bloky vyrobily kontinuálním či diskontinuálním výrobním procesem, se řezou na desky (například desky pro izolaci jak pro ploché nebo šikmé střechy) nebo panely (např. podkroví / půdní klíny nebo izolace potrubí). Vhodné obklady je možné lepit také na řezné ploše desky [7] .



Obr. 5: Blokové desky izolace, podkrovní klíny a potrubní izolace z pěnového polyuretanu [7]

3.1.6 Kontinuální výroba sendvičových panelů s kovovými čely

Polyuretanové sendvičové panely se vyrábí v kontinuálních laminátorech. Reakční směs se nanáší na ocelový nebo hliníkový plech na spodní straně kovového pásu. Za účelem zvýšení tuhosti jsou kovové obklady obecně profilované před vypěňováním. Uvnitř laminátoru pak expandují až ke kovovému hornímu pásu. Pak se sendvičové panely zkracují na požadovanou délku. Dlouhé hrany sendvičových panelů jsou obecně opatřeny perem a drážkou pro snadnou a rychlou montáž prefabrikovaných prvků. Tyto panely jsou často továrně vyráběny s těsněním, což vytváří vzduchotěsný spoj [7] .

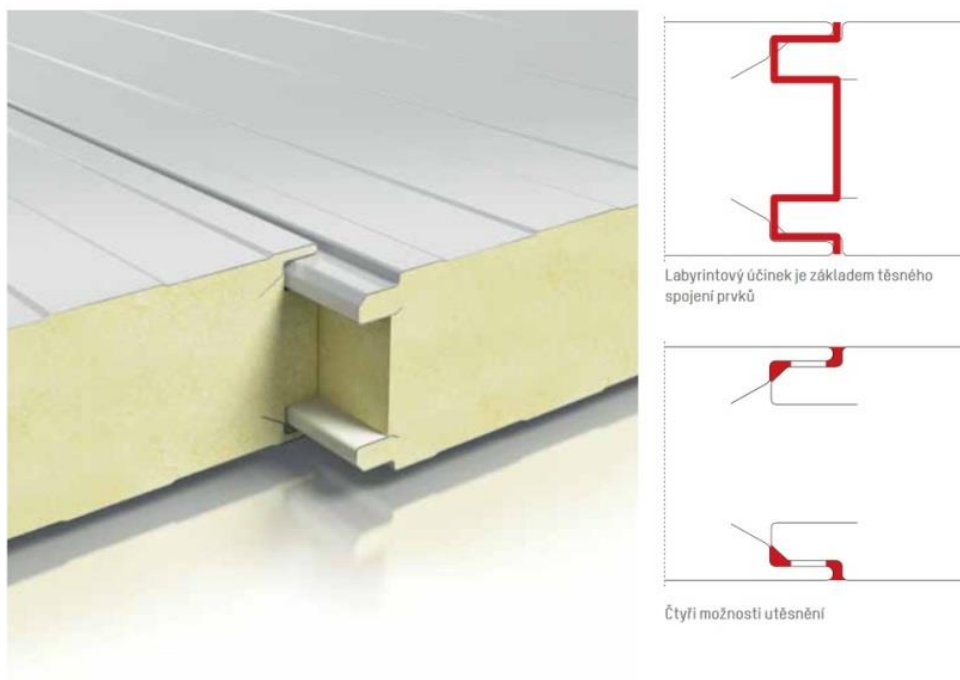


Obr. 6: Schéma kontinuální výroby sendvičových panelů s kovovým pláštěm v laminátoru [7]

Polyuretanové sendvičové panely jsou vyráběny jako samonosné prefabrikované stavební prvky z oceli, hliníku nebo jiných pevných obkladů. Jsou dodávány v šířkách od 800 mm do 1250 mm a v délkách do 24 m. Tyto stavební prvky mají relativně nízké celkové hmotnosti, ale přesto se vykazují značnou pevnost i stabilitu. Snadno se transportují a lze je instalovat s minimální pracností [7] .

3.2 Spoje panelů

Jeden z nejdůležitějších předpokladů pro absolutně těsné spojení prvků je přesná výroba. Pro dosažení precizního vyhotovení a požadované těsnosti je používám profil drážka/pero v různých variacích dle výrobce, celý profil je vyfrézován až po procesu ochlazení. Cílem je dosažení maximální míry těsnosti a kompaktnosti cele konstrukce.

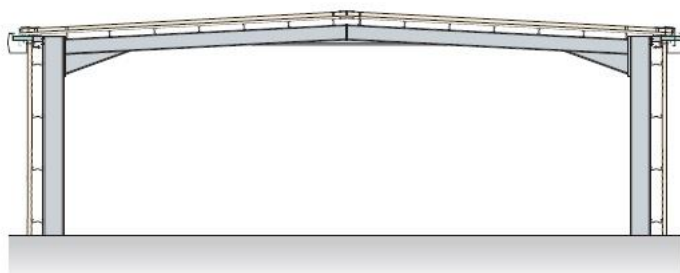


Obr. 7: Vzhled labyrintového spoje obvodových panelů podle [8]

3.3 Statické uspořádání mrazíren a chladíren

Statické upořádání mrazíren vychází z požadavku na co nejmenší tepelné ztráty v konstrukci. Rozdělit je lze na chladírny a mrazírny. Pokud jde o chladírny nosná konstrukce je součástí ochlazovaného prostoru.

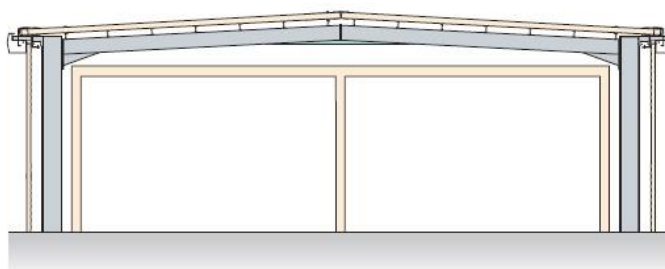
Chladírny – aplikace pro provozy zpracování potravin
a hygienické aplikace
Rozsah teplot od 0 °C do +12 °C



Obr. 8: Schéma konstrukčního uspořádání chladírny pro teploty do +12 °C [8]

Při výstavbě mrazíren se snažíme oddělit všechny nosné konstrukce od ochlazovaného prostoru, minimalizujeme tím vznik nežádoucích tepelných mostů, moderním řešením je vystavět samostatný izolovaný prostor vně nosné konstrukce.

Mrazírny – aplikace pro rozsah teplot od 0 °C do –40 °C



Obr. 9: Schéma konstrukčního uspořádání mrazírny pro teploty do -40°C [8]

4 Tepelné ztráty v plášti budovy a okolní vlivy

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 $q = -\lambda \frac{d\theta}{dx}$, v němž platí:

q hustota tepelného toku v kolmém směru na směr tepelného proudění (W/m^2),

λ součinitel tepelné vodivosti ($\text{W}/(\text{m.K})$),

θ teplota ($^{\circ}\text{C}$),

x směr proudění tepelného toku (souřadnice) (m).

Za předpokladu, že platí $\frac{d\theta}{d\tau} = 0$ 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: $Q = S \cdot q \cdot \tau = S \frac{\theta_2 - \theta_1}{d} \tau$, [11]

kde: Q množství tepla (W),

S plocha (m^2),

θ_1, θ_2 teploty na površích vrstvy materiálu ($^{\circ}\text{C}$),

d tloušťka vrstvy materiálu (m),

τ čas (s).

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 [11] .

4.2 Tepelný odpor konstrukce, součinitel prostupu tepla

Tepelný odpor konstrukce je dán podílem tloušťky a součinitele tepelné vodivosti homogenní materiálové vrstvy. Ve směru toku tepla jej lze jednoduše sčítat z dílčích tepelných odporů.

Výsledná hodnota tepelného odporu složené konstrukce pak činí

$$R = \sum_{j=1}^n R_j . \text{ Hodnoty tepelného odporu se uvádí v jednotkách } \text{m}^2 \cdot \text{K/W} .$$

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 hodnoty součinitelů přestupu tepla na povrchu [11] Tyto součinitele jsou v běžné praxi pro určité druhy konstrukcí konstantní a uvádí se v tabulkových hodnotách. Podle ČSN 14 8102 jsou předepsány hodnoty uvedené v tabulce 6.

Tab. 6: Hodnoty součinitelů přestupu tepla h ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) podle [5]

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 tepelně-izolační vlastnost izolantů

Tepelně-izolační schopnost termoizolantu je určena jeho fyzikálními vlastnostmi, především jeho materiálovou strukturou závislou na měrné a objemové hmotnosti, pórovitosti, obsahu vlhkosti, směru 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 například v certifikátu výrobce, však je naměřena bezprostředně po ukončení procesu výroby, tedy s nejvyšším obsahem plnicího plynu ve vypěněném plastru [3] [7] .

4.3.1 Účinnost tepelně-izolačních vrstev

Uspořádání tepelně-izolační vrstvy v obvodovém plášti představuje rozhodující faktor pro vyjádření účinnosti tepelně-izolačního systému. Účinnost tepelně izolační 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 opláštěním z ocelového plechu, který chrání tepelný izolant před vnějším atmosférickými projevy [7] .

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 nepřířaditelností 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 H_T a průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} apod. Obdobně jako u tepelných mostů se rozlišují lineární a bodové tepelné vazby [11] .

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°C, potom podlahou s vytápěním o teplotě +20°C, následně interiérem mrazírny o teplotě -24°C, pak podstřešním prostorem o teplotě 0°C a ústí ve venkovním prostředí nad střechou [7] .

4.3.3 Tepelná stabilita objektů

Tepelně-stabilitní kritérium dle [5] zabezpečuje tepelnou stabilitu prostředí i při výpadku energetického zdroje a určí se ze vztahu:

$$\theta_M(\tau) = \theta_t(\tau) + \theta_p(\tau)$$

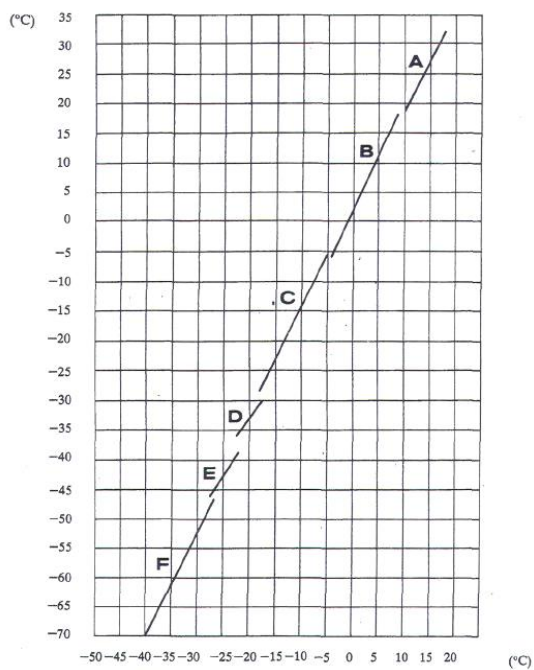
kde: $\theta_M(\tau)$ součtová teplota po časovém intervalu τ (maximální dovolený vzestup součtové teploty po časovém intervalu $\tau = 8$ hod) (K);

$\theta_t(\tau)$ teplota interiéru po časovém intervalu τ (K);

$\theta_p(\tau)$ 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 na obr. 10.

Grafický postup není příliš přesný, mimoto norma ani neuvádí například 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 [7] .



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

Obr. 10: Graf pro stanovení součtové teploty $\theta_m(\tau)$ podle provozní teploty chladírně a mrazírně

5 Energetická náročnost mrazíren

Hodnotíme-li energetickou náročnost objektu s řízenou vnitřní teplotou s využitím doposud uvedených hodnotících kritérií podle ČSN 14 8102, lze použít jednotné hodnotící kritérium s možností zatřídit hodnocený objekt do energetické třídy podle metodiky Vyhlášky č. 148/2007 Sb. Pro hodnocení však využijeme způsob hodnocení energetické náročnosti vytápěných objektů s využitím jak metodiky energetického štítku dle ČSN 73 0540-2, tak s využitím metodiky bilančního hodnocení dle metodiky Vyhlášky č. 148/2007 Sb. [9]

Při hledání modelu hodnocení se toto posouzení zaměřilo na objekty s vnitřní teplotou nižší než -5°C , tedy na skupinu mrazírenských a chladírenských objektů. Zde jsou výraznější teplotní rozdíly mezi venkovním a vnitřním prostředím, které jsou provozovány celoročně 365 dní v roce. Obecně lze tedy považovat mrazírny z hlediska provozních nákladů za nejvíce náročné stavební objekty.

5.1 Návrh hodnocení mrazíren podle jejich energetické náročnosti

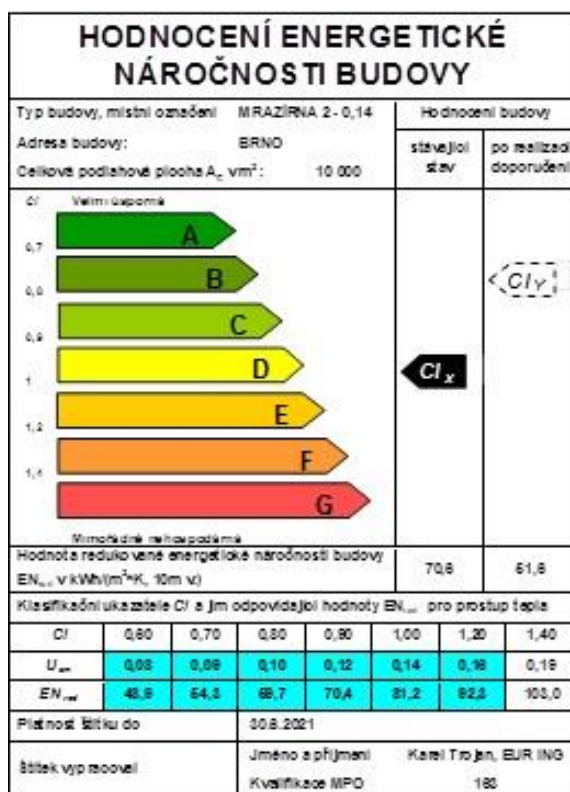
Analogicky s metodikou dle ČSN 73 0540-2, jejímž výsledkem je energetický štítek obálky budovy (EŠOB) a zároveň s použitím té části metodiky dle Vyhlášky č. 148/2007 Sb., která určuje měrnou energetickou náročnost objektu na vytápění bilanční metodou s použitím klimatických údajů a jejímž výsledkem je graficky shodný výstup, tzv. průkaz energetické náročnosti budovy (PENB), zde je navržen „energetický štítek mrazírny“, kde jsou pod sebou zakomponovány výsledky obou metodik.

To znamená, že zvolenou škálu hodnot průměrného součinitele prostupu tepla mrazíren v rozmezí $0,16 - 0,08 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ doplníme jednoznačně přiřazenou řadou hodnot měrné tepelné ztráty objektu mrazírny, redukovanou na jednotkovou výšku objektu 10 m.

U hodnoceného objektu se nejprve určí základní tepelná ztráta prostupem metodikou dle ČSN 730540-2, kde je nejprve stanovena měrná tepelná ztráta prostupem H (W/K) a k výpočtovému teplotnímu rozdílu mezi venkovním a vnitřním prostředím. V názvosloví ČSN 14 8102 se uvádí pojem „měrné tepelné zisky“. V posuzovaném objektu se jedná o energetickou ztrátu, může se tedy použít pojem „ztráta“, i když se nejedná ve skutečnosti o tepelnou ztrátu, ale o ztrátu chladu, což představuje tepelný zisk [7] .

Pro konkrétní objekt mrazírny jakéhokoli rozměru i tvaru, který bude mít jedinou (zvolenou či vypočtenou) hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla, lze jednoznačně přiřadit jedinou hodnotu měrné tepelné ztráty objektu mrazírny,

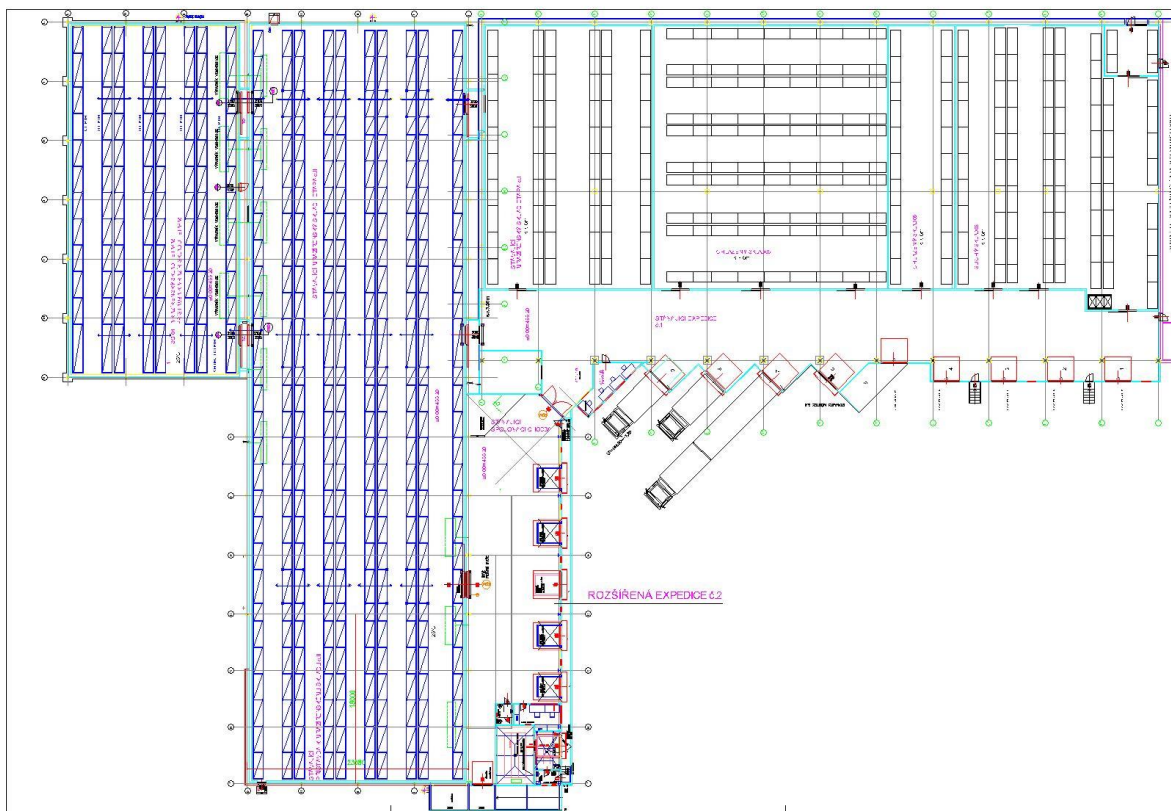
Po zahrnutí výsledků výpočtů [7] pro všechny tvarové řady objektů lze vytvořit dle výše uvedených metodik pro vytápěné objekty tzv. energetický štítek.



Obr. 11: Návrh zařazení mrazíren do energetické třídy – EŠOB, PENB [7]

6 Experimentální část

V experimentální části se tato práce zabývá návrhovými výpočty v různých modelových situacích s cílem zjištění, jak nejvíce uspořit energii spotřebovávanou na chlazení v mrazárnách, především v letních měsících při přímém osluňování stěn. Na následujícím příkladu mrazírny jsme vzali v potaz jižní stěnu a pomocí výpočtového software a meteorologických dat jsme vytvořili roční simulaci osluňování stěny dané mrazírny. Celý model byl vytvořen na běžném metru čtverečním stěny s respektováním požadavku na normovou teplotu uvnitř mrazírny -18°C .



Obr. 12: Celkový půdorys vybrané mrazírny

6.1 Cíle a metody experimentálních výpočtů

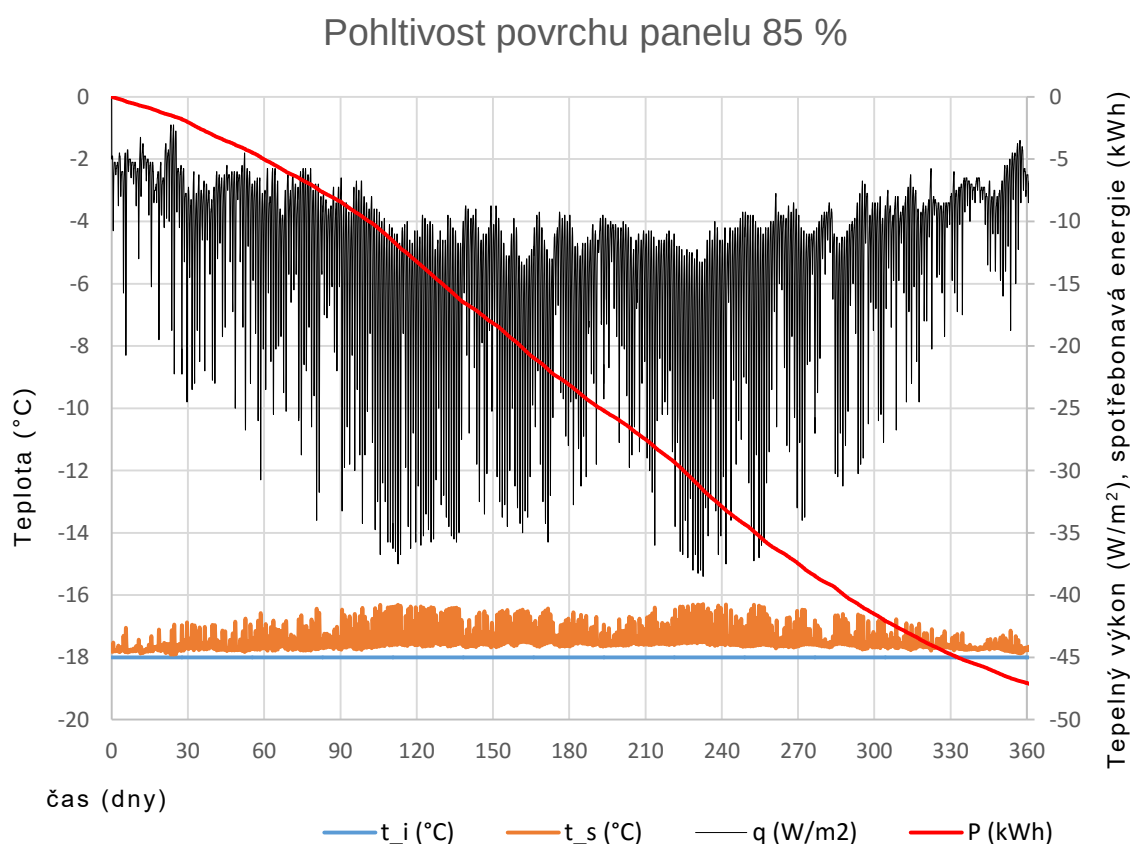
V první části experimentu se tato práce zabývá povrchovou úpravou panelů a jejich porovnáním z hlediska emisivity přijímaného slunečního záření. Porovnávali jsme následující pohltivosti povrchu 35 %, 50 % a 85 %.

V další části byl vytvořen model s předstěnou ze stínící plachty, která by odstínila sluneční záření a zároveň vytvořila větranou mezeru, jež by přirozeným komínovým efektem odvětrávala přehřátý vzduch.

Cílem je najít řešení, které nabídne co největší úspory během 1 roku simulovaného naším výpočtem.

6.2 Pohltivost povrchu izolačního PUR panelu 85 %

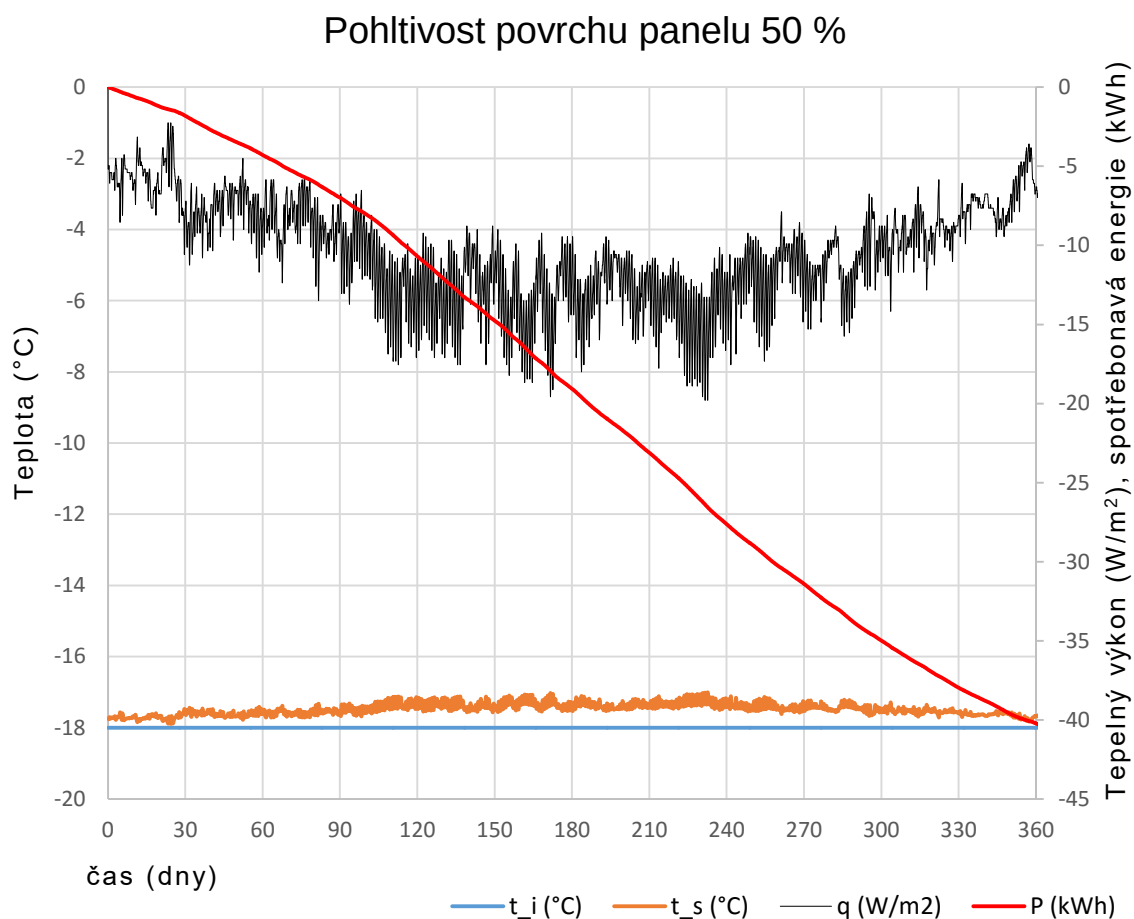
V následujícím grafu jsou zobrazeny energetické zisky q (W/m^2) při pohltivosti panelu 85 %. Hlavní ukazatel, tedy celková roční spotřeba P (kWh), dosáhla 47,4 kWh. Pro představu pohltivost 85 % se rovná staršímu nátěru PUR panelu s již vzniklými nerovnostmi a nečistotami na jeho povrchu.



Obr. 13: Výpočtové průběhy sledovaných veličin pláště mrazírny pro emisivitu vnějšího líce $\varepsilon = 0,85$

6.3 Pohltivost povrchu izolačního PUR panelu 50 %

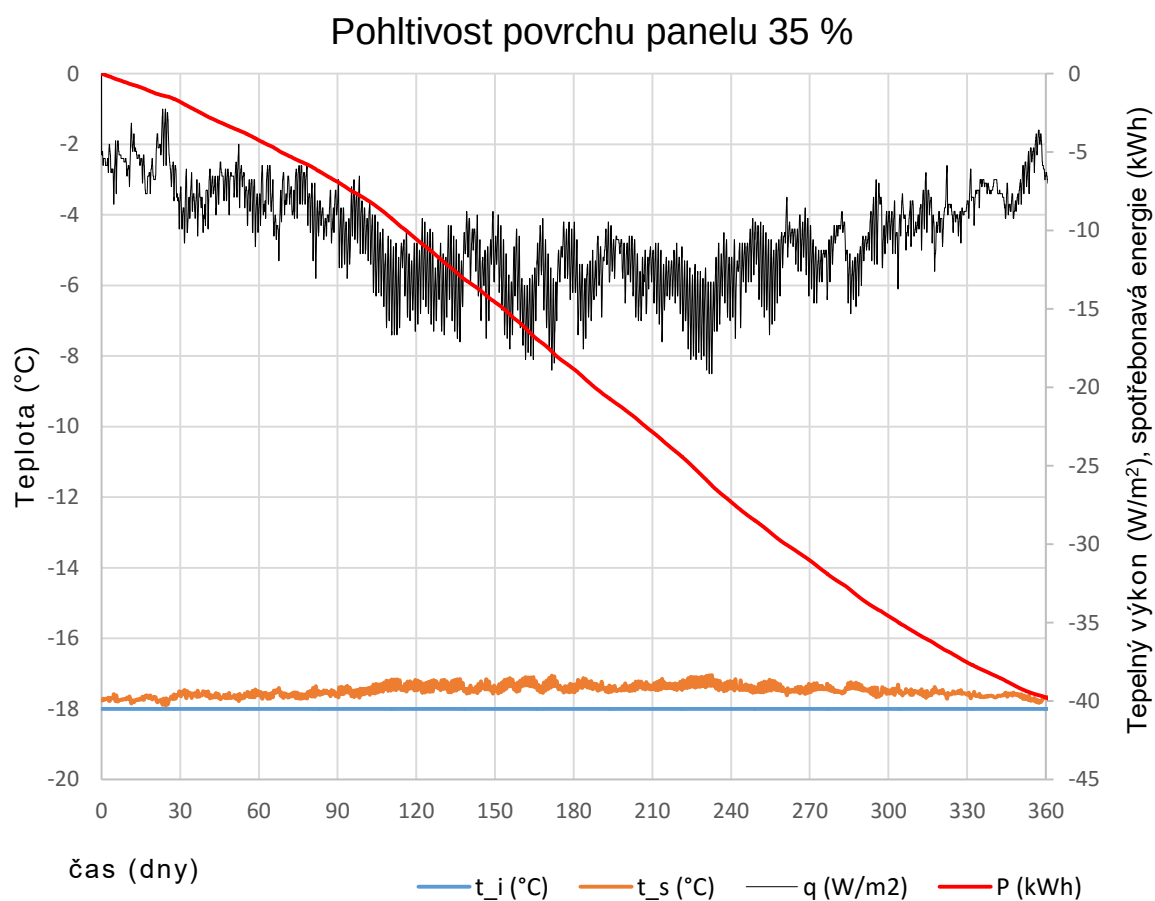
V tomto grafu jsou zobrazeny energetické zisky q (W/m^2) při pohltivosti povrchu panelu 50 %. Změna množství přijatého slunečního záření se projevila na hlavním ukazateli, tedy na celkové roční spotřebě P (kWh), která se snížila na 40,5 kWh ročně. Emisivita povrchu 50 % odpovídá běžnému povrchu panelu vystavenému povětrnostním vlivům v řádu jednotek let.



Obr. 14: Výpočtové průběhy sledovaných veličin pláště mrazírny pro emisivitu vnějšího líce $\varepsilon = 0,50$

6.4 Pohltivost povrchu izolačního PUR panelu 35%

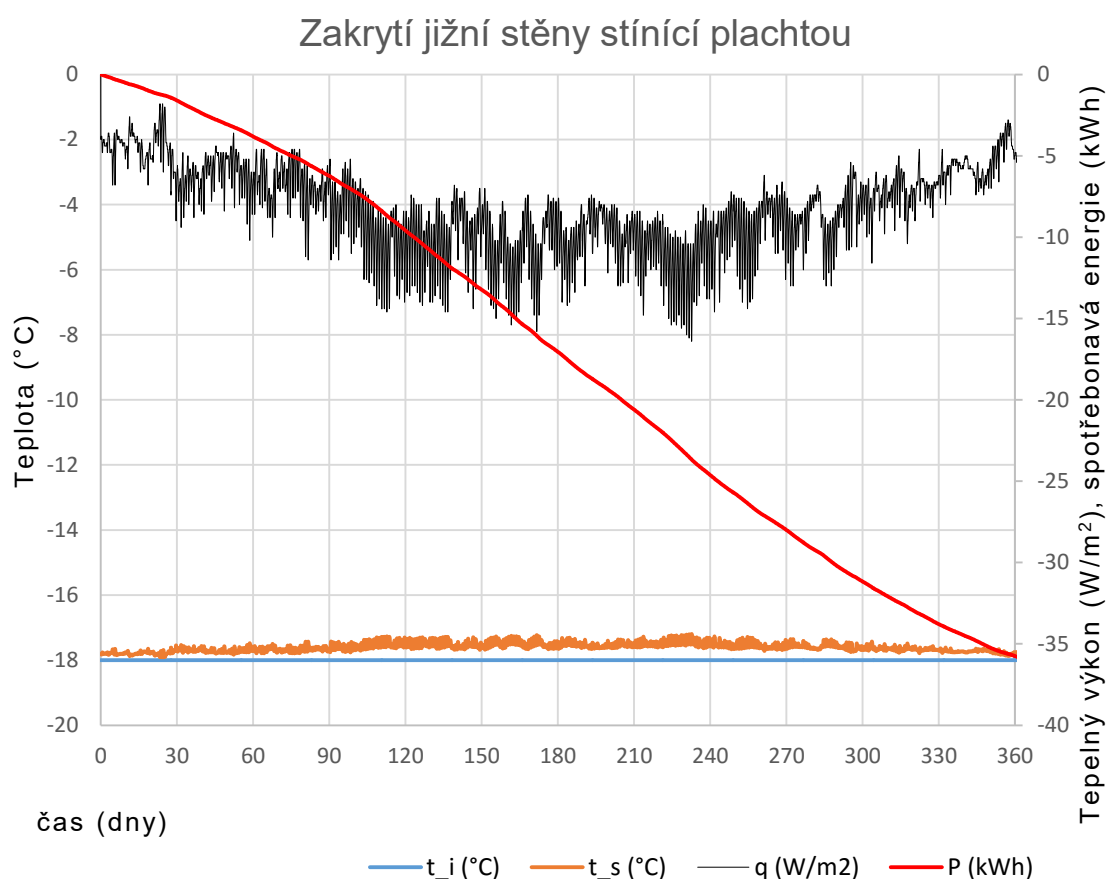
Při dalším snížení pohltivosti povrchu se energetické zisky q (W/m^2) již zásadně nemění. V tomto případě byla celková roční spotřeba P (kWh) 40,1 kWh/rok . Emisivita 35 % představuje nový povrch panelu, který bývá nejčastěji upraven polyesterovým lakem.



Obr. 15: Výpočtové průběhy sledovaných veličin pláště mrazírny pro emisivitu vnějšího líce $\varepsilon = 0,35$

6.5 Odstínění jižní stěny mrazírny

V případě zakrytí posuzované jižní stěny stínící plachtou se dostáváme k výsledku celkové roční spotřeby $P = 36,5$ kWh/rok. To v porovnání s emisivitou povrchu 85 % (emisivita starého PUR panelu) představuje téměř čtvrtinovou úsporu roční spotřeby energie při nenáročné stavební úpravě s minimálními investičními náklady. Uvažovaná stínící plachta je schopná odstínit 90 % [13] dopadajícího záření bez speciálních úprav. Cílem tohoto návrhu je jak samotné odstínění slunečním zářením namáhané konstrukce, tak realizace větrané mezery mezi panelem a stínící plachtou. Právě díky těmto dvěma faktorům se ve výpočtech dosáhlo zde prezentovaných výsledků.



Obr. 16: Výpočtové průběhy sledovaných veličin pláště mrazírny zakrytého stínící plachtou

6.6 Zhodnocení experimentální části

V návrhových výpočtech vytvořených za reálných okrajových podmínek bylo zjištěno, že i drobná úprava stávající konstrukce mrazírny dovede teoreticky uspořit značnou část provozních nákladů. Je však potřeba dosažené hodnoty posuzovat jako hodnoty čistě výpočtové, vztažené k jednomu roku zaznamenaného meteorologickým měřením v dané oblasti. Model zastínění byl navržen pouze na jižní stranu objektu mrazírny, z důvodu nejvyššího zatížení slunečním zářením.

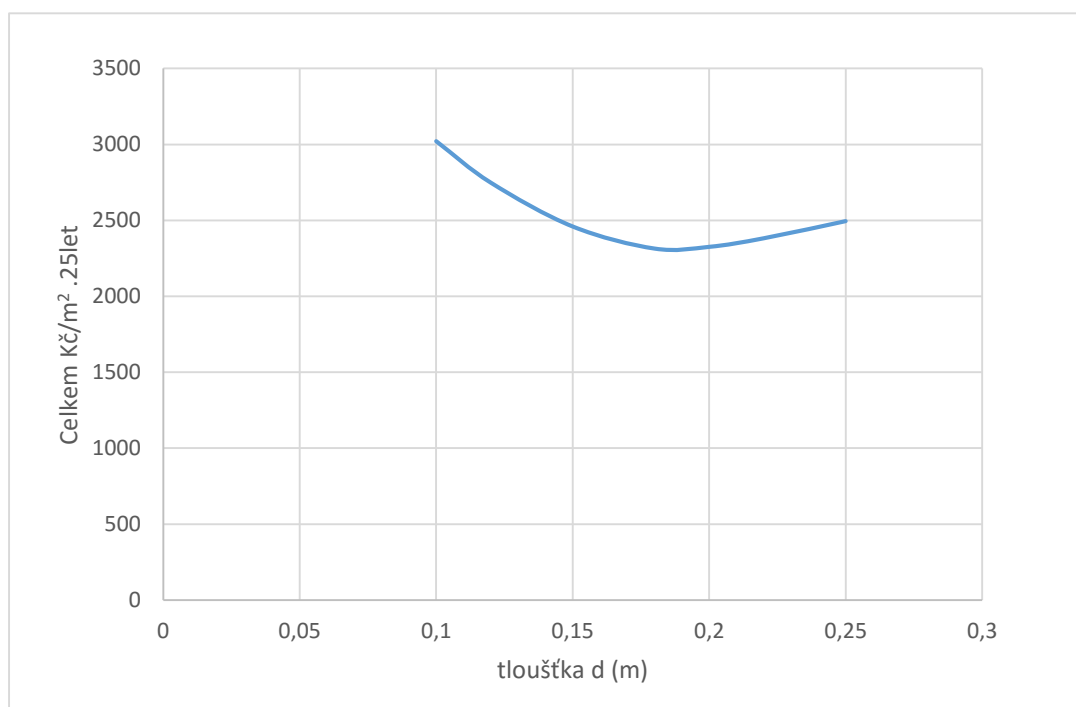
Nejde tedy o hodnoty garantované a beze zbytku převeditelné do praxe. Nicméně se dá předpokládat, že pokud nastane rok s vyšším počtem hodin slunečního svitu, související úspory na spotřebované energii by mohly nadále stoupat, protože daná opatření jsou navržena a fungují právě v dny, kdy je konstrukce mrazírny nejvíce zatížena slunečním zářením. Je třeba také zvážit použití materiálu na odstínění stěny. Výhodou použití stínící plachty je možnost doplnění reklamním potiskem, čímž lze spojit funkční vlastnosti s vlastnostmi užitnými. Použije-li se speciální materiál bude potřeba posoudit, zdali bude mít předpokládaná investice návratnost. Obecně lze tuto investici považovat za nenáročnou, nevyžaduje přerušení či omezení provozu v daném objektu. Pro představu se toto opatření nákladově pohybuje ve stovkách korun na 1 m² stínící plachty.

6.7 Optimální tloušťka panelu na izolaci mrazíren

Praktický dotaz vyvstává při pohledu na sortiment panelů a jejich tloušťku izolace. Jednoduchým výpočtem lze názorně objasnit, že dnes nejvíce používaná tloušťka izolačního panelu 180 mm, má svá opodstatnění v souvislosti s náklady na pořízení a následnými náklady na provoz mrazírny.

Tab. 7: Výpočet celkové ceny na pořízení a provoz mrazírny pro různé tloušťky PUR panelů. Zdroj cenových údajů <http://www.bachl.cz>, verze květen 2016

d (m)	Kč/m ²	U (W/m ² ·K)	q (W/m ²)	kWh/m ² ·25let	Kč/m ² ·25let	celkové Kč/m ² ·25let
0,1	520	0,240	5,710	1250,4	2501	3021
0,12	650	0,201	4,790	1049,1	2098	2748
0,15	770	0,162	3,858	845,0	1690	2460
0,18	900	0,136	3,230	707,4	1415	2315
0,2	1050	0,122	2,914	638,1	1276	2326
0,22	1220	0,112	2,654	581,2	1162	2382
0,25	1470	0,098	2,341	512,6	1025	2495



Obr. 17: Grafické znázornění celkové ceny na pořízení a provoz mrazírny pro různé tloušťky PUR panelů

7 Závěr

Předložená práce je věnována problematice mrazíren, jako specifického stavebního objektu s řízenou vnitřní teplotou, z hlediska energetické náročnosti. Náklady na provoz těchto objektů představují významnou položku v rozpočtu pro jejich provozovatele, tak i v porovnání s ostatními stavebními objekty je můžeme zhodnotit jako objekty energeticky nejnáročnější.

Tato skutečnost tvoří podnět, který vedl k úvahám navrhnout jednoduchá řešení, jež vedou k energetickým úsporám. To může ulevit jak životnímu prostředí, tak jejich provozovatelů v nákladech na spotřebovanou energii.

Výpočty provedené v rámci této bakalářské práce zohledňují změnu fyzikální vlastnosti emisivity povrchu mrazíren přímo vystavených slunečnímu záření. Dále pak alternativu instalace stínící plachty, která by snížila přímé sluneční zatížení a zároveň vytvořila větranou mezeru mezi panely a plachtou. Změna emisivity povrchu sendvičových panelů, které tvoří opláštění mrazíren, souvisí se stárnutím nátěru.

Na příkladu panelu s emisivitou povrchu 85 %, odpovídající staršímu povětrností degradovanému nátěru mrazírny, jsme po optimalizaci dovedli uspořit až 1/4 ročních provozních nákladů na 1 m² jižní stěny objektu mrazírny. V případě nových panelů s neporušeným lakem a emisivitou povrchu 35 % vychází uspořené náklady při instalaci stínění na 1/10 z celkové roční spotřeby. Z toho vyplývá, že takto navržená optimalizace bude účinná pouze pro starší objekty, kde už původní ochrana povrchu panelu proti přímému slunečnímu zatížení zcela neplní svoji funkci.

Dále se práce zabývala také tloušťkou tepelné izolace v izolačních panelech, kde z dostupných údajů a našeho výpočtového modelování se prokázalo, že dnes nejvíce používaná tloušťka izolace 180 mm se jeví jako nejvýhodnější, předpokládáme-li životnost objektu 25 let.

Výsledky této bakalářské práce dokazují, že energetická náročnost mrazíren může být i dodatečně optimalizována. Je totiž do budoucna jisté, že i nadále bude vyvíjen tlak na snižování spotřeby v těchto typech objektů.

Závěrem je třeba zmínit, že na návrh optimalizace tak, jak je vytvořen v této práci, je potřeba nahlížet jako teoretický, na který lze navázat pro další studium v dané problematice.

8 Seznam použité literatury

- [1] International Institute of Refrigeration (IIR), *Statement 2005 Editio COP11 Montreal*, Montreal, Canada, 2005
- [2] ŠVENDOVÁ, K., *Konzervační metody využitelné v masné výrobě*, Brno 2012. Bakalářská práce. Mendelova Univerzita v Brně. Agronomická Fakulta
- [3] JDK, spol. s.r.o. *Chladírny, mrazírny*. [online]. 2012 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.jdk.cz/cs/reseni/chladirny-mrazirny>
- [4] HALAHYJA, M., *Stavební tepelná technika, akustika a osvetlenie*, Alfa Bratislava, 1986
- [5] ČSN 14 8102 – Tepelné izolace chladíren a mrazíren, ÚNMZ Praha 2005
- [6] ČSN 73 0540 – 1-4: Tepelná ochrana budov, ÚNMZ Praha 2009
- [7] ŠŤASTNÍK, S.; TROJAN, K.; VALA, J. *Studium materiálů v objektech s řízenou vnitřní teplotou*. VUT Brno, 2011. s. 143-149. ISBN: 978-80-214-4372- 3.
- [8] SMOLA KONSTRUKCE, s.r.o. *Výstavba chladíren a mrazíren*. [online]. 2015 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://www.smolakonstrukce.cz/chladirny_a_mrazirny.html
- [9] Kingspan a.s. *Chladírenské systémy Kingspan*. [online]. 2005 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://panely.kingspan.cz/Brozury-popisujici-sendvicove-izolacni-panely-7471.html?pg=2>
- [10] Vyhláška č. 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov
- [11] DAVIES, Morris Grenfell. *Building heat transfer*. Hoboken, NJ: J. Wiley, c2004. ISBN 04-708-4731-X.
- [12] VAVERKA, J., CHYBÍK, J., MRLÍK, F. *Stavební fyzika*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1649-1.
- [13] Tennis EQ. *Výroba reklamních plachet a stínících sítí*. [online]. 2013 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.tenniseq.cz/potisk.htm>