

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

(Katedra technologických zařízení staveb)

**Tepelně technické vlastnosti a snižování
spotřeby energie budov**

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Autor práce: Jiří Týbl

PRAHA 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra technologických zařízení staveb

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Týbl Jiří

Technologická zařízení staveb

Název práce

Tepelně technické vlastnosti a snižování spotřeby energie budov

Anglický název

Thermal properties and reduction energy consumption in buildings

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je provést zhodnocení tepelně technických vlastností a možností úspor při vytápění budov. Zaměřit se především na metody umožňující snížení spotřeby energie a dodržení potřebných provozních a hygienických parametrů pohody prostředí.

Metodika

Na základě poznatků z literatury i vlastních úvah a měření provést rozbor možností využití různých druhů tepelně izolačních materiálů a energeticky úsporných systémů vytápění budov. Uvést princip výpočtu tepelné bilance pro zimní období, způsoby zlepšení tepelně technických vlastností budov a využití vhodných zdrojů energie. Navrhnout a doporučit vhodná opatření a řešení pro praxi.

Osnova práce

1. Úvod
2. Výpočet zimní tepelné bilance budovy
3. Výběr vhodných metod zlepšení zimní tepelné bilance
4. Využití vhodných zdrojů energie a způsobů vytápění
5. Ekonomické zhodnocení
6. Závěr a doporučení pro praxi

Rozsah textové části

30 až 40 stran textu

Klíčová slova

Vytápění; tepelná izolace; pohoda prostředí; spotřeba energie

Doporučené zdroje informací

Nový, R. et al: Technika prostředí. ČVUT, Praha, 2000, 265 s.

Daniels, K.: Technika budov. Jaga, Bratislava, 2003, 519 s

Dahlsveen, T.-Petráš, D.-Hirš, J.: Energetický audit budov. Bratislava, 2003, 295 s.

Tywoniak, J.: Nízkoenergetické domy - principy a příklady. Grada, Praha, 2005, 194 s.

Székyová, M.-Ferstl, K.-Nový, R.: Větrání a klimatizace. JAGA, Bratislava 2006, 359 s.

Treuová, L.-Počinková, M.: Vytápění. Computer press, Brno 2011. 151 s.

Počinková, M.-Čuprová, D.-Rubinová, O: Úsporný dům. Computer press, Brno 2012. 184 s.

Časopisy: Vytápění, větrání, instalace.

Vedoucí práce

Kic Pavel, prof. Ing., DrSc.

Termín zadání

listopad 2013

Termín odevzdání

duben 2015

doc. Ing. Miroslav Přikryl, CSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 3.2.2014

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Tepelně technické vlastnosti a snižování spotřeby energie budov" jsem vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Pavla Kice, DrSc. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 25.3.2015

Abstrakt: Cílem této bakalářské práce je ucelené shrnutí všech širších souvislostí, které jsou zásadní při výpočtu zimní tepelné bilance - tedy přehled začínající u samotné metody jejího výpočtu, přes zmínění několika možností, jak dosáhnout snížení spotřeby energie až po faktory, které mají přímý vliv na tepelnou bilanci. Všechny tyto souvislosti je vhodné si uvědomit a zohlednit ideálně již v samotném návrhu budovy. Tyto skutečnosti jsou v rámci práce aplikovány na dvou existujících budovách a vzhledem k jejich rozdílnému charakteru je odlišný také výběr řešení. Oba návrhy zlepšení zimní tepelné bilance jsou následně ekonomicky zhodnoceny. V neposlední řadě jsou zmíněna fakta, která během životního cyklu budovy úzce souvisí s ekologií.

Klíčová slova: tepelná bilance, spotřeba energie, vytápění, tepelná izolace

Thermal properties and reduction energy consumption in buldings

Summary: The aim of this bachelor thesis is to summarize all circumstances that take part in calculating the heat balance during winter. First, it is the method of calculation itself. Secondly, the author mentions several methods of reaching a lower power consumption. Then he discusses the factors that have a direct influence on the heat balance. All the circumstances mentioned should be taken into account when designing a building. Moreover, the author puts his findings into effect when he comes up with a solution of reduction of energy consumption of two buildings and he also provides an economical assessment of the solutions. As both of the buildings are of a different type, both the solutions seem to be different. In the last chapter, the author discusses ecological issues closely related to the life cycle of buildings.

Key words: heat balance, power consumption, heating, thermal insulation

Obsah

1. Úvod	1
2. Výpočet zimní tepelné bilance budovy	3
2.1. Stanovení postupu výpočtu	3
2.1.1. <i>Kvazistacionární metoda</i>	3
2.1.2. <i>Dynamická metoda</i>	4
2.2. Položky energetické bilance	4
2.3. Volba výpočtové metody	5
2.4. Vlastní výpočet pro konkrétní příklad – rozlehlá budova	5
2.4.1. <i>Popis objektu, stanovení hranice vytápěného prostoru a hranic zón</i>	5
2.4.2. <i>Tepelné ztráty při konstantní vnitřní teplotě</i>	6
2.4.3. <i>Tepelné zisky</i>	9
2.4.4. <i>Tepelná bilance objektu</i>	9
2.5. Vlastní výpočet pro konkrétní příklad – vysoká hala.....	10
2.5.1. <i>Popis objektu, stanovení hranice vytápěného prostoru a hranic zón</i>	10
2.5.2. <i>Tepelné ztráty při konstantní vnitřní teplotě</i>	10
2.5.3. <i>Tepelné zisky</i>	11
2.5.4. <i>Tepelná bilance objektu</i>	11
2.6. Srovnání s referenční budovou.....	12
3. Výběr vhodných metod zlepšení zimní tepelné bilance	13
3.1. Ztráty určené charakterem konstrukce	13
3.1.1. <i>Zlepšení zvýšením tloušťky konstrukce</i>	13
3.1.2. <i>Zlepšení snížením tepelné vodivosti konstrukce</i>	14
3.1.3. <i>Zlepšení snížením ochlazovaného povrchu</i>	15
3.2. Příklad – snížení ochlazovaného povrchu.....	16
3.3. Stavebně koncepční řešení	18
3.4. Ztráty určené způsobem užívání budovy	19

4. Využití vhodných tepelných zdrojů energie a způsobů vytápění	21
4.1. Přehled běžných zdrojů energie pro vytápění	21
4.1.1. Tuhá paliva.....	21
4.1.2. Kapalná paliva	23
4.1.3. Plynná paliva.....	24
4.1.4. Elektrická energie.....	25
4.2. Vliv způsobu vytápění na zimní tepelnou bilanci	26
4.3. Volba vhodného otopného systému pro konkrétní příklad	26
4.3.1. Problematika vytápění velkoprostorových objektů	26
4.3.2. Srovnání vytápěcích systémů.....	28
4.3.3. Zhodnocení výsledků měření	30
5. Ekonomické zhodnocení.....	32
5.1. Zhodnocení konečného řešení – rozlehlá budova	32
5.1.1. Finanční návratnost.....	33
5.1.2. Energetická návratnost.....	34
5.2. Zhodnocení konečného řešení – vysoká hala.....	35
5.2.1. Finanční návratnost.....	36
6. Závěr a doporučení pro praxi.....	37
7. Seznam použitých zdrojů	38
8. Seznam použitých symbolů	41
9. Seznam obrázků.....	43
10. Seznam tabulek	43

Přílohy:

Příloha A – Půdorys 1:200 – rozlehlá budova.....	I
Příloha B – Pohledy 1:200 – rozlehlá budova.....	II
Příloha C – Naměřené hodnoty – rozlehlá budova.....	III
Příloha D – Půdorys 1:200 – vysoká hala.....	V
Příloha E – Pohledy 1:200 – vysoká hala.....	VI
Příloha F – Naměřené hodnoty – vysoká hala.....	VII

1. Úvod

Snaha o snižování spotřeby energie je pro dnešní dobu opravdu aktuálním, téměř charakteristickým tématem. V civilizovaném světě je trend její úspory zřejmý snad v každém odvětví lidské činnosti. Přístup člověka k energiím a hospodaření s nimi se mění stejně zásadně jako jejich ceny. Ty za poslední čtvrtstoletí téměř nepřetržitě rostou. Některé zdroje uvádějí, že až 40 % energií spotřebovaných v EU bylo použito při výstavbě a provozu budov. [20]

Na problematiku spotřeby energie v budovách, především té potřebné na jejich vytápění, je stejně tak zaměřena tato práce. Cílem je shrnutí několika dílčích částí, které s tímto tématem úzce souvisí do jednoho celku. Aby nešlo jen o soubor teoretických pojmů, byly vybrány dva průmyslové objekty, které nespĺňují současné představy o tepelně technických vlastnostech budov. Jsou stanoveny jejich hlavní nedostatky, které u každé z nich mají jiný charakter. Následně jsou navržena vhodná řešení problému, jež se také výrazně liší.

Pro posouzení tepelně technických vlastností budov je vhodné znát jejich energetickou bilanci. K jejímu výpočtu slouží několik metod, které jsou různé v závislosti na účelu stanovení bilance budovy a dalších okolnostech. V této práci je určena bilance obou zmíněných objektů, tím jsou získány konkrétní hodnoty, na jejichž základě je možno následně předpovědět možnou energetickou úsporu. V praxi z energetické bilance vychází například dnes velmi aktuální energetický průkaz budovy.

Přístup ke zlepšení zimní tepelné bilance se může značně lišit, řešení tohoto problému může začít u změny chování uživatelů objektu, pokračovat výběrem vhodnějšího způsobu vytápění a vést až k nákladným konstrukčním modifikacím v podobě dodatečné tepelné izolace, což je nakonec jedna z dnes nejčastěji prováděných stavebních úprav. Proto stojí za zmínku přehled některých těchto metod, jejich částečný rozbor a ukázka příkladu použití. Nejlepší variantou samozřejmě je, když je objekt postaven tak, že jeho tepelná bilance je již od začátku provozu optimální a není potřeba ji nikterak zlepšovat. To představuje stav, jemuž díky stále přísnějším normám vyhovuje převážná většina budov stavěných v dnešní době na území EU. Za pozornost stojí také

řada vlivů, které působí na energetickou náročnost budovy a člověk si je přitom nemusí uvědomit, jejich převážná část bývá skryta pod pojmem „stavebně koncepční řešení“.

Všechny úpravy, které snižují potřebu energie budovy na vytápění, znamenají jistou nadstavbu nad nezbytně nutný základ, tedy i další finanční zátěž. Dá se předpokládat, že kdyby neexistovala reálná návratnost této investice, zájem o snižování energetické náročnosti budov ze strany jejich provozovatelů by byl minimální. Zavádění norem, které vyžadují daný energetický standard, by tak narazilo na odpor. Díky vysokým cenám energie k takovému stavu nedochází a finanční návratnost je v případě novostaveb jen zlomkem jejich životnosti. Jiná situace je v případě energetického nebo emisního životního cyklu stavby, otázku kolik energie bylo spotřebováno nebo emisí vyprodukováno za účelem výroby materiálu, realizace, či likvidace stavby, si investor klade jen zřídka.

2. Výpočet zimní tepelné bilance budovy

2.1. Stanovení postupu výpočtu

Při výpočtu zimní tepelné bilance je možno vycházet z normy ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. Tato aktuální norma propojuje postupy pro režimy vytápění a chlazení budov. Což je pro případ této práce, tedy pouze stanovení zimní tepelné bilance, vzhledem k zeměpisné šířce, ve které se nachází zkoumané objekty zbytečné. Pro zjednodušení a zvýšení přehlednosti je možno vycházet z předpokladu, že během zimního období bude teplo do budovy pouze dodáváno, nikoliv odebíráno. Postupy výpočtu tepelné bilance pro letní období se principiálně nijak zvlášť neliší od zimního období. Zavádějí však řadu dalších pojmů, které jsou pro daný případ nadbytečné. Z toho důvodu je možno se částečně omezit na již neplatnou normu ČSN EN 832 Tepelné chování budov – výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy, ze které ostatně ČSN EN ISO 13790 vychází. Dá se předpokládat, že výsledky budou pro obě normy shodné, naopak dle ČSN EN 832 bude celý postup přehlednější. [16; 19]

Aby výpočet vedl k relevantnímu výsledku, je nutné určit metodu, podle níž se bude postup dále řídit. ČSN EN ISO 13790 stanovuje dva základní typy metod, pro něž existuje řada dílčích. Ty se liší především délkou intervalu, v němž se metoda zpracovává nebo prací s okrajovými podmínkami. Jednotlivé výsledky není vždy možno obecně považovat za korektní pro řádově delší časový úsek, než pro který byly naměřeny, lze je však prohlásit za správné. Norma rozlišuje tyto dva hlavní typy metod:

2.1.1. Kvazistacionární metoda

Podle této metody se počítá tepelná bilance pro delší časový úsek, zpravidla měsíc nebo rok. To vede k rozložení a zprůměrování potřebné, či získané energie na akumulaci tepla ve stavebním materiálu. Hodí se ke zjištění potřeby energie na vytápění a chlazení pro dlouhodobý provoz budovy. [19]

2.1.2. Dynamická metoda

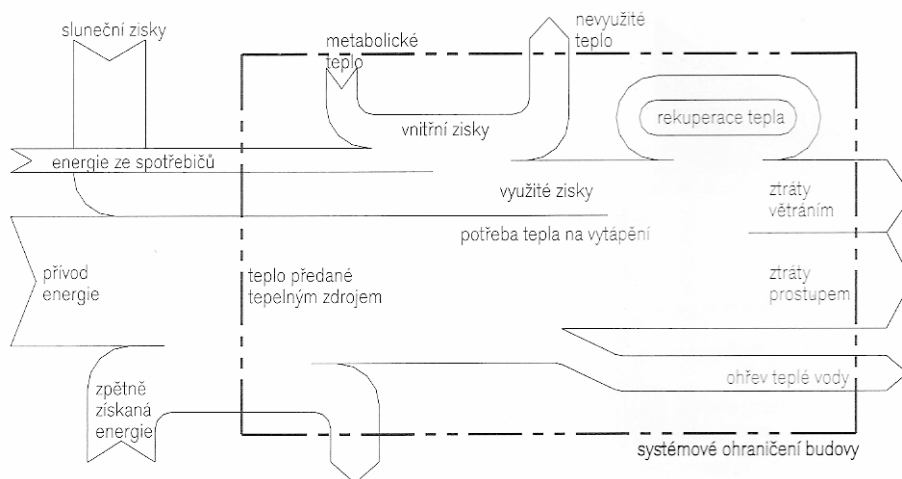
Dynamická metoda slouží na rozdíl od metody kvazistacionární k výpočtu tepelné bilance pro krátký časový úsek, zpravidla jedné hodiny. Tato metoda zohledňuje reakce na akci v podobě okamžitého přebytku či nedostatku tepla. Využívá se při návrhu optimálního nastavení aktivních prvků budovy, jako jsou ventilátory, sluneční clony a podobně. [19]

2.2. Položky energetické bilance

Podle ČSN EN 832 energetická bilance na úrovni budovy zahrnuje tyto základní položky (uvažuje jen citelné teplo):

- ztráty prostupem tepla a větráním mezi vnitřním a vnějším prostředím
- ztráty prostupem tepla a větráním a tepelné zisky ze sousedních zón
- užitečné vnitřní tepelné zisky, tzn. využitě množství tepla z vnitřních tepelných zdrojů
- využitě solární zisky
- ztráty při výrobě a distribuci, emisní ztráty a ztráty regulací vytápěcího systému
- vstup energie do otopné soustavy [16]

Obr. 1 Roční energetické bilance budovy



Zdroj: [16]

2.3. Volba výpočtové metody

U obou zkoumaných objektů je vhodné zvolit kvazistacionární výpočtovou metodu s intervalem jednoho otopného období, pomocí které je možno zjistit potřebu energie pro jejich dlouhodobý provoz. Na tomto základě dále jdou předpovědět eventuální energetické úspory, jichž lze dosáhnout přijetím odpovídajících nápravných opatření. Postup výpočtu vychází z ČSN EN 832.

2.4. Vlastní výpočet pro konkrétní příklad – rozlehlá budova

2.4.1. Popis objektu, stanovení hranice vytápěného prostoru a hranic zón

Jedná se o jednopodlažní stavbu v Horních Počernicích, jejíž první část byla vystavěna v roce 1940 a během 15ti let byla dodatečně rozšířena o další dvě haly. Každá z těchto částí byla postavena rozdílným způsobem, byly zde použity i jiné materiály. Liší se také jejich konstrukční výška, každá však má pultovou střechu. Všechny části jsou vzájemně propojeny a dohromady dosahují podlahové plochy 404 m². Vytápění je zajištěno centrálním kotlem na zemní plyn, teplo je následně rozváděno trubkovou otopnou soustavou s článkovými tělesy po celém objektu. V současné době je budova používána jako sklad kancelářských potřeb, drogerie a některých trvanlivých potravin. Pro doplnění a vytvoření bližší představy o objektu slouží příloha A a B.

Jako vytápěný prostor jsou uvažovány pouze vnitřní prostory budovy. Ty jsou ohraničeny vnitřním lícem obvodových stěn, svrchní rovinou podlahy a spodním lícem střechy. Přesto, že v prostranství u vstupních vrat dochází k značným ztrátám tepla větráním, není tento prostor oddělen od zbytku budovy, tudíž jej nelze prohlásit za samostatnou zónu. Proto se tento objekt bude považovat za jednozónový.

2.4.2. Tepelné ztráty při konstantní vnitřní teplotě

Měrné tepelné ztráty prostupem obvodovým pláštěm:

Z důvodu značného množství dat jsou uvedeny pouze obecné vztahy (1) až (4), numerické dosazení je provedeno v tab. 1.

$$R_n = \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (1)$$

R_n	tepelný odpor n-té vrstvy [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
d_n	tloušťka n-té vrstvy v konstrukci [m]
λ_n	návrhová tepelná vodivost materiálu n-té vrstvy [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$], [9]

$$R_{Tj} = R_{si} + R_{n...} + R_{se} \quad (2)$$

R_{Tj}	odpor při prostupu tepla j-tou složkou pláště [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
R_{si}	vnitřní odpor při přestupu tepla [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$], [17]
R_j	tepelný odpor skladby vrstev [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
R_{se}	vnější odpor při přestupu tepla [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$], [17]

$$U_j = \frac{1}{R_{Tj}} \quad (3)$$

U_j	součinitel prostupu tepla pro j-tou složkou pláště [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
-------	---

$$H_{Tp} = \sum_j A_j \cdot U_j \quad (4)$$

H_{Tp}	měrná ztráta prostupem tepla obalovými konstrukcemi [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$]
A_j	vnější plocha j-té složky pláště [m^2]

Tab. 1 Numerický výpočet měrné ztráty tepla obvodovým pláštěm – rozlehlá budova

Název složky pláště	A_j [m ²]	λ_1	λ_2	λ_3	d_1	d_2	d_3	R_1	R_2	R_3	R_{si}	R_{se}	R_{Tj}	U_j [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	H_{Tp} [W·K ⁻¹]
		[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]			[m]			[m ² ·K·W ⁻¹]							
Cihla 30	33,87	0,880	0,83	0,99	0,015	0,30	0,015	0,017	0,361	0,015	0,13	0,04	0,564	1,774	2644,3
Cihla 45	232,91	0,880	0,83	0,99	0,015	0,45	0,015	0,017	0,542	0,015	0,13	0,04	0,744	1,343	
Cihla 60	44,00	0,880	0,83	0,99	0,015	0,60	0,015	0,017	0,723	0,015	0,13	0,04	0,925	1,081	
Beton 20	117,15	0,880	1,43	0,99	0,015	0,20	0,015	0,017	0,140	0,015	0,13	0,04	0,342	2,923	
Ytong	10,10	0,880	0,13	0,99	0,015	0,15	0,015	0,017	1,154	0,015	0,13	0,04	1,356	0,737	
Eurookno	36,48	0,003	-	-	0,024	-	-	0,923	-	-	0,13	0,04	1,093	0,915	
Luxfera	10,08	0,230	-	-	0,080	-	-	0,348	-	-	0,13	0,04	0,518	1,931	
Vrata	8,41	50,00	-	-	0,001	-	-	0,000	-	-	0,13	0,04	0,170	5,882	
Střecha A	187,39	0,880	1,43	0,20	0,015	0,15	0,004	0,017	0,105	0,020	0,10	0,04	0,282	3,547	
Střecha B	180,98	0,880	1,43	50,0	0,015	0,15	0,001	0,017	0,105	0,000	0,10	0,04	0,262	3,818	
Střecha C	108,96	0,880	1,43	50,0	0,015	0,15	0,001	0,017	0,105	0,000	0,10	0,04	0,262	3,818	

Zdroj: (Vlastní – tepelná vodivost dle [9]; odpor při přestupu tepla dle [17])

Měrné tepelné ztráty prostupem zeminou:

$$B' = \frac{A_z}{0,5 \cdot P} = \frac{437,8}{145,0} = 6,04 \text{ [m]} \quad (5)$$

B' charakteristický rozměr podlahy [m]

A_z plocha styku se zeminou [m²]

P volný obvod budovy [m]

$$d_t = w + \lambda_z \cdot (R_{si} + R_{n...} + R_{se}) \quad (6)$$

d_t ekvivalentní tloušťka podlah [m]

w střední tloušťka obvodových stěn [m]

λ_z návrhová tepelná vodivost zeminy [W·m⁻¹·K⁻¹], [18]

$$U_z = \frac{2 \cdot \lambda_z}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \quad (7)$$

$$U_z = \frac{2 \cdot 2}{\pi \cdot 6,04 + 1,1} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot 6,04}{1,1} + 1 \right) = 0,58 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

U_z ekvivalentní součinitel prostupu tepla zeminou [W·m⁻²·K⁻¹]

$$H_{Tz} = A_z \cdot U_z = 437,8 \cdot 0,58 = 253,53 \text{ [W} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (8)$$

H_{Tz} měrná ztráta prostupem tepla zeminou [W·K⁻¹]

Měrné tepelné ztráty větráním:

$$\dot{V} = \dot{V}_{min} = 0,5 \cdot V = 0,5 \cdot 1512,37 = 756,2 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (9)$$

\dot{V} celkový objemový tok vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

\dot{V}_{min} minimální hodinová výměna vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$], [16]

V objem vytápěného prostoru [m^3]

$$H_V = \dot{V} \cdot \rho_a \cdot c_a = 756,2 \cdot 0,34 = 257,1 \text{ [W} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (10)$$

H_V měrná tepelná ztráta větráním [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$]

$\rho_a \cdot c_a$ tepelná kapacita vzduchu o jednotkovém objemu [$\text{W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$], [16]

Celkové tepelné ztráty:

$$H = H_{Tp} + H_{Tz} + H_V \quad (11)$$

$$H = 2644,3 + 253,53 + 257,1 = 3154,93 \text{ [W} \cdot \text{K}^{-1}]$$

H měrná tepelná ztráta budovy [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$]

Požadovaná vnitřní teplota je pro sklady a hrubé montovny stanovena na 12 °C, [2] otopné období je vymezeno na 211 dní v rozpětí října až dubna. Pro tento časový úsek a danou lokalitu je dle ČHMÚ průměrná denní teplota 1,97 °C. [27]

$$\dot{Q}_t = H \cdot (\theta_i - \theta_e) = 3154,93 \cdot (12 - 1,97) = 31,644 \cdot 10^3 \text{ [W]} \quad (12)$$

\dot{Q}_t celkový ztrátový tepelný tok [W]

θ_i požadovaná vnitřní teplota [°C], [2]

θ_e průměrná vnější teplota [°C], [27]

2.4.3. Tepelné zisky

Vzhledem k nevhodné orientaci účinných sběrných ploch, značného zastínění, nízké intenzitě slunečního záření a vysoké oblačnosti během otopného období, jsou solární tepelné zisky zanedbány. Jistou roli hrají pouze vnitřní tepelné zisky a to konkrétně metabolické teplo, teplo ze světelných zdrojů a teplo z ostatních spotřebičů. Zde lze předpokládat 100 % účinnost přeměněny energie vyššího řádu na energii tepelnou.

$$\dot{Q}_g = b \cdot (P_m + P_{os} + P_x) \quad (13)$$

$$\dot{Q}_g = 0,3 \cdot (960 + 1680 + 620) = 978 [W]$$

\dot{Q}_g	celkový ziskový tepelný tok [W]
b	pracovní činitel [-]
P_m	metabolický výkon [W]
P_{os}	příkon osvětlení [W]
P_x	příkon ostatních spotřebičů [W]

2.4.4. Tepelná bilance objektu

$$Q = (\dot{Q}_t - \dot{Q}_g) \cdot t \quad (14)$$

$$Q = (31,644 - 0,978) \cdot 5064 = 155,293 \cdot 10^6 [W \cdot h]$$

Q	roční potřeba tepla objektu [W·h]
t	délka časového úseku [h]

2.5. Vlastní výpočet pro konkrétní příklad – vysoká hala

2.5.1. Popis objektu, stanovení hranice vytápěného prostoru a hranic zón

Tato stavba vznikla na konci 19. století jako příslušenství pražského nádraží Libeň, tehdy sloužila jako výtopna lokomotiv. Následně začala být používána k jiným účelům a byla částečně přestavována. Jedná se o velkoprostorovou zděnou stavbu, která není nijak zvlášť prostorově členěna. Celková podlahová plocha činí asi 418 m², budova má sedlovou střechu, v jejímž hřebeni je dosaženo výšky téměř 8 m. Vytápění je zajištěno centrálním kotlem na zemní plyn, teplo je následně rozváděno trubkovou otopnou soustavou s článkovými tělesy po celém objektu. Nyní stavba slouží jako tesařská dílna. Pro doplnění a vytvoření bližší představy o objektu slouží příloha D a E.

Protože jde o velkoprostorovou, nečleněnou halu, tak se stejně jako u předešlého příkladu jedná o jednozónový objekt, jehož vytápěný prostor je ohraničen vnitřním lícem obvodových stěn, svrchní rovinou podlahy a spodním lícem střechy.

2.5.2. Tepelné ztráty při konstantní vnitřní teplotě

Měrné tepelné ztráty prostupem obvodovým pláštěm:

Výpočty vychází ze vztahů (1) až (4) uvedených v kapitole 2.4.2, numerické dosazení je provedeno v tab. 2.

Tab. 2 Numerický výpočet měrné ztráty tepla obvodovým pláštěm – vysoká hala

Název složky pláště	A _j [m ²]	λ ₁	λ ₂	λ ₃	d ₁	d ₂	d ₃	R ₁	R ₂	R ₃	R _{si}	R _{se}	R _{Tj}	U _j [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	H _{TP} [W·K ⁻¹]
		[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]			[m]			[m ² ·K·W ⁻¹]							
Cihla 30	64,97	0,880	0,83	0,99	0,015	0,30	0,015	0,017	0,361	0,015	0,13	0,04	0,564	1,774	2510,4
Cihla 45	133,70	0,880	0,83	0,99	0,015	0,45	0,015	0,017	0,542	0,015	0,13	0,04	0,744	1,343	
Okno 1	31,50	0,760	–	–	0,001	–	–	0,001	–	–	0,13	0,04	0,171	5,837	
Okno 2	11,52	0,760	0,10	0,76	0,001	0,02	0,001	0,001	0,200	0,001	0,13	0,04	0,373	2,684	
Luxfera	36,00	0,230	–	–	0,080	–	–	0,348	–	–	0,13	0,04	0,518	1,931	
Vrata	17,01	50,00	–	–	0,001	–	–	0,000	–	–	0,13	0,04	0,170	5,882	
Dveře	1,60	0,150	–	–	0,035	–	–	0,233	–	–	0,13	0,04	0,403	2,479	
Drátosklo	21,41	0,87	–	–	0,001	–	–	0,001	–	–	0,10	0,04	0,141	7,085	
Střecha	454,26	0,180	0,20	50,0	0,020	0,00	0,001	0,111	0,020	0,000	0,10	0,04	0,271	3,688	

Zdroj: (Vlastní – tepelná vodivost dle [9]; odpor při přestupu tepla dle [17])

Měrné tepelné ztráty prostupem zeminou:

Ze vztahů (5) až (8) vycházejí následující hodnoty:

$B' = 12,67$ [m]	<i>charakteristický rozměr podlahy</i>
$d_t = 1,14$ [m]	<i>ekvivalentní tloušťka podlah</i>
$U_z = 0,35$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	<i>ekvivalentní součinitel prostupu tepla zeminou</i>
$H_{Tz} = 146,26$ [$W \cdot K^{-1}$]	<i>měrná ztráta prostupem tepla zeminou</i>

Měrné tepelné ztráty větráním:

Ze vztahů (9) a (10) vycházejí následující hodnoty:

$\dot{V} = 1037,3$ [$m^3 \cdot h^{-1}$]	<i>celkový objemový tok vzduchu</i>
$H_v = 352,7$ [$W \cdot K^{-1}$]	<i>měrná tepelná ztráta větráním</i>

Celkové tepelné ztráty:

Vzhledem k charakteru budovy a lokalitě, ve které se nachází, je zde uvažována stejná vnitřní požadovaná teplota, stejná průměrná venkovní teplota i totožná délka otopného období jako pro předešlý případ. Ze vztahů (11) a (12) vycházejí následující hodnoty:

$H = 3009,3$ [$W \cdot K^{-1}$]	<i>měrná tepelná ztráta budovy</i>
$\dot{Q}_t = 30,183 \cdot 10^3$ [W]	<i>celkový ztrátový tepelný tok</i>

2.5.3. Tepelné zisky

Stejně, jako v předešlém případě jsou zde uvažovány pouze vnitřní tepelné zisky a to konkrétně metabolické teplo, teplo ze světelných zdrojů a teplo z ostatních spotřebičů (nástrojů). \dot{Q}_g vychází ze vztahu (13).

$\dot{Q}_g = 3960$ [W]	<i>celkový ziskový tepelný tok</i>
------------------------	------------------------------------

2.5.4. Tepelná bilance objektu

Q vychází ze vztahu (14).

$Q = 132,793 \cdot 10^6$ [$W \cdot h$]	<i>roční potřeba tepla objektu</i>
--	------------------------------------

2.6. Srovnání s referenční budovou

Pro jednoduché srovnání budov z hlediska energetické náročnosti slouží její zařazení do patřičné klasifikační třídy, tedy přiřazení energetického štítku. Jako základní ukazatel energetické náročnosti budovy slouží vážený průměr součinitelů prostupu tepla dílčími složkami pláště. Ten se porovnává s váženým průměrem normových součinitelů prostupu tepla takzvané referenční budovy. Referenční budova je vlastně shodná s porovnávanou budovou, jen jednotlivé konstrukce vykazují normový součinitel prostupu tepla. Hodnoty v tab. 3 vycházejí z následujících vztahů (15) a (16). [1]

$$U = \frac{\sum_j U_j \cdot A_j}{\sum_j A_j} \quad (15)$$

U průměrný součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

$$U_R = \frac{\sum_j U_N \cdot A_j}{\sum_j A_j} \quad (16)$$

U_N normový součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$], [15]

U_R referenční průměrný součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

Tab. 3 Zařazení posuzovaných objektů do klasifikační třídy energetické náročnosti

	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	U_R [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	U_{R12} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	U/U_R [-]	Klasifikační třída
Rozlehlá budova	2,725	0,386	0,772	3,5	G - mimořádně nevhodná
Vysoká hala	3,252	0,493	0,986	3,3	G - mimořádně nevhodná

Zdroj: (Vlastní – klasifikační třídy dle [1])

Protože je u obou posuzovaných objektů požadovaná vnitřní teplota pouze 12 °C, je i požadovaná základní hodnota průměrného součinitele prostupu tepla zvýšena na dvojnásobek. Přesto je u obou budov průměrný součinitel tepelného prostupu přesazen asi triapůlkrát oproti průměrnému součiniteli tepelného prostupu referenční budovy.

3. Výběr vhodných metod zlepšení zimní tepelné bilance

Zimní tepelná bilance je stanovena tepelnými ztrátami. Ty je možno rozdělit na dvě hlavní skupiny – ztráty určené charakterem konstrukce a ztráty určené způsobem užívání budovy.

3.1. Ztráty určené charakterem konstrukce

Z předchozí kapitoly je patrné, že hlavní roli zde hrají měrné ztráty prostupem tepla obvodovým pláštěm, které jsou závislé na ploše, to znamená na velikosti povrchu pláště budovy a dále součiniteli prostupu tepla, respektive tepelném odporu vrstvy. Ten vychází z tloušťky vrstvy a tepelné vodivosti materiálu.

3.1.1. Zlepšení zvýšením tloušťky konstrukce

Jako první možnost zlepšení by mohlo být uvažováno zvýšení tloušťky obvodových konstrukcí. Tato možnost je však extrémně neefektivní, nákladná a konstrukčně nemožná. Proč je tomu tak, ilustruje následující jednoduchý příklad, kdy je snahou dosáhnout normové hodnoty součinitele prostupu tepla svislou vnější stěnou dle ČSN 73 0540-2 $U_N = 0,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ třemi různými způsoby, tedy použitím různých materiálů. Ze vztahů (1) a (3) po úpravě vychází následující rovnice: [15]

$$d_n = \frac{\lambda_n}{U_N} \quad (17)$$

Po dosazení do rovnice (17), vychází potřebná tloušťka pro daný materiál. V tab. 4 jsou uvedeny hodnoty tepelné vodivosti, objemové hmotnosti, vypočítané tloušťky a z toho vycházející hmotnosti, vztažené na plochu konstrukce 1m^2 , to vše pro tři různé materiály.

Tab. 4 Srovnání potřebné tloušťky a hmotnosti konstrukce pro různé materiály

	λ_n	ρ	d_n	m
	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	$[\text{m}]$	$[\text{kg}]$
Cihelné zdivo	0,880	1800	2,933	5280,0
Minerální plst - desková	0,056	100	0,187	18,7
Pěnový polystyren - PPS	0,040	20	0,133	2,7

Zdroj: (Vlastní – tepelná vodivost a objemová hmotnost dle [9])

Z hodnot v tabulce je patrné, že pro dosažení stejného součinitele prostupu tepla je pro v příkladu použité materiály potřeba asi dvacetinásobná tloušťka konstrukce, která ovšem bude mít asi dva tisíce krát větší hmotnost. Z toho je zjevné, že v praxi nemůže být zlepšování tepelné bilance zvýšením tloušťky obvodové konstrukce použito.

3.1.2. Zlepšení snížením tepelné vodivosti konstrukce

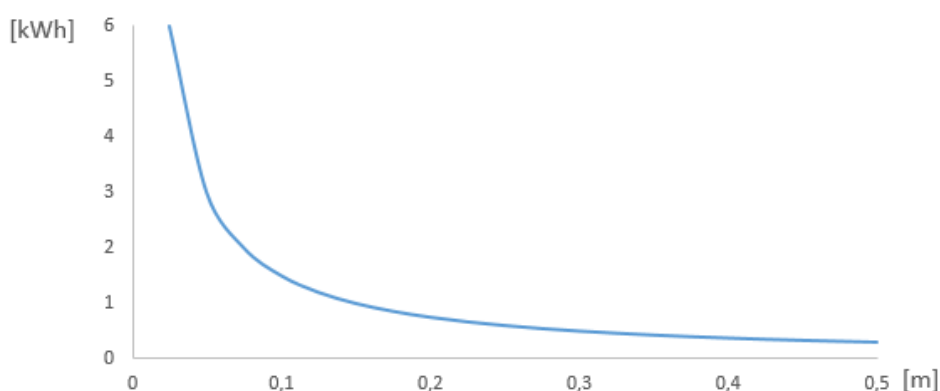
Naopak jako velmi vhodná cesta k dosažení požadovaného součinitele prostupu tepla je snížení tepelné vodivosti konstrukce. Toho je možno dosáhnout použitím stavebního materiálu s dutinami a póry, případně aplikací sendvičové konstrukce, jejíž skladba zahrnuje vrstvu materiálu s velmi malou měrnou tepelnou vodivostí. Obecně se dá říci, že ke snížení součinitele prostupu tepla se používají materiály s dutinami, makro nebo mikropóry vyplněnými vzduchem nebo jiným inertním plynem. Využívá se zde nízké měrné tepelné vodivosti vzduchu, popřípadě plynu, která je u vzduchu $\lambda = 0,026 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, při 20 °C a atmosférickém tlaku. [8; 9]

Při návrhu tloušťky tepelné izolace se v praxi běžně přesahuje normou požadovaný součinitel prostupu tepla. Spojíme-li vzorce (1) a (3), získáme následující vztah:

$$U_j = \frac{\lambda_n}{d_n} \quad (18)$$

Odtud je zřejmé, že pro výpočet součinitele prostupu tepla, tedy hodnoty, od které se přímo úměrně odvíjí potřebný tepelný tok, potažmo náklady na vytápění, slouží vztah, kde ve jmenovateli je proměnná – tedy tloušťka izolace. To znamená, že závislost nákladů na vytápění, tedy potřebného topného výkonu na tloušťce izolace, je nepřímo úměrná. Z toho plyne, že největší efekt na úsporu tepla mají už relativně tenké izolace, extrémní tloušťky izolace samozřejmě také snižují energetickou ztrátu, efekt už je ale řádově menší.

Obr. 2 Závislost potřebného vytápěcího výkonu na tloušťce izolace



Zdroj: (Vlastní)

3.1.3. Zlepšení snížením ochlazovaného povrchu

Kromě technických parametrů obvodové konstrukce je potřeba při návrhu budovy uvažovat i vhodnost jejího tvarového řešení. Z tohoto hlediska je naprostým ideálem polokoule, ležící rovinnou plochou na zemi. Je zde docíleno největšího objemu při nejmenším ochlazovaném povrchu. Je jasné, že tento tvar by při praktickém využití narazil na řadu problémů, nicméně představuje ideál, který by měl projektant při návrhu budovy vzít v úvahu. Z toho vychází takzvaná geometrická charakteristika budovy – poměr plochy k objemu. Ta představuje vliv tvarového řešení na celkovou energetickou náročnost budovy. [2]

Z energetického hlediska by budova měla mít rovinnou fasádu, jednoduchý půdorys bez nadbytečných zalomení a členitostí. Stejně tak střecha je vhodná bez tvarových složitostí, zpravidla tedy pultová.

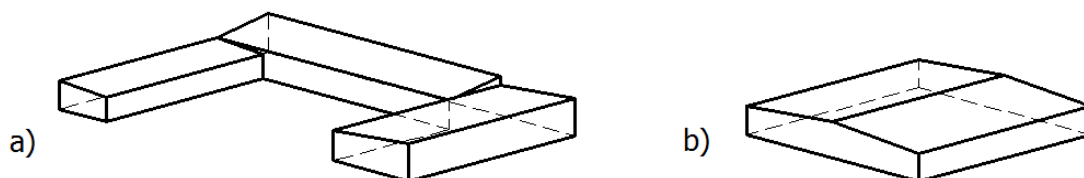
3.2. Příklad – snížení ochlazovaného povrchu

Na příkladu rozlehlé budovy je vhodné demonstrovat, jaký vliv na celkové tepelné ztráty má geometrická charakteristika. U již existujících objektů se nedá předpokládat, že by šlo o vhodnou metodu zlepšení zimní tepelné bilance, protože náročnost změny půdorysu stávající budovy se prakticky rovná stavbě nového domu, avšak teoretická úvaha na toto téma je zajímavá a na praktickém příkladu navíc názorná.

Rozlehlá budova bude porovnávána s teoretickou kompaktní budovou o stejné podlahové ploše a konstrukční výšce. Charakter využívání dané stavby neumožňuje situovat užitnou plochu do více podlaží, takže teoretická budova bude přízemní. Aby byly tepelně technické vlastnosti obvodového pláště obou budov srovnatelné, bude při výpočtu měrné tepelné ztráty prostupem tepla obvodovým pláštěm použit průměrný součinitel prostupu tepla stěnou rozlehlé budovy. Vzhledem k tomu, že obě srovnávané stavby mají stejnou podlahovou plochu, stejně tak jsou obě přízemní a mají shodný spád střechy, je tedy i plocha jejich střech totožná. Také tepelné ztráty a měrné tepelné ztráty větráním lze považovat za shodné. Do průměrného součinitele prostupu tepla jsou zahrnuty i prosklené plochy a další výplně otvorů, tím pádem je kvalita obou svislých obvodových konstrukcí srovnatelná. Porovnávané objekty se liší tedy jen měrnými ztrátami prostupem tepla svislou obvodovou konstrukcí a zeminou.

Jako kompaktní budova je určena stavba o stejné podlahové ploše, která činí $403,9 \text{ m}^2$ se čtvercovým půdorysem, tedy užitná plocha je $20,1 \cdot 20,1 \text{ m}$, zastavěná plocha $21 \cdot 21 \text{ m}$. Konstrukční výška stavby je $3,7 \text{ m}$. Obě stavby jsou schematicky znázorněny na obr. 3. Výpočet měrných ztrát prostupem tepla obvodovým svislým pláštěm vycházejí ze vztahu (4). Výsledné hodnoty pro obě srovnávané budovy se stejným průměrným součinitelem prostupu tepla jsou uvedeny v tab. 5.

Obr. 3 Schéma a) rozlehlé budovy, b) teoretické kompaktní budovy



Zdroj: (Vlastní)

Tab. 5 Srovnání měrných ztrát prostupem tepla svislým obvodovým pláštěm pro kompaktní a rozlehlou budovu

Geometrie budovy	A [m ²]	U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	H _{TP} [W·K ⁻¹]
Kompaktní (teoretická)	310,65	1,770	550,0
Rozlehlá (skutečná)	493,00	1,770	872,8

Zdroj: (Vlastní)

Měrné tepelné ztráty prostupem zeminou:

Ze vztahů (5) až (8) vycházejí následující hodnoty:

$B' = 10,428$ [m] charakteristický rozměr podlahy

$d_t = 1,1$ [m] ekvivalentní tloušťka podlah

$U_z = 0,4048$ [W·m⁻²·K⁻¹] ekvivalentní součinitel prostupu tepla zeminou

$H_{Tz} = 177,23$ [W·K⁻¹] měrná ztráta prostupem tepla zeminou

Tab. 6 Srovnání celkového rozdílu měrných tepelných ztrát pro obě varianty geometrického uspořádání budovy

Měrné tepelné ztráty	Rozlehlá budova	Kompaktní budova	Rozdíl	Úspora [%]
Svislým obvodovým pláštěm [W·K ⁻¹]	872,80	550,00	322,80	37,0
Zeminou [W·K ⁻¹]	253,53	177,23	76,30	30,1
Celková tepelná ztráta [W·K ⁻¹]	3184,93	2785,83	399,10	12,5
Roční potřeba tepla objektu [MW·h]	161,77	141,50	20,27	12,5

Zdroj: (Vlastní)

Z tab. 6 je zjevné, že rozdíl měrných ztrát prostupem tepla svislou obvodovou konstrukcí a zeminou se v závislosti na geometrickém uspořádání budovy značně liší. V konečném důsledku však celkový rozdíl měrných tepelných ztrát tvoří jen 12,5 % z celkové tepelné ztráty budovy. Toto relativně nízké procento si lze vysvětlit tím, že obě porovnávané budovy měly střechu, která se shodovala jak plochou, tak průměrným součinitelem prostupu tepla. Dá se tedy předpokládat, že kdyby teoretická kompaktní budova nebyla omezena na jedno podlaží, čímž by bylo dosaženo podstatně menší plochy střechy, byl by celkový rozdíl markantnější. Právě střecha na zkoumaném objektu má extrémně vysoký součinitel prostupu tepla, navíc odpor při přestupu tepla za tepelného toku směrem nahoru je vůbec nejnižší. Z toho plyne, že nejefektivnějším způsobem, jak snížit měrné tepelné ztráty budovy za vynaložení minima finančních prostředků, je dodatečná tepelná izolace stropní konstrukce. To potvrzuje i fakt, že 56,2 % z celkových tepelných ztrát u stávající budovy tvoří právě ztráty střechou.

3.3. Stavebně koncepční řešení

Vedle snahy omezit plochu obalových konstrukcí na nutné minimum jsou na místě i další zásady, kterých je vhodné se držet, například barva fasády (tmavší barevné odstíny lépe pohlcují sluneční energii), orientace budovy ke světovým stranám (delší rozměr budovy by měl být situován od východu na západ). Dále plocha oken na severní straně by měla být omezena na nutné minimum, zatímco na jižní je příhodné umisťovat co největší zasklené plochy pro dostatečné osvětlení interiéru a pro dosažení velkých solárních zisků. Také je dobré využít ku prospěchu budovy okolní prostředí. Příkladem může být zapuštění severní stěny do svahu, ochrana budovy před větrem zelení nebo terénní vlnou, vhodná orientace budovy ke směru převládajících větrů nebo využití vodních ploch v okolí jako tepelného akumulátoru a tím částečné snížení výkyvů teplot vzduchu. Je nutno si uvědomit, že převážná část těchto zásad platí jen pro mírný podnebný pás. [12]

3.4. Ztráty určené způsobem užívání budovy

Podstatný vliv na celkovou spotřebu energie budovy má způsob, kterým její uživatelé hospodaří s teplem. Jde především o regulaci topení a způsob větrání. Obecně platí několik zásad, které by měly být dodržovány ve všech vytápěných prostorách od průmyslových objektů přes obytné budovy po pasivní domy. Řídit by se jimi měli jak uživatelé, tak automatické regulační systémy, jež pečují o mikroklima v budově.

Osobám, které pobývají v prostorách, na jejichž provozu se přímo nepodílejí, zpravidla tedy pracovníkům v průmyslových a administrativních prostorech, velmi často chybí přímá motivace pro rozumné nakládání s energií. Na takovýchto místech je vhodné omezit možnost regulace vnitřního klimatu nekvalifikovanou osobou na možné minimum. Je vhodné použít centralizovaný řídicí systém, který automaticky ve všech prostorech pomocí čidel a senzorů udržuje prostředí o daných parametrech nebo soustavy, které umožní konečnému uživateli upravit vlastnosti prostředí přes uživatelské rozhraní, kde samotný systém hlídá, aby nedocházelo k energeticky protichůdným situacím. Použití těchto systémů nesmí uživatele prostor vystavit nevhodnému prostředí, do jehož regulace sám nemůže zasáhnout. [5]

Ve všech prostorech, kde pobývají osoby, je nutné zajistit dostatečné větrání. Z energetického hlediska jsou velmi vhodné rekuperační jednotky, které odebírají tepelnou energii odpadnímu vzduchu a předávají ji čistému, nejčastěji z venkovního prostředí nasávanému vzduchu. Jeho výměna zde zpravidla, v závislosti na druhu rekuperační jednotky a celého vzduchotechnického systému, probíhá kontinuálně. V prostorech, které nejsou vybaveny vzduchotechnikou a jsou odkázány na větrání okny, by se větrat mělo krátce a intenzivně. Efektivita výměny vzduchu oknem roste s rozdílem teplot interiéru a exteriéru, to znamená, že doba větrání by se měla zkracovat s poklesem teploty venkovního prostředí. Cílem větrání je vyměnit vzduch uvnitř místnosti, nikoliv ochladit konstrukce a vybavení uvnitř budovy, proto by měla být intenzita větrání co nejvyšší, ideální je dosažení efektu průvanu. [10]

Vhodným způsobem regulace teploty ve vytápěných prostorech je také možno dosáhnout značných energetických úspor. Základem je vytápět interiér na vhodnou teplotu a zbytečně jej nepřetápět. Požadovaná vnitřní teplota ve vytápěné místnosti se v závislosti na charakteru jejího využití může lišit až o 20 °C. Dále je vhodné zvážit přerušovaný způsob vytápění, kdy časový termostat v době nepřítomnosti uživatelů prostor přepne do tlumeného režimu. Na vyšší výkon začne znovu topit až krátce před jejich očekávaným příchodem. Tato možnost však není vždy dostupná, musí se její zavedení uvažovat v celých souvislostech. Teplota nesmí klesnout pod hodnotu určenou skladovacími podmínkami uloženého materiálu nebo v případě průmyslových prostor se objevují stroje a zařízení, které jsou na kolísání teplot náchylné a mohlo by být následně znemožněno jejich bezchybné použití. Další možností zvýšení efektivity vytápění je volba správného režimu chodu vlastních kotlů. Například řada kotlů na zemní plyn dosahuje nejvyšší účinnosti při provozu na plný výkon. Proto je vhodné, když otopný systém vykazuje dostatečnou tepelnou setrvačnost a tím umožňuje periodický provoz kotle. [5; 22]

4. Využití vhodných tepelných zdrojů energie a způsobů vytápění

4.1. Přehled běžných zdrojů energie pro vytápění

V současnosti se na trhu nabízí množství zdrojů tepelné energie. Většinu z nich lze přeměnit na teplo různými způsoby, které mohou být pro dané použití více či méně vhodné. Při volbě optimálního způsobu vytápění hraje roli mnoho faktorů, na prvním místě bývají uvažovány provozní náklady, neméně důležité jsou však náklady na pořízení a údržbu. Také je potřeba zvážit dostupnost palivové komodity pro danou lokalitu, popřípadě dopravní obsluhovatelost. Upozaděn by neměl být ani ekologický aspekt vytápění. [13]

4.1.1. Tuhá paliva

Tato skupina paliv je rozhodně nejrozsáhlejší, patří také mezi nejpoužívanější. Zahrnuje jak dlouhá léta používaná fosilní paliva, tak moderní paliva, která jsou na trhu relativně krátce. Je zde nejlépe vidět vývoj paliv i přizpůsobení vlastních kotlů za účelem splnění požadavků na moderní vytápění a uspokojení potřeb uživatele.

Hnědé uhlí, černé uhlí a koks

Uhlí je za posledních několik století nejpoužívanější palivo, jeho spalováním v běžných kotlech je dosahováno nízké účinnosti, za vzniku značného množství nežádoucích látek. K dalším nevýhodám klasických kotlů na tuhá paliva, patří vysoký nárok na obsluhu. V devadesátých letech se z těchto důvodů od jejich používání začalo ve značné míře upouštět. Používání uhlí jako paliva bylo s plynofikací vytlačováno vytápěním zemním plynem, případně elektrickou energií. S růstem ceny těchto energií se v poslední době objevují stále častěji automatické kotle na uhlí a zplynovací kotle, které s sebou nesou zvýšení komfortu obsluhy, zvýšení účinnosti, snížení emisí a snadnější regulace kotle. Náklady na vytápění uhlím jsou zatím ve srovnání s ostatními palivy v lehkém podprůměru. Vzhledem k postupnému omezování těžby a ekologickým daním se dá v následujících letech očekávat nárůst ceny. [26]

Biomasa

Pojem biomasa je v poslední době velmi populární a frekventovaný, představuje hmotu všech organismů na Zemi. Ty jsou účelově využívány k akumulaci a uchování solární energie, která je následně řízeně uvolněna a transformována na užitnou energii. Tato paliva jsou považována za ekologická, protože se jedná o obnovitelný zdroj energie a zároveň za předpokladu správného spalování vykazují vyrovnanou uhlíkovou bilanci.

Kusové dřevo je nejrozšířenější a nejdostupnější představitel biomasy, při jehož spalování v moderních zplynovacích kotlích může být dosaženo účinnosti až 88 %. Kusové dřevo jako palivo s sebou však nese řadu nevýhod. Mezi ty největší patří nekomfortní obsluha, obtížná regulace výkonu, vysoké nároky na údržbu kotle a kouřovodu, v neposlední řadě potřeba značných skladovacích prostor. K potlačení nebo úplnému odstranění zmíněných nevýhod slouží řada dalších paliv vyrobených z biomasy. [21]

Dřevěné brikety je možno spalovat v běžných kotlích na kusové dřevo. Možná je i současná kombinace obou paliv. Použitím briket jsou odstraněny vysoké nároky na péči o palivo před vlastním spálením. Některé jejich typy vykazují dlouhou dobu hoření, až 8 hodin. Ostatní uvedené nevýhody pro použití kusového dřeva platí i pro palivo v podobě briket, navíc je nutné počítat s asi o 40 % vyšší cenou. [21]

Kotle na dřevěné pelety, štěpku, slámu, rostlinné pelety a obilí nejlépe odstraňují všechny zmíněné nevýhody kusového dřeva, při zachování příznivých provozních nákladů, které jsou asi jen o 5 % vyšší než při provozu na dřevo. Tyto kotle vyžadují minimum nároků na obsluhu, vyznačují se dobrou regulovatelností a bývají značně automatizované. Komfort jejich provozu je téměř srovnatelný s užíváním zemního plynu. Mezi jejich hlavní nevýhody patří vyšší pořizovací cena, nízká univerzálnost a potřeba jistých skladovacích prostor. [23]

4.1.2. Kapalná paliva

Tato skupina paliv se v České republice ve srovnání se západními sousedy netěší velké popularitě. To je možno vysvětlit relativně vysokou cenou a složitějším způsobem návratu spotřební daně. Jeho hlavním odběratelem jsou průmyslové provozy.

Topné oleje

Všechny topné oleje patří mezi ropné produkty, které byly získány destilací. Mohou být doplněny biologickou složkou, případně aditivami pro vylepšení skladovatelnosti, čerpatelnosti nebo chladových parametrů. [3]

Těžké topné oleje se používají výhradně v kotelnách s vysokým výkonem v řádech desítek MW. Jejich užití je především v průmyslových provozech za primárním účelem výroby technologického tepla. Tyto topné oleje se zpravidla nepoužívají pro vytápění budov. Konstrukce kotlů je složitější, palivo vykazuje vysokou viskozitu a tak musí být při provozu nahříváno, rozběh těchto kotlen je zdlouhavý a finančně náročný. [29]

Lehké topné oleje jsou běžně používány k vytápění budov, představují vysoký uživatelský komfort, bezproblémovou regulaci a nízké emise. Díky vysoké výhřevnosti je zapotřebí i malých skladovacích prostor. Ve srovnání s dřevěnými peletami postačí pro otopné období asi jen třetinový objem paliva. Největší nevýhodou je vysoká cena, která je asi trojnásobná oproti provozu na kusové dřevo.

Extra lehké topné oleje mají téměř stejné využití jako lehké topné oleje, zůstávají i stejné výhody a vysoká cena. Hlavní rozdíl je ve viskozitě a bezparafínovém složení, což zjednodušuje konstrukci kotlů a předurčuje je pro užití v rodinných domech, tedy i při nízkých výkonech. Kotle pro zemní plyn a extra lehké topné oleje se často liší jen konstrukcí hořáku. [29]

4.1.3. Plynná paliva

Zemní plyn

Zemní plyn má na českém trhu mezi plynnými palivy jednoznačně dominantní postavení. Používá se k vytápění asi 38 % všech budov na našem území. Splňuje všechny požadavky na uživatelský komfort, optimální regulaci výkonu i automatický provoz. Při jeho spalování vzniká mnohem méně škodlivin než při spalování pevných a kapalných paliv. Převážně z těchto důvodů byla s cílem zlepšení kvality ovzduší v obcích v devadesátých letech masivně podporována plynofikace. Protože je zemní plyn vedlejší surovina při těžbě ropy a uhlí, je jeho cena velmi těsně svázána s cenou ropy, a proto jsou v dnešní době náklady na vytápění plynem jedněmi z nejvyšších. Z těchto důvodů je zaznamenán částečný návrat odběratelů k pevným palivům, bez ohledu na kvalitu ovzduší. Topidel na zemní plyn existuje celá řada, jednotlivé typy se od sebe podstatně liší konstrukčně i rozvodem a přenosem tepla. Volba správného spotřebiče závisí na konkrétních potřebách uživatele a provozních podmínkách. [11; 26]

Ostatní plynná paliva

Kromě zemního plynu se k vytápění používá ještě propan, bioplyn a zřídka svítiplyn. Jejich využití je však kvůli řadě nevýhod okrajovou záležitostí. [3]

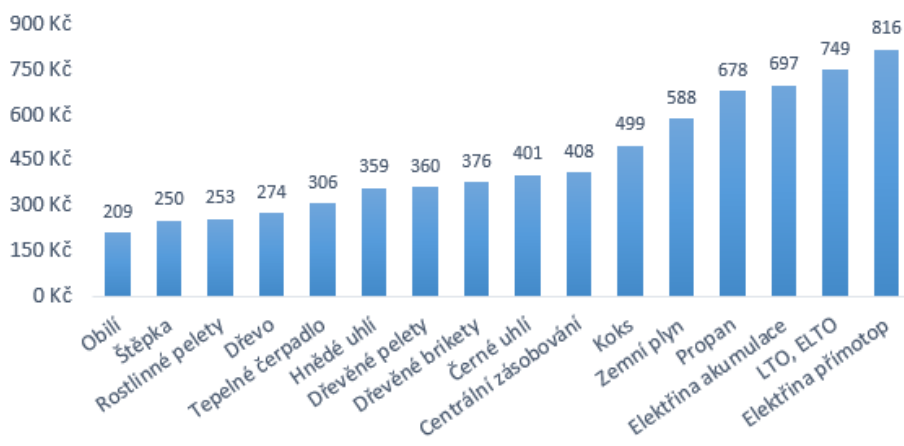
4.1.4. Elektrická energie

Přeměna elektrické energie na tepelnou je ve srovnání s ostatními druhy vytápění vůbec nejjednodušší a nejeftivnější, její účinnost je 100 %. Topidla jsou malá, jednoduchá levná a dají se snadno integrovat do konstrukcí budovy. Jejich vhodným rozmístěním je možno zároveň jednoduše docílit optimálního rozvodu tepla. Další výhodou je fakt, že elektrická energie je dostupná na převážné části našeho území. Spotřebu elektrické energie je nutno si spojovat s emisemi hnědouhelných tepelných elektráren, kde se její značná část stále vyrábí. Elektřina je vůbec nejdražší způsob vytápění, to je zároveň její největší nevýhoda. [3]

Tepelné čerpadlo

Není to podmínkou, ale téměř vždy je k pohonu tepelného čerpadla použita elektrická energie. Princip funkce je stejný jako u chladicího stroje, kdy je odebíráno teplo v jednom prostředí – vzduch, voda, zem a ukládáno do druhého – otopná soustava budovy. Hlavní výhodou je levný provoz, kdy poměr vložené elektrické a získané tepelné energie je asi 1:3 až 1:4. Mezi nevýhody patří vysoké pořizovací náklady, často také značná hlučnost provozu. [21]

Obr. 4 Srovnání provozních nákladů na 1 GJ tepla pro různá paliva



Zdroj: [23]

4.2. Vliv způsobu vytápění na zimní tepelnou bilanci

Volbou vhodného zdroje energie pro vytápění lze v konečném důsledku dosáhnout značných finančních úspor. Palivo jako takové má však minimální vliv na výslednou energetickou bilanci budovy. Pro její zlepšení je nutné přehodnotit samotný způsob vytápění, případně změnit druh otopné soustavy. Typů vytápění, distribuce tepla po objektu a jejich modifikací je mnoho. Především v bytové výstavbě je nabídka obzvlášť pestrá. Jejich komplexní porovnání by bylo značně rozsáhlé, proto je tato práce omezena na volbu vhodného způsobu vytápění konkrétního objektu, a to vysoké haly.

4.3. Volba vhodného otopného systému pro konkrétní příklad

Jedná se o vysoký objekt, jehož světlá výška se v hřebeni blíží 8 m, zároveň tepelně technické vlastnosti obvodového pláště zdaleka nedosahují uspokojivých hodnot. Přesto, že jde o téměř sto let starou budovu, dodnes reprezentuje rozsáhlou skupinu průmyslových staveb. Dá se říci, že přes snahu poslední doby všeobecně snižovat spotřebu energie, jsou doposud stavěny plechové průmyslové haly s neuspokojivým tepelným odporem obvodového pláště. To je možné především díky zcela odlišnému charakteru vytápění než v převážné většině obytných budov.

4.3.1. Problematika vytápění velkoprostorových objektů

Při návrhu vytápění velkoprostorového objektu by mělo být dosaženo optimálních mikroklimatických podmínek v prostoru, kde se běžně pohybují lidé a zároveň docíleno minimální možné energetické náročnosti celé budovy. Toho je možno dosáhnout rozdělením vnitřního prostoru do několika hladin, pro které se specifikují požadavky na prostředí a zároveň budou respektovány fyzikální zákony působící v těchto zónách.
[6; 11]

Zóna pobytu člověka

Mnohdy je to jediný prostor, na který je zaměřeno vytápění celé haly. Jedná se o vrstvu vzduchu sahající od podlahy do výšky cca 2 m. Mělo by zde být dosaženo vhodných tepelných podmínek pro danou pracovní činnost. Cílová teplota je závislá na fyzické námaze pracovníků a s tím souvisejícím množstvím vyvíjeného metabolického tepla. Nebude-li dosaženo tepelné pohody pracovníků, dá se očekávat omezení jejich výkonnosti, případně snížení kvality odvedené práce. [6]

Neutrální zóna

Je to vrstva vzduchu od výšky 2 m, po hranici zóny energetické náročnosti objektu. Obvykle vykazuje teplotní gradient do $1 \text{ K}\cdot\text{m}^{-1}$. Nemá negativní vliv na zónu pobytu člověka, ale přispívá ke zvýšení teploty pod střešní konstrukcí a tím i nárůstu celkové energetické náročnosti budovy. [6]

Zóna energetické náročnosti budovy

Jedná se o vrstvu vzduchu, která je v bezprostředním kontaktu s obvodovým pláštěm budovy, tedy svislými i horizontálními obvodovými konstrukcemi. Za nejproblematictější jsou považovány střešní světlíky a prosklené plochy. Tato vrstva se přímo podílí na tepelných ztrátách objektu a s její rostoucí teplotou také roste energetická náročnost celého objektu. Správně zvolená otopná soustava dodává do této vrstvy co nejmenší množství tepla. [6]

4.3.2. Srovnání vytápěcích systémů

Radiační článková tělesa – stávající stav

Ve vysoké hale je použita trubková otopná soustava s článkovými tělesy – tento systém není vzhledem k charakteru budovy a jejího užívání vhodný. Pro dosažení tepelné pohody pracovníků je nutno ohřát celou kubaturu vzduchu v budově, která není nijak zvlášť prostorově členěna. Dá se předpokládat, že nejteplejší vzduch se bude držet pod střechou, kde nemá užitek. Naopak tím, že je v bezprostředním kontaktu s obvodovým pláštěm, značně zvyšuje tepelnou ztrátu.

Protože jsou článková tělesa určena především pro vytápění menších, většinou obytných prostor, nemají ani optimální výkon k vytápění takovýchto objektů. Pro dosažení potřebného výkonu je nutné použít vysoké množství těles, což může snižovat užitnou hodnotu prostoru.

Kvůli zmíněným nevýhodám nelze tento způsob vytápění pro obdobné průmyslové budovy doporučit.

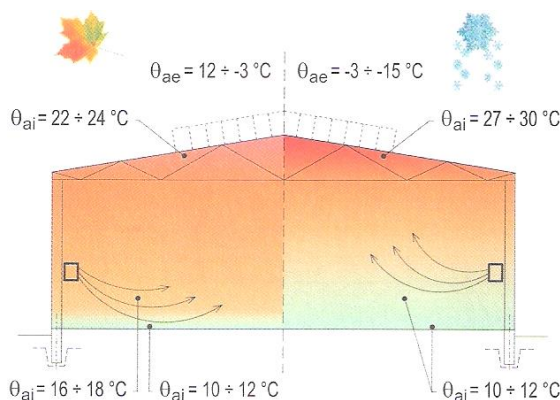
Nástěnné teplovzdušné soupravy

Jedná se o jeden z nejpoužívanějších systémů vytápění velkoprostorových objektů. Teplonosným médiem bývá zpravidla horká voda nebo pára, jenž ve výměníku předává teplo topnému vzduchu, který zařízením proudí díky ventilátoru. Systému se částečně daří dosahovat vhodných tepelných podmínek v zóně pobytu člověka za relativně nízké energetické náročnosti. Protože topný vzduch proudí zařízením konstantní rychlostí, je při požadavku na vyšší výkon vytápění v důsledku poklesu venkovní teploty zvýšena teplota média, potažmo topného vzduchu. V takovém případě dochází k nepříznivému rozložení teploty v interiéru – viz obr. 5. Topný vzduch prudce stoupá vzhůru, což má paradoxně za následek pokles teploty v pobytové zóně a zvýšení teploty vzduchové vrstvy pod střechou. Tento jev je nežádoucí a značně zvyšuje tepelné ztráty. [6]

Pro snížení tohoto nežádoucího efektu se systémy nástěnného teplovzdušného vytápění často doplňují destratifikátory, což jsou podstropní ventilátory, které nejteplejší vzduch z vrstvy pod střechou znovu směřují do pobytové zóny a tím částečně snižují tepelné ztráty. [10]

Další nevýhody s sebou nese ventilátor, který obstarává prostup vzduchu výměníkem. Ze zdravotního hlediska je problémem vyšší prašnost způsobená vířením vzduchu. Dále může nepříjemně působit hlučnost ventilátoru nebo značný proud vzduchu v blízkosti výdechu. To v praxi někdy vede k úmyslnému vyřazování některých jednotek z provozu, což má vliv na zvýšení teploty média. Následkem může být snížení účinnosti celé soustavy. [10]

Obr. 5 Teplotní podmínky v hale při teplotovzdušném vytápění pro různé venkovní teploty



Zdroj: [6]

Závěsné sálavé panely

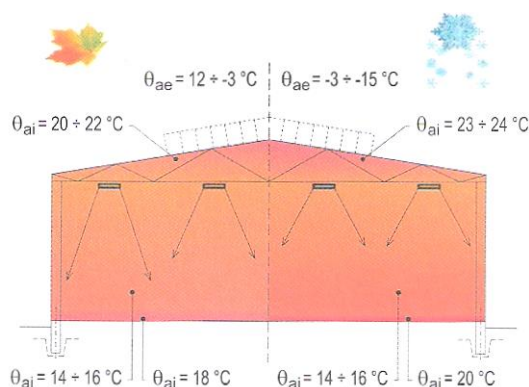
I tady se jedná o jeden z nejhojněji využívaných systémů vytápění velkoprostorových objektů. Předání tepla probíhá zcela jiným způsobem než u předcházejících soustav. Asi 70 % energie je od panelů vedeno směrem k podlaze sáláním. Všechny konstrukce a předměty, které jsou od stropu ozařovány, se stávají druhotnou otopnou plochou. Dále předávají teplo vzduchu, se kterým jsou v bezprostředním kontaktu, ten pak pozvolna stoupá vzhůru. Vzniká tak zcela jiné a příznivější rozdělení teplot v interiéru než v předchozích případech – viz obr. 6. [6; 7]

Zbýlých 30 % výkonu panelu představuje konvekce. Teplo proudí od zdroje rovnou ke stropní konstrukci, kde zůstává a zvyšuje tepelné ztráty. Doplněním systému o destratifikátory se nepříznivý vliv tohoto efektu může částečně snížit. [6]

Princip šíření tepla v interiéru je do jisté míry srovnatelný s tím, jak slunce ohřívá zemský povrch. Z toho důvodu je to způsob vytápění, který je pro člověka přirozený a příjemný. Zároveň je dosaženo optimálních podmínek v zóně pobytu člověka a to v širokém rozsahu venkovních teplot. Díky převaze sálavé složky, se k těmto cílům dospěje za použití nižších tepelných výkonů a při poměrně nízké teplotě vnitřního vzduchu, což je přínosné nejen v energetického hlediska, ale také hygienického. [6]

Sálavé panely je možno také využít k ostrovní dodávce tepla, tedy pro případy, kdy nemusí být vytápěna celá výrobní hala, ale jen prostor, kde se zdržuje obsluha. Při návrhu tohoto druhu vytápění, je nutno si uvědomit fakt, že se nejvíce zahřívají plochy, které jsou přímo ozářeny, což v případě některých strojů může působit problémy.

Obr. 6 Teplotní podmínky v hale vytápěné závěsnými sálavými panely pro různé venkovní teploty



Zdroj: [6]

4.3.3. Zhodnocení výsledků měření

V objektu vysoké haly byla provedena tato měření:

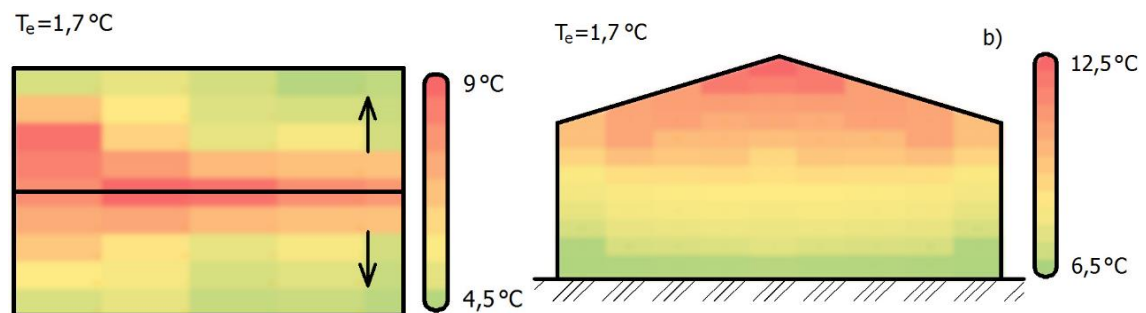
- měření povrchových teplot stěn, podlah a vnitřní strany střešní konstrukce
- měření teplot prostředí v konstantní výšce 1,5 m nad podlahou
- měření teplotního profilu prostředí

Přesné naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze F, vizualizace – viz obr. 7.

Teploty prostředí v konstantní výšce a teploty povrchů podlah nevykazují vysoký rozptyl ani zde není patrná závislost na dalších okolnostech. Nevelký rozptyl je i u vnitřních povrchových teplot obvodových stěn, zde je však znatelný i lehký nárůst teplot se stoupající výškou.

Zajímavější je situace u povrchových teplot vnitřní strany střešy. Rozdíl teplot v hřebeni a ve spodním úpatí střešní konstrukce činí až 4,2 °C. Byla zde zjištěna závislost růstu teploty směrem k hřebeni, kde se drží nejteplejší vzduch. Podobný jev je zřejmý i u teplotního profilu vnitřního prostředí: rozdíl teplot vzduchu u podlahy a pod střešou je až 5,7 °C, průměrný teplotní gradient činí 0,54 K·m⁻¹.

Obr. 7 Vizualizace naměřených teplot a) vnitřní povrchové teploty střešní konstrukce b) teplotní profil prostředí



Zdroj: (Vlastní)

Je třeba podotknout, že měření probíhalo při venkovní teplotě 1,7 °C v době, kdy byl utlumen výkon otopného systém. V zóně pobytu člověka nebylo dosaženo požadované teploty 12 °C, ale pouze 7 °C. Rozdíl venkovní teploty a teploty v zóně pobytu člověka byl tedy pouhých 5,3 °C. Přesto je z měření patrné nepříznivé rozložení teplot v interiéru. Dá se předpokládat, že s větším rozdílem teplot by se také zvýšil negativní vliv těchto jevů. Příčina je pravděpodobně v nevhodném otopném systému.

Měření potvrdilo, že současný stav vytápění haly je nevhodný. Pro daný prostor se jako nejvhodnější jeví sálavé stropní panely.

5. Ekonomické zhodnocení

5.1. Zhodnocení konečného řešení – rozlehlá budova

V případě rozlehlé budovy se jeví jako zásadní problém tepelně technicky neuspokojivý stav obalových konstrukcí. To s sebou nese ohromné tepelné ztráty, s čímž úzce souvisí vysoké náklady na vytápění. Naopak použité tepelné zdroje a způsob vytápění se jeví jako pro danou situaci vhodné. Navíc se dá předpokládat, že i v případě zateplení, tedy po zásadním poklesu potřeby tepla, bude nadále k dispozici dostatečná regulovatelnost systému.

Vhodným řešením je pro takový případ dodatečná izolace obvodových konstrukcí a střechy a výměna výplní otvorů stěn. Cílem je u těchto ploch dosáhnout jejich normových hodnot součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2. Budova se tak posune do klasifikační třídy „C“ energetické náročnosti. [1; 15]

Pro izolaci obvodových konstrukcí je uvažován pěnový polystyren Styrotrade EPS s tepelnou vodivostí $\lambda = 0,04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, u ostatních částí konstrukce je předpokládáno, že po jejich výměně bude přesně dosaženo normou požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla. [9]

Tab. 7 Potřebné tloušťky izolačního materiálu a dosažené vlastnosti pláště

Název složky pláště	A_j [m ²]	d_x [m]	U_j	U_N	U_x	H_{Tp}	H_{TpX}
			[W·m ⁻² ·K ⁻¹]			[W·K ⁻¹]	
Cihla 30	33,87	0,120	1,774	0,30	0,28	2644,3	304,1
Cihla 45	232,91	0,100	1,343	0,30	0,30		
Cihla 60	44,00	0,100	1,081	0,30	0,29		
Beton 20	117,15	0,120	2,923	0,30	0,30		
Ytong	10,10	0,080	0,737	0,30	0,30		
Eurookno	36,48	–	0,915	1,50	0,91		
Luxfera	10,08	–	1,931	1,50	1,50		
Vrata	8,41	–	5,882	1,70	1,70		
Střecha A	187,39	0,160	3,547	0,24	0,23		
Střecha B	180,98	0,160	3,818	0,24	0,23		
Střecha C	108,96	0,160	3,818	0,24	0,23		

Zdroj: (Vlastní – normové hodnoty součinitele prostupu tepla dle [15])

d_x potřebná tloušťka tepelné izolace [m]

U_x izolací dosažený součinitel prostupu tepla j-té složky pláště [W·m⁻²·K⁻¹]

H_{TpX} měrná ztráta prostupem tepla obalovými konstrukcemi po zaizolování [W·K⁻¹]

5.1.1. Finanční návratnost

Tab. 8 Hrubá kalkulace nákladů na zateplení pláště

Položka	Jednotek	Jednotková cena včetně práce [Kč]	Cena celkem včetně DPH [Kč]
Kontaktní zateplovací systém	123,0 m ³	6 315	1 398 518
Omítky vnější	438,0 m ²	300	
Omítky vnitřní	477,3 m ²	355	
Okna	10,1 m ²	6 530	
Vrata	8,4 m ²	2 620	

Zdroj: (Vlastní – jednotkové ceny dle [25])

Z rozdílu měrné ztráty prostupem tepla obalovými konstrukcemi před a po zaizolování a ze vztahů (12) a (14) vychází následující výpočet:

$$Q_X = (H_{Tp} - H_{TpX}) \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad (19)$$

$$Q_X = (2644,3 - 304,1) \cdot (12 - 1,97) \cdot 5064 = 118,863 \cdot 10^6 [W \cdot h]$$

Q_X roční úspora tepla po zaizolování [W·h]

Objekt je vytápěn trubkovou otopnou soustavou s článkovými tělesy, jako palivo je užíván zemní plyn. Při ceně 1 388 Kč za MW·h lze předpokládat roční úsporu na palivu cca 164 500 Kč. Tato hodnota nejpozději za 8,5 roku provozu převyší celkové náklady na zateplení pláště a v důsledku průměrného meziročního růstu cen energií o 3 % se návratnost ještě urychlí. [24]

Vzhledem k celkově dobrému stavu objektu a další perspektivě jeho využívání se dá tato úprava pouze doporučit. Nutno podotknout, že v posledních letech bylo z důvodu finančních úspor v budově záměrně dosahováno nižších než požadovaných teplot. Zateplení by tak mělo především vliv na zkvalitnění podmínek vnitřního prostředí, tedy zvýšení komfortu pracovníků a optimalizace skladovacích podmínek.

5.1.2. Energetická návratnost

Finanční návratnost je hledisko, které bývá před každou stavbou či úpravou investorem zhodnoceno. Otázku, za jakou dobu provozu stavby se ušetří energie, která je pro úpravu nutná, tety energie potřebná jak k výrobě stavebního materiálu, tak pro vlastní realizaci díla, si pokládá investor jen zřídka. Stejná situace je mezi vztahem emisí znečištění uvolněných při výrobě materiálu, výstavbě a likvidaci k emisím ušetřeným při provozu stavby. [12]

Kvůli ubývání surovinových a energetických zdrojů, globálním klimatickým změnám a nadměrnému znečišťování celé planety by těmto otázkám měla být věnována vyšší pozornost. Některé trendy poslední doby se na danou problematiku pozvolna zaměřují a zavádějí materiály, které vycházejí z tradičních přírodních surovin. Tyto materiály vykazují nízké množství vázané energie, to je pojem, který bývá označován jako „PEI“ – primary energy input či „šedá energie“. Vyčíslit množství této energie je velmi obtížné a výsledek je zatížen značnou chybou. [4; 14]

Tab. 9 Orientační výpočet vázané energie materiálu potřebného na zateplení pláště

Položka	Jednotek	Jednotková hmotnost	PEI [MJ·kg ⁻¹]	Vázaná energie celkem [MW·h]
Polystyren	123,0 m ³	20 kg·m ³	98,5	142,934
Omítka	13,7 m ³	1800 kg·m ³	1,6	
Ošetření stěn	1,8 m ³	1000 kg·m ³	15,6	
Okna a dveře	18,5 m ²	35 kg·m ²	317	

Zdroj: (Vlastní – jednotkové hmotnosti dle [9]; hodnoty PEI dle [4])

Pro případ zateplení rozlehlé budovy bylo vyčísleno množství vázané energie. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 9. Tyto údaje byly spočítány především pro srovnání ekonomické a energetické závislosti a je potřeba k nim přistupovat pouze jako k orientačním hodnotám. Při srovnání roční úspory tepla vzniklé zateplením pláště budovy (118,863 MW·h) a celkové vázané energie materiálu na to potřebného (142,934 MW·h) je patrné, že energetická návratnost úpravy je cca 1,2 roku, což je asi 1/7 doby finanční návratnosti. Posouzení této hodnoty není jednoduché, každopádně existuje řada materiálů se srovnatelnými technickými vlastnostmi, které vykazují menší množství vázané energie a návratnost by se jejich použitím značně zkrátila.

5.2. Zhodnocení konečného řešení – vysoká hala

Jak již bylo řečeno, stávající způsob vytápění vysoké haly je nevhodný. Jeho provozem nastává nežádoucí rozložení teplot v interiéru, kdy je dosaženo nedostatečných tepelných podmínek v pobytové zóně s vysokou energetickou náročností. Použitím závěsných sálavých stropních panelů by pravděpodobně bylo dosaženo celkově příznivějších podmínek a částečné úspory energie.

Značné energetické úspory by zde mohlo být dosaženo, stejně jako v předchozím případě, zlepšením tepelně technických vlastností obalových konstrukcí. Ovšem vzhledem k značným proskleným plochám se dá předpokládat, že by byl tento zákrok velmi finančně náročný.

5.2.1. Finanční návratnost

Tab. 10 Hrubá kalkulace nákladů na realizaci sálavého vytápění

Položka	Jednotek	Jednotková cena včetně práce [Kč]	Cena celkem včetně DPH [Kč]
Sálavý pás KSP-750	57 m	1 920	194 130
Rozvody	76 m	450	
Armatury	9 ks	615	
Úprava kotle	1 ks	4 500	
Řídicí jednotka	1 ks	8 100	

Zdroj: (Vlastní – jednotkové ceny dle [28])

Přesné stanovení ušetřeného množství energie změnou vytápění je obtížné, výsledná hodnota by přesto nevykazovala vysokou přesnost. Pro orientaci postačí hodnota, kterou uvádí literatura, tedy že závěsné stropní panely oproti trubkové otopné soustavě s článkovými tělesy, dosahují u velkoprostorových objektů úspory 40 – 60 %. Za předpokladu snížení spotřeby energie na vytápění pouze o 40 %, bude během ročního provozu ušetřeno asi 53,12 MW·h. Při ceně 1 388 Kč za MW·h lze předpokládat roční finanční úsporu na palivu cca 73 730 Kč. S touto částkou se náklady na realizaci sálavého vytápění vrátí již za 2,5 roku provozu. [24]

Protože celkový stav objektu není uspokojivý, jeví se realizace sálavého vytápění s takto rychlou návratností jako optimální řešení pro částečné snížení energetické náročnosti. Budova vyžaduje zásadní zásah a není jisté, jak se bude nadále v delším časovém horizontu vyvíjet jeho využití, proto větší investice není namístě.

6. Závěr a doporučení pro praxi

Cílem této práce je komplexní shrnutí problematiky tepelně technických vlastností budov a zmínění několika možností, jak dosáhnout snížení spotřeby energie. Pro lepší názornost byly zvoleny dva průmyslové objekty, pro něž byla nejprve stanovena zimní tepelná bilance a posouzena energetická náročnost budovy. Na tomto základě, bylo zjištěno, že obě budovy spadají do klasifikační třídy energetické náročnosti „G“, tedy mimořádně nevhodné. U obou budov byl hlavní příčinou neuspokojivý stav obalových konstrukcí.

V případě rozlehlé budovy je největším nedostatkem velká plocha obalových konstrukcí a tím pádem nepříznivá geometrická charakteristika budovy. Negativní dopad této skutečnosti byl snížen provedením dodatečné tepelné izolace a výměnou nevyhovujících výplní otvorů stěn. Pro úplnost byl návrh doplněn o úvahu finanční návratnosti, kde byla potvrzena vhodnost této úpravy.

I v případě vysoké haly je na první pohled zřejmý nevyhovující stav obalových konstrukcí. Finanční návratnost jejich vylepšení není adekvátní celkovému stavu objektu. Z tohoto důvodu je navržena pouze změna principu vytápění na způsob, který je pro obdobné prostory nejvhodnější. Touto cestou se dosáhne energetických úspor s optimální finanční návratností.

Tato práce se snaží mimo jiné poukázat na fakt, že dodatečná tepelná izolace, což je v dnešní době jedna z nejčastěji prováděných stavebních úprav, představuje jen dílčí část řešení problematiky jak dosáhnout nízké energetické náročnosti budov. Na celou situaci je potřeba nahlížet komplexně a uvědomit si, že na výsledek má zásadní vliv už návrh budovy, tedy stavebně koncepční řešení stavby a její geometrická charakteristika. Dále na ni působí již zmíněné tepelné technické vlastnosti pláště, druh vytápění a v neposlední řadě také způsob užívání stavby a chování jejích uživatelů.

V práci je také zmíněna ekologická stránka provozu budov, tedy především z pohledu způsobu vytápění a používaných paliv. Připomenuta je dále dnes často opomíjená otázka energetické náročnosti výroby některých stavebních materiálů a znečištění životního prostředí s tím spojeným.

7. Seznam použitých zdrojů

- [1] BERNARDINOVÁ, Anna a Miroslav MAREŠ. *Zpracování průkazu energetické náročnosti budovy: praktická příručka pro všechny majitele rodinných a bytových domů, bytů a pro realitní kanceláře*. Praha: Linde Praha, 2013, 148 s. ISBN 978-80-7201-914-4.
- [2] DAHLSVEEN, Trond, Dušan PETRÁŠ a Jiří HIRŠ. *Energetický audit budov*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003, 295 s. ISBN 80-889-0586-9.
- [3] DANIELS, Klaus. *Technika budov: příručka pro architekty a projektanty*. 1. čes. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003, 519 s. ISBN 80-889-0563-X.
- [4] CHYBÍK, Josef. *Přírodní stavební materiály*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2009, 268 s. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [5] JUODIS, Egidijus a Vida ASANAVIČENĚ. *Energy efficient building: study material for architecture students*. Vilnius: Technika, 2009, 76 s.
- [6] KOTRBATÝ, Miroslav, Ondřej HOJER a Zuzana KOVÁŘOVÁ. *Hospodaření teplem: „nejlevnější energie je energie ušetřená“*. 1. vyd. Praha: ČSTZ, 2009, 266 s. ISBN 978-80-86028-41-5.
- [7] KOTRBATÝ, Miroslav. *Sálavé vytápění*. 1. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 1993, 39 s.
- [8] KRARTI, Moncef. *Weatherization and energy efficiency improvement for existing homes: an engineering approach*. 415 s. ISBN 9781439851289.
- [9] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. *Výpočtové tabulky pro vytápění: vztahy a pomůcky*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001, 208 s. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 80-02-01466-9.
- [10] MITCHELL, John W a James E BRAUN. *Principles of heating, ventilation, and air conditioning in buildings*. Hoboken, NJ: Wiley, 2013, 600 s. ISBN 0470624574.

- [11] NOVÝ, Richard. *Technika prostředí*. 1.vyd. Praha: ČVUT, 2000, 265 s. ISBN 80-01-02108-4.
- [12] POČINKOVÁ, Marcela. *Úsporný dům*. 1. vyd. Brno: ERA, 2004, x, 183 s. ISBN 80-86517-96-9.
- [13] POČINKOVÁ, Marcela. *Vytápění*. 1. vyd. Brno: ERA, 2002, 133 s. ISBN 80-86517-35-7.
- [14] YUDELSON, Jerry. *Green building trends: Europe*. Washington, D.C.: Island Press, 2009, 160 s.
- [15] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 53 s.
- [16] ČSN EN 832 (73 0564) *Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy*. Praha: Český normalizační institut, 2000, 52 s. Česká technická norma.
- [17] ČSN EN ISO 6946 (73 0558) *Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2008, 27 s. Česká technická norma.
- [18] ČSN EN ISO 13370 (73 0559) *Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 140 s. Česká technická norma.
- [19] ČSN EN ISO 13790 (73 0317) *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 42 s. Česká technická norma.
- [20] CHYBÍK, Josef. Dřevěné konstrukce a přírodní izolační materiály. In: *TZB-info* [online]. 2010 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6791-drevene-konstrukce-a-prirodni-izolacni-materialy>
- [21] MURTINGER, Karel. Čím můžete topit a za kolik. In: *Nazeleno* [online]. 2009 [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/vytapeni-1/moznosti-vytapeni-cim-muzete-topit-a-za-kolik.aspx>

- [22] PERGL, Jan. Topná sezóna začíná – jak správně regulovat topení. In: *Nazeleno* [online]. 2013 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/bydleni/topna-sezona-zacina-jak-spravne-regulovat-topeni.aspx>
- [23] PONCAROVÁ, Jana. Ceny vytápění 2013. In: *Finance* [online]. 2012 [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: <http://www.finance.cz/zpravy/finance/362521-ceny-vytapeni-2013-naklady-muze-zvednout-povinna-vymena-kotle/>
- [24] Ceníky. In: *Pražská plynárenská* [online]. 2014 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://www.ppas.cz/plyn/ceniky-2014>
- [25] Ceny výstavby rodinného domu. In: *Náš dům* [online]. 2015 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://www.nasdum.cz/ceny-ve-stavebnictvi/ceny-vystavby-rodinneho-domu>
- [26] Energy Advice for Owners of Older and Historic Homes. In: *US enviromental protection anency* [online]. 2014 [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: <http://epa.gov/region5/sustainable/energyadvice.html>
- [27] Otopná sezóna. In: *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2014 [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_8_Otopna_sezona&nc=1&portal_lang=cs#PP_Otopna_sezona
- [28] Sálavé panely. In: *Kotrbatý* [online]. 2013 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://www.kotrbaty.cz/?page=product-1&lang=cz>
- [29] Vlastnosti a kvalita paliva. In: *Thermoil* [online]. 2010 [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://www.thermoil.cz/topny-olej/vlastnosti-a-kvalita-paliva>

8. Seznam použitých symbolů

A_j	vnější plocha j-té složky pláště	$[m^2]$
A_z	plocha styku se zeminou	$[m^2]$
b	pracovní činitel	$[-]$
B'	charakteristický rozměr podlahy	$[m]$
d_n	tloušťka n-té vrstvy v konstrukci	$[m]$
d_t	ekvivalentní tloušťka podlah	$[m]$
d_x	potřebná tloušťka tepelné izolace	$[m]$
H	měrná tepelná ztráta budovy	$[W \cdot K^{-1}]$
H_{Tp}	měrná ztráta prostupem tepla obalovými konstrukcemi	$[W \cdot K^{-1}]$
H_{TpX}	měrná ztráta prostupem tepla obalovými kcmi po zaizolování	$[W \cdot K^{-1}]$
H_{Tz}	měrná ztráta prostupem tepla zeminou	$[W \cdot K^{-1}]$
H_V	měrná tepelná ztráta větráním	$[W \cdot K^{-1}]$
P	volný obvod budovy	$[m]$
P_m	metabolický výkon	$[W]$
P_{os}	příkon osvětlení	$[W]$
P_x	příkon ostatních spotřebičů	$[W]$
Q	roční potřeba tepla objektu	$[W \cdot h]$
\dot{Q}_g	celkový ziskový tepelný tok	$[W]$
\dot{Q}_t	celkový ztrátový tepelný tok	$[W]$
R_n	tepelný odpor n-té vrstvy	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_j	tepelný odpor skladby vrstev	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_{se}	vnější odpor při přestupu tepla	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_{si}	vnitřní odpor při přestupu tepla	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_{Tj}	odpor při prostupu tepla j-tou složkou pláště	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
t	délka časového úseku	$[h]$
U	průměrný součinitel prostupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_j	součinitel prostupu tepla pro j-tou složkou pláště	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_N	normový součinitel prostupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_R	referenční průměrný součinitel prostupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_X	izolací dosažený součinitel prostupu tepla j-té složky pláště	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_z	ekvivalentní součinitel prostupu tepla zeminou	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$

V	objem vytápěného prostoru	$[m^3]$
\dot{V}	celkový objemový tok vzduchu	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
\dot{V}_{\min}	minimální hodinová výměna vzduchu	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
w	střední tloušťka obvodových stěn	$[m]$
θ_i	požadovaná vnitřní teplota	$[^{\circ}C]$
θ_e	průměrná vnější teplota	$[^{\circ}C]$
λ_n	návrhová tepelná vodivost materiálu n-té vrstvy	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
λ_z	návrhová tepelná vodivost zeminy	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
$\rho_a \cdot c_a$	tepelná kapacita vzduchu o jednotkovém objemu	$[W \cdot h \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$

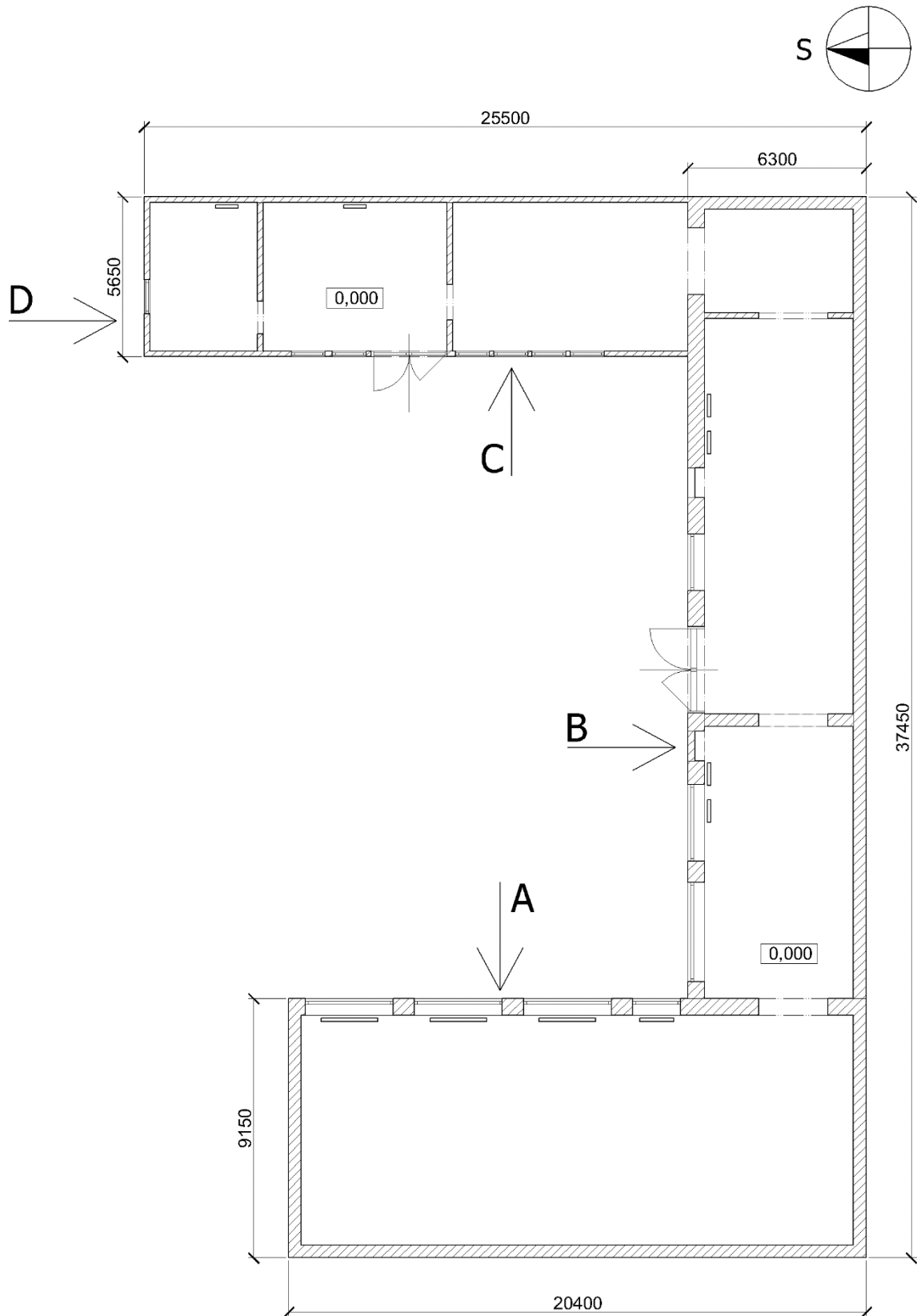
9. Seznam obrázků

- Obr. 1 Roční energetické bilance budovy
- Obr. 2 Závislost potřebného vytápěcího výkonu na tloušťce izolace
- Obr. 3 Schéma a) rozlehlé budovy, b) teoretické kompaktní budovy
- Obr. 4 Srovnání provozních nákladů na 1 GJ tepla pro různá paliva
- Obr. 5 Teplotní podmínky v hale při teplotovzdušném vytápění pro různé venkovní teploty
- Obr. 6 Teplotní podmínky v hale vytápěné závěsnými sálavými panely pro různé venkovní teploty
- Obr. 7 Vizualizace naměřených teplot a) vnitřní povrchové teploty střešní konstrukce
b) teplotní profil prostředí

10. Seznam tabulek

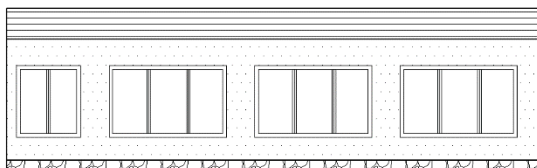
- Tab. 1 Numerický výpočet měrné ztráty tepla obvodovým pláštěm – rozlehlá budova
- Tab. 2 Numerický výpočet měrné ztráty tepla obvodovým pláštěm – vysoká hala
- Tab. 3 Zařazení posuzovaných objektů do klasifikační třídy energetické náročnosti
- Tab. 4 Srovnání potřebné tloušťky a hmotnosti konstrukce pro různé materiály
- Tab. 5 Srovnání měrných ztrát prostupem tepla svislým obvodovým pláštěm pro kompaktní a rozlehlou budovu
- Tab. 6 Srovnání celkového rozdílu měrných tepelných ztrát pro obě varianty geometrického uspořádání budovy
- Tab. 7 Potřebné tloušťky izolačního materiálu a dosažené vlastnosti pláště
- Tab. 8 Hrubá kalkulace nákladů na zateplení pláště
- Tab. 9 Orientační výpočet vázané energie materiálu potřebného na zateplení pláště
- Tab. 10 Hrubá kalkulace nákladů na realizaci sálavého vytápění
- Tab. A Naměřené hodnoty teplotních profilů

Příloha A – Půdorys 1:200 – rozlehlá budova

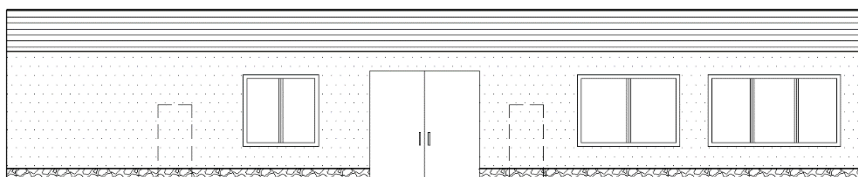


Příloha B – Pohledy 1:200 – rozlehlá budova

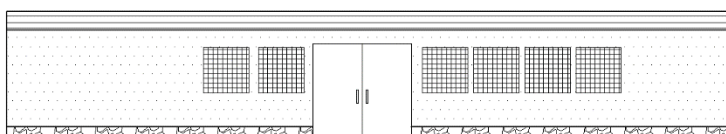
POHLED - A



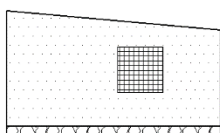
POHLED - B



POHLED - C



POHLED - D

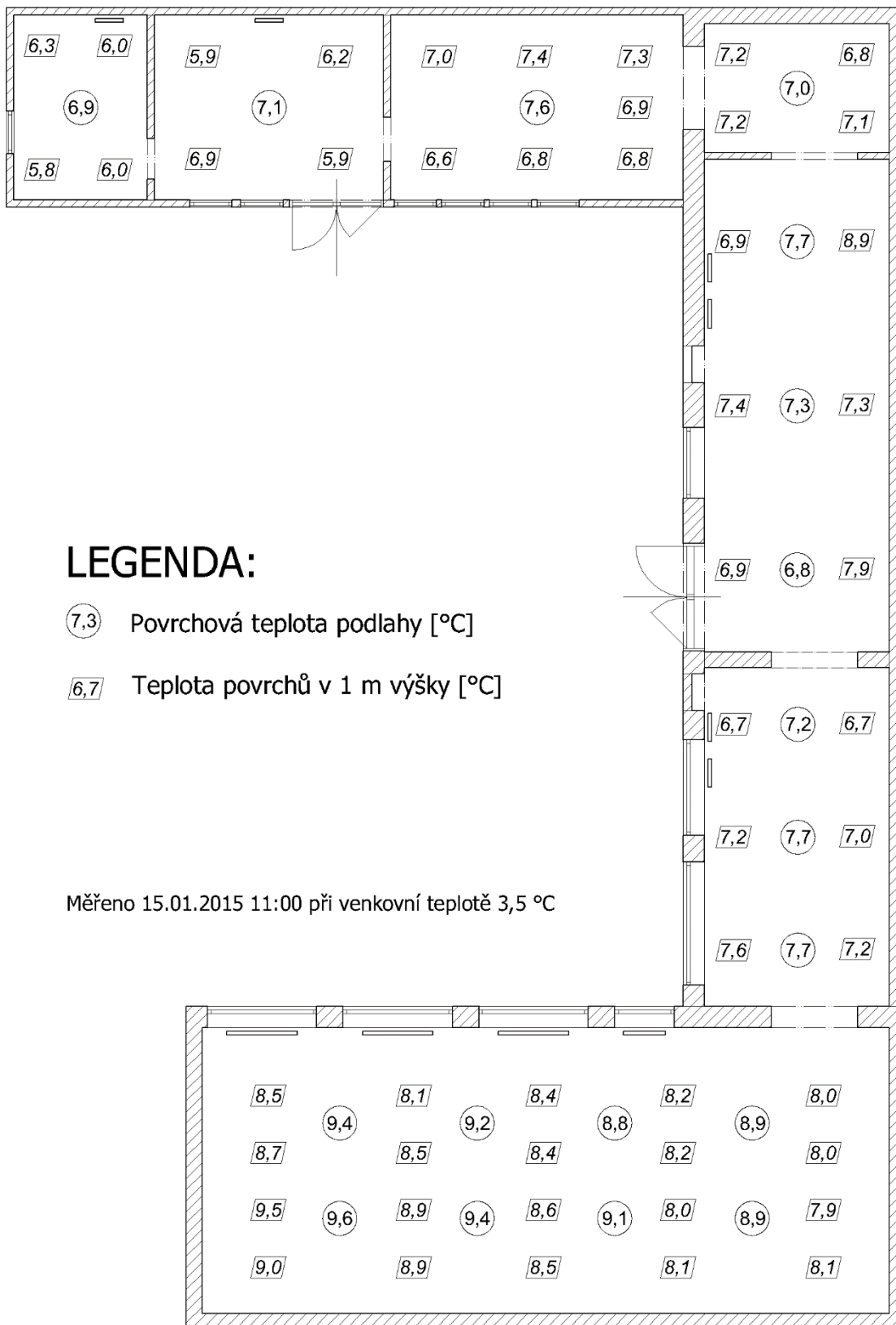


OSTATNÍ POHLEDY - PLNÁ STĚNA

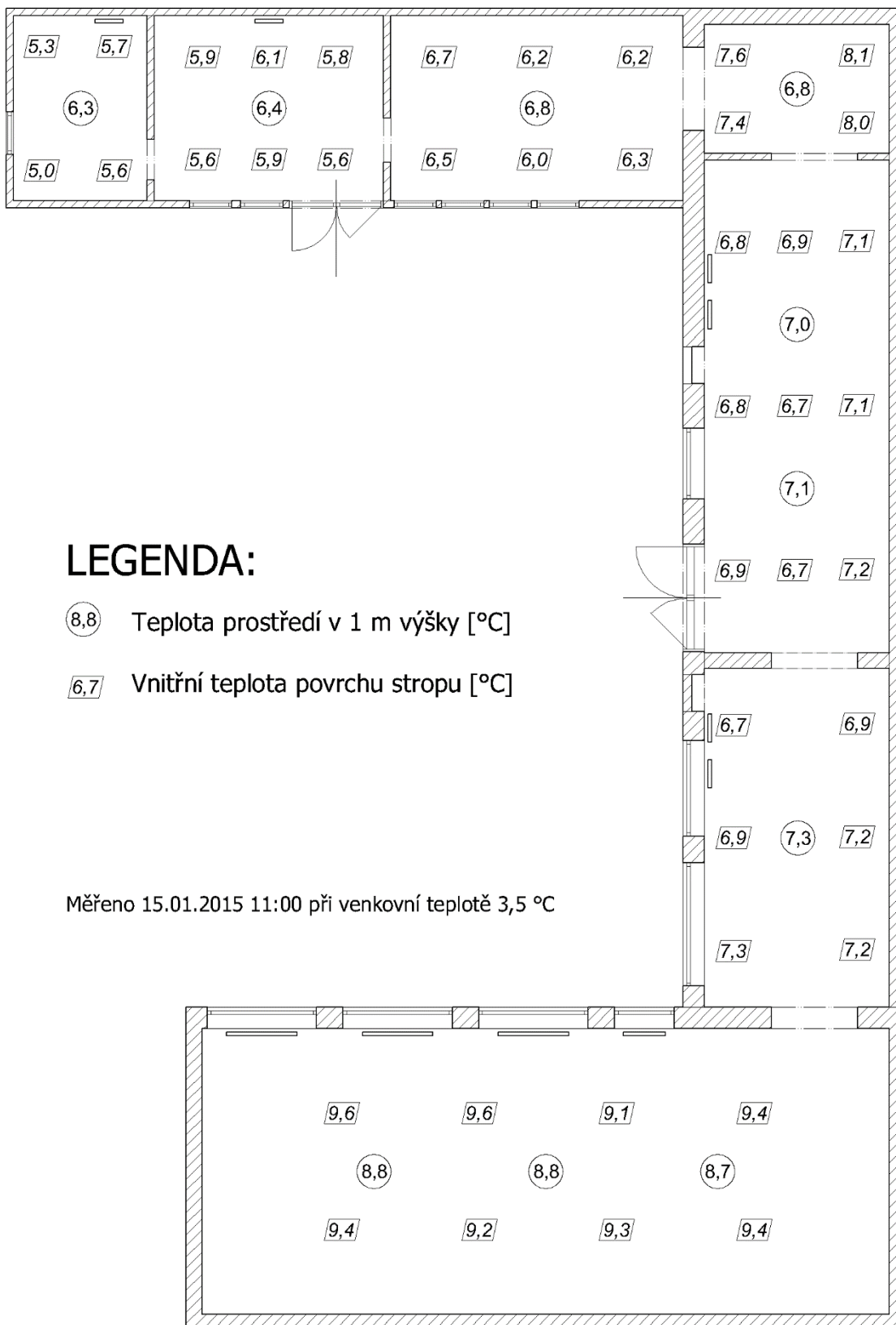
LEGENDA:

	Vápenocementová omítka
	Luxfery
	Sřešní kritina
	Sokl - lícový kámen

Příloha C – Naměřené hodnoty – rozlehlá budova



Příloha C – Naměřené hodnoty – rozlehlá budova



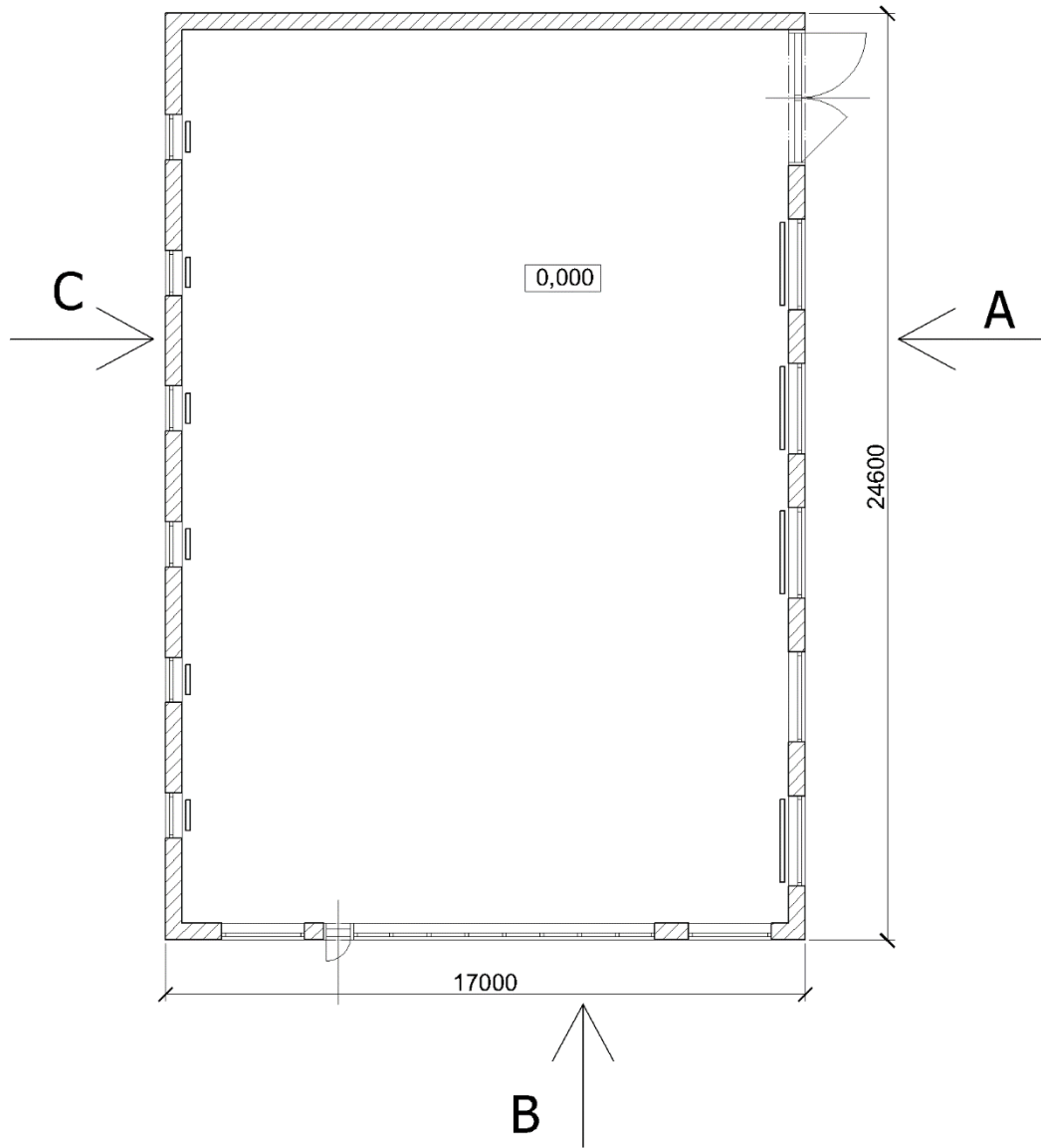
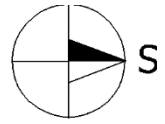
LEGENDA:

⊙ 8,8 Teplota prostředí v 1 m výšky [°C]

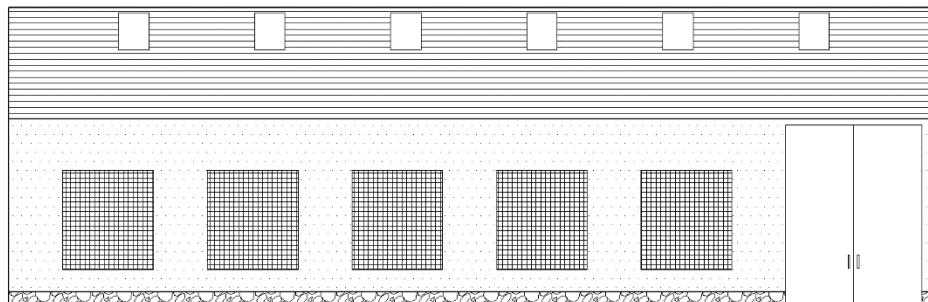
▢ 6,7 Vnitřní teplota povrchu stropu [°C]

Měřeno 15.01.2015 11:00 při venkovní teplotě 3,5 °C

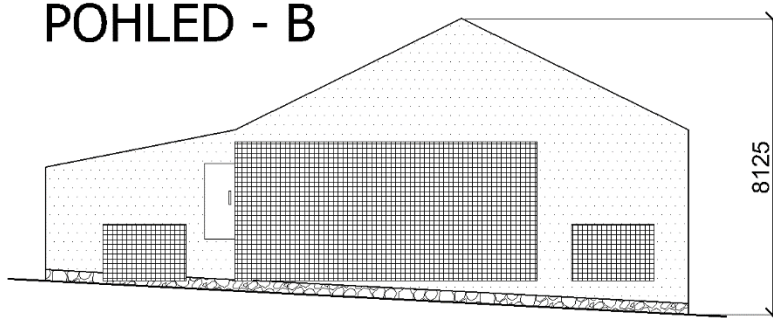
Příloha D – Půdorys 1:200 – vysoká hala



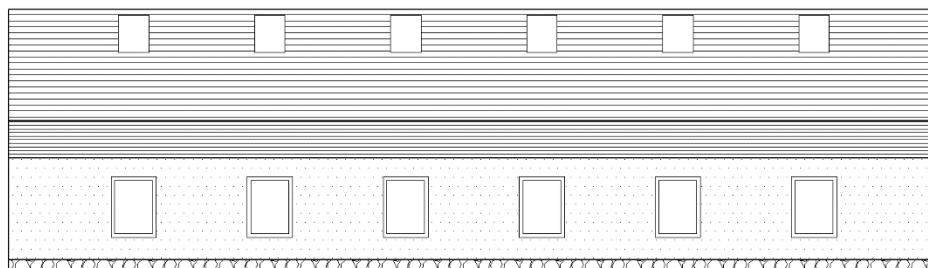
POHLED - A



POHLED - B



POHLED - C

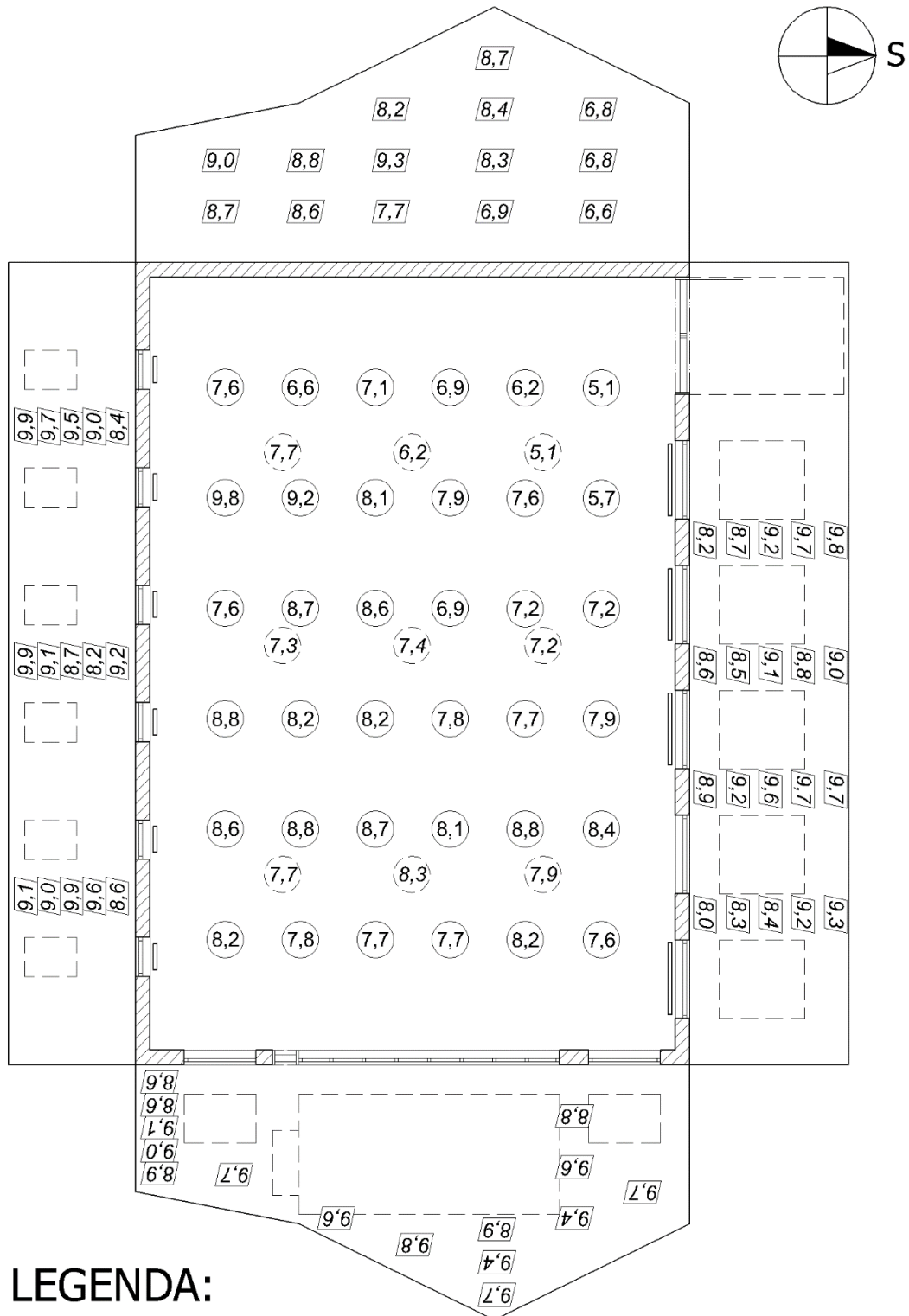


OSTATNÍ POHLEDY - PLNÁ STĚNA

LEGENDA:

	Vápenocementová omítka
	Luxfery
	Sřešní kritina
	Sokl - lícový kámen

Příloha F – Naměřené hodnoty – vysoká hala

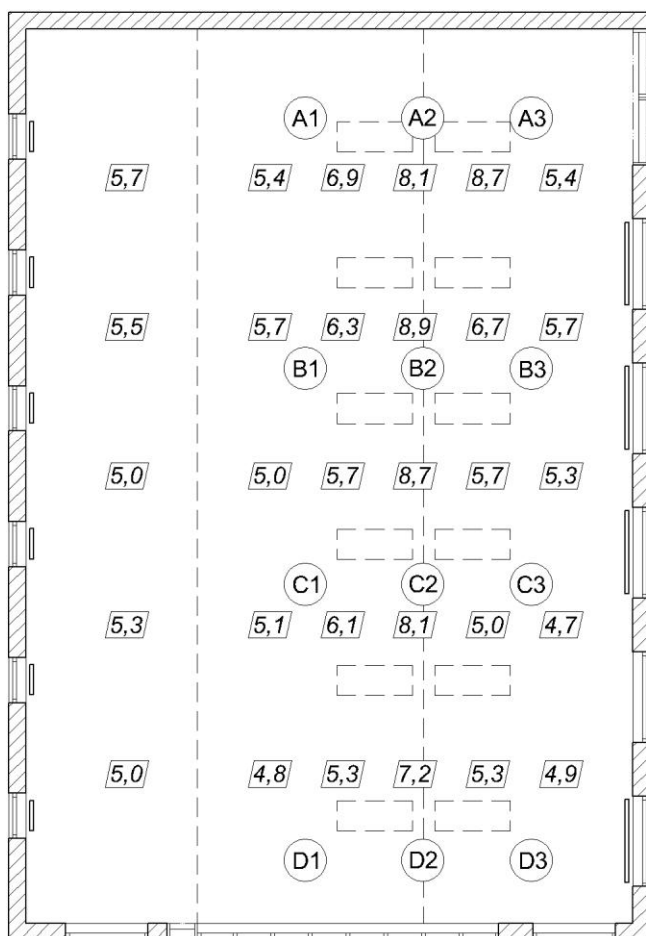


LEGENDA:

- ⊙ 8,8 Povrchová teplota podlahy [°C]
- ▭ 9,7 Povrchová teplota stěny [°C]
- ⊙ 7,7 Teplota prostředí v 1 m výšky [°C]

Měřeno 15.01.2015 8:30 při venkovní teplotě 1,6 °C

Příloha F – Naměřené hodnoty – vysoká hala



LEGENDA:

- A1 Místo měření teplotního profilu - hodnoty viz Tab. A [°C]
- ▭ 5,7 Vnitřní teplota povrchu stropu [°C]

Tab. A Naměřené hodnoty teplotních profilů

Výška od podlahy [m]	Teplota pro danou výšku nad bodem:											
	A1 [°C]	A2 [°C]	A3 [°C]	B1 [°C]	B2 [°C]	B3 [°C]	C1 [°C]	C2 [°C]	C3 [°C]	D2 [°C]	D2 [°C]	D3 [°C]
7,7	/	11,2	/	/	12,2	/	/	10,2	/	/	10,1	/
7,0	/	11,1	/	/	11,6	/	/	10,7	/	/	10,1	/
6,3	10,7	11,0	10,7	10,7	10,8	10,8	10,7	10,4	10,7	10,7	9,7	10,8
5,6	10,7	10,7	10,5	10,6	10,6	10,6	10,7	9,9	10,6	10,7	9,4	10,5
4,9	10,0	10,1	9,8	9,9	10,0	10,0	10,0	10,1	10,0	10,0	9,2	9,9
4,2	9,2	9,5	9,1	9,2	9,4	9,3	9,3	9,9	9,3	9,2	9,0	9,0
3,5	8,8	8,9	8,6	9,1	9,2	9,2	9,0	9,5	9,1	9,0	8,8	8,9
2,8	8,7	8,9	8,6	9,0	8,9	9,0	8,8	9,1	8,9	8,8	8,7	8,9
2,1	8,4	8,6	8,1	8,3	8,7	8,5	8,5	8,9	8,5	8,4	8,8	8,3
1,4	8,1	8,2	8,0	8,2	8,2	8,2	8,1	8,9	8,2	8,1	8,8	7,9
0,7	7,3	7,5	7,2	7,5	7,6	7,6	7,4	8,2	7,5	7,4	9,3	7,3
0,0	7,4	7,1	7,2	6,9	6,5	6,8	7,1	7,8	6,9	7,1	7,9	7,0

Zdroj: (Vlastní)

Měřeno 15.01.2015 8:30 při venkovní teplotě 1,6 °C