

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**VYTÁPĚNÍ HORSKÝCH
REKREAČNÍCH OBJEKTŮ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kment** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **508952**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
 Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
 Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vytápění horských rekreačních objektů

Název bakalářské práce anglicky:

Heating of Mountain Holiday Buildings

Pokyny pro vypracování:

Zaměřte se na problematiku vytápění horských rekreačních objektů. Pokuste se zmapovat způsoby vytápění u objektů především na českých horách. Zabývejte se vlivem vrstvy sněhu na střešní krytině jako tepelně-izolačního materiálu. Řešte nestandardní návrh vytápění konkrétního objektu v Krkonoších v podobě projektové studie a v rámci návrhu se zabývejte diskusí o možnostech různých zdrojů tepla v dané lokalitě.

Seznam doporučené literatury:

Bašta, J.: Velkoplošné sálavé vytápění. Grada Publishing, a.s., Praha 2010, 128 s., ISBN 978-80-247-3524-5.
 Bašta, J.: Regulace v technice prostředí staveb. Česká technika, nakladatelství ČVUT, Praha 2014, 194 s., ISBN 978-80-01-05455-0
 Bašta, J.: Otopné plochy, otopná tělesa. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2016. ? 204 s., ISBN 978-80-01-05943-2.
 Bašta, J., Kabele, K.: Otopné soustavy teplovodní, sešit projektanta. Třetí přepracované vydání, STP 2008, ISBN 978-80-02-02064-6, 96 s.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D. ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **08.04.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **06.06.2024**

Platnost zadání bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

8.4.2024

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

SOUHRN

Tato bakalářská práce se zabývá vytápěním horských rekreačních objektů.

Horské rekreační objekty byly rozděleny dle jejich stavební konstrukce a způsobu využívání do tří kategorií. U každé této kategorie byly popsány používané způsoby vytápění s důrazem na používané zdroje tepla, a to tak, aby bylo možné zhodnotit, zda se k vytápění těchto horských rekreačních objektů hodí. V této práci je také popsána problematika vedení tepla sněhem a jeho tepelně-izolační vlastnosti.

V rámci projektové studie byl řešen návrh vytápění horské chalupy. Součástí tohoto návrhu je výpočet tepelných ztrát a návrh vytápění pomocí krbu s teplovzdušnými rozvody. V rámci vypočtených tepelných ztrát byl vyhodnocen vliv sněhové pokrývky na střeše objektu na tepelné ztráty.

SUMMARY

This bachelor thesis deals with the heating of mountain recreational buildings.

Mountain holiday buildings were divided according to their construction and use into three categories. For each of these categories, the heating methods used have been described, with emphasis on the heat sources used, in order to assess their suitability for heating these mountain recreational buildings. This thesis also describes the issue of heat conduction through snow and its thermal insulation properties.

The heating design of a mountain chalet was addressed in the design study. This design includes the calculation of heat losses and the design of heating by means of a fireplace with hot air ducts. The effect of snow cover on the roof of the building on the heat losses was evaluated as part of the calculated heat losses.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Vytápění horských rekreačních objektů“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jiřího Bašty, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 6. 6. 2024

Martin Kment

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D., za poskytnuté rady a informace, stejně jako ochotu a čas, který mi věnoval při vedení této bakalářské práce.

Děkuji také mé rodině a spolužákům, kteří mě během studia podporovali.

OBSAH

Soupis použitého značení.....	8
1. ÚVOD	14
2. HORSKÉ REKREAČNÍ OBJEKTY.....	15
2.1 Horské boudy	15
2.1.1 Historie a charakteristika	15
2.1.2 Možnosti vytápění	18
2.2 Horské chaty	22
2.2.1 Historie a charakteristika	22
2.2.2 Možnosti vytápění	23
2.3 Horské chalupy	30
2.3.1 Historie a charakteristika	31
2.3.2 Možnosti vytápění	31
3. TEPELNĚ-IZOLAČNÍ VLASTNOSTI SNĚHU	40
3.1 Součinitel tepelné vodivosti.....	40
3.2 Tepelná vodivost sněhu	41
4. PROJEKTOVÁ STUDIE.....	46
4.1 Popis objektu a jeho využívání	46
4.2 Výpočet tepelných ztrát	48
4.2.1 Podklady pro výpočet tepelné ztráty	49
4.2.2 Tepelná ztráta prostupem tepla	50
4.2.3 Tepelná ztráta větráním	52
4.2.4 Celková tepelná ztráta objektu	53
4.3 Vliv sněhové pokrývky na střeše na tepelné ztráty objektu	54
4.4 Dosavadní způsob vytápění a jeho nedostatky	56

4.5 Návrh krbu s teplovzdušnými rozvody	59
4.5.1 Krb a krbová vložka	59
4.5.2 Návrh teplovzdušných rozvodů.....	62
4.5.3 Parametry teplovzdušného výměníku.....	65
4.5.4 Součinitel prostupu tepla potrubí.....	66
4.5.5 Tepelná ztráta potrubí a tepelné zisky od teplého vzduchu	71
4.5.6 Stanovení povrchové teploty přívodního potrubí	73
4.5.7 Tlakové ztráty v potrubí.....	74
4.5.8 Návrh potrubních ventilátorů.....	78
4.6 Parametry navrhnutého způsobu vytápění.....	80
5. DISKUSE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	81
6. ZÁVĚR.....	83
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	85
PŘÍLOHY	96

Soupis použitého značení

a	součinitel teplotní vodivosti	$[\text{m}^2/\text{s}]$
c_p	měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku	$[\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}]$
c_L	měrná tepelná kapacita vzduchu	$[\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}]$
c_{Li}	měrná tepelná kapacita vzduchu v dané části potrubí	$[\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}]$
d	vnitřní průměr potrubí	$[\text{m}]$
g	gravitační zrychlení	$[\text{m}/\text{s}^2]$
i_{LV}	součinitel spárové průvzdušnosti	$[(\text{m}^3/\text{s})/(\text{m}\cdot\text{Pa}^{0,67})]$
k_k	absolutní drsnost daného typu potrubí	$[\text{m}]$
\dot{m}_c	hmotnostní průtok vzduchu výměníkem	$[\text{kg}/\text{s}]$
\dot{m}_j	hmotnostní průtok vzduchu v dané části potrubí	$[\text{kg}/\text{s}]$
\dot{m}_m	hmotnostní průtok vzduchu teplovzdušným meandrem	$[\text{kg}/\text{s}]$
\dot{m}_{vz}	hmotnostní průtok vzduchu přiváděného do místnosti	$[\text{kg}/\text{s}]$
n	počet	$[-]$
n_h	požadovaná intenzita větrání	$[1/\text{h}]$
n_v	vypočtená intenzita větrání	$[1/\text{h}]$
p_1	přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn	$[-]$
p_2	přirážka na urychlení zátopu	$[-]$
p_3	přirážka na světovou stranu	$[-]$
p_{di}	dynamický tlak v dané části potrubí	$[\text{Pa}]$
Δp_{Fki}	tlaková ztráta třením v daném úseku potrubí	$[\text{Pa}]$
p_{LF}	tlaková ztráta způsobená filtrem vzduchu	$[\text{Pa}]$
Δp_{Li}	tlaková ztráta způsobená místním odporem	$[\text{Pa}]$
Δp_{Th}	tlaková ztráta hlavní větve	$[\text{Pa}]$

Δp_{Thi}	tlaková ztráta úseku, který je součástí hlavní větve	[Pa]
Δp_{Ti}	tlaková ztráta v úseku potrubí	[Pa]
Δp_{Ts}	rozdíl tlaků k doškrcení klapkou v potrubí	[Pa]
Δp_{Tvi}	tlaková ztráta úseku, který je součástí vedlejší větve	[Pa]
p_v	dopravní tlak ventilátoru	[Pa]
\vec{q}	vektor plošné hustoty tepelného toku	[W/m ²]
\dot{q}_p	měrný tepelný tok stěnou potrubí	[W/m]
r	poloměr střednice oblouku	[m]
s_i	tloušťka stavební konstrukce	[m]
s_p	tloušťka stěny potrubí	[m]
s_{pi}	tloušťka izolace potrubí	[m]
t_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
t_{gr}	teplota zeminy	[°C]
t_i	vnitřní výpočtová teplota v místnosti	[°C]
t_{ie}	teplota v sousední nevytápěné místnosti	[°C]
t_{in}	teplota vzduchu na vstupu do výměníku	[°C]
t_{mi}	teplota vzduchu na vstupu do meandru	[°C]
t_{mo}	teplota na výstupu z daného meandru	[°C]
t_s	teplota vzduchu v potrubí	[°C]
t_{si}	teplota vzduchu v místě sání	[°C]
t_{s1}	teplota vzduchu na začátku dané části potrubí	[°C]
t_{s2}	teplota vzduchu na konci dané části potrubí	[°C]
t_o	teplota okolí	[°C]
t_{out}	teplota vzduchu na výstupu z výměníku	[°C]

t_p	povrchová teplota potrubí na vnější straně	[°C]
t_{pp}	povrchová teplota přívodního potrubí v podkrovním pokoji	[°C]
Δt_v	rozdíl teploty vzduchu na vstupu a výstupu z výměníku	[°C]
t_{vk}	teplota uvnitř krbové komory	[°C]
v	rychlost proudění tekutiny	[m/s]
v_i	střední průtoková rychlost v potrubí	[m/s]
	–	
B	charakteristické číslo budovy	[Pa ^{0,67}]
D	vnější průměr potrubí	[m]
D_i	vnější průměr potrubí s izolací	[m]
K	bezrozměrný exponent	[–]
L	charakteristický rozměr	[m]
L_i	délka dané části potrubí	[m]
L_{ki}	délka potrubí daného typu potrubí v daném úseku	[m]
L_o	délka spáry otevíratelné části oken a venkovních dveří	[m]
L_p	výška potrubí	[m]
M	charakteristické číslo místnosti	[–]
P_k	jmenovitý výkon zdrojů tepla	[kW]
$\dot{Q}_{c,s1}$	celková tepelná ztráta místnosti pro modelovou situaci S1	[W]
$\dot{Q}_{c,s2}$	celková tepelná ztráta místnosti pro modelovou situaci S2	[W]
\dot{Q}_c	celková tepelná ztráta místnosti	[W]
\dot{Q}_j	tepelný výkon teplovzdušného meandru	[W]
\dot{Q}_o	základní tepelná ztráta	[W]

\dot{Q}_p	tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
\dot{Q}_v	tepelná ztráta větráním	[W]
\dot{Q}_{vk}	tepelný výkon teplovzdušného výměníku	[W]
\dot{Q}_{vz}	tepelný zisk od přiváděného teplého vzduchu	[W]
\dot{Q}_z	trvalý tepelný zisk	[W]
R_z	tepelný odpor přilehlé zeminy	[m ² ·K/W]
S_j	plocha stavební konstrukce	[m ²]
T	termodynamická teplota	[K]
ΔT	rozdíl mezi teplotou stěny a tekutiny	[K]
U	součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_{cm}	průměrný součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_p	součinitel prostupu tepla vztažený na 1 m délky potrubí	[W/m·K]
\dot{V}_i	objemový průtok vzduchu v daném úseku	[m ³ /s]
\dot{V}_k	objemový průtok spalovacího vzduchu	[m ³ /s]
V_m	objem místnosti	[m ³]
\dot{V}_{th}	objemový průtok vzduchu teplovzdušným výměníkem	[m ³ /h]
\dot{V}_v	objemový průtok větracího vzduchu	[m ³ /s]
\dot{V}_{vh}	objemový průtok větracího vzduchu daný hygienickým požadavkem	[m ³ /s]
\dot{V}_{vi}	objemový průtok jednou větví přívodního potrubí	[m ³ /h]
\dot{V}_{vp}	objemový průtok větracího vzduchu infiltrací	[m ³ /s]
	–	
α_i	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně	[W/m ² ·K]
α_e	součinitel přestupu tepla na venkovní straně	[W/m ² ·K]

α_K	součinitel přestupu tepla konvekcí	[W/m ² ·K]
α_{Pe}	celkový součinitel přestupu tepla na vnější straně potrubí	[W/m ² ·K]
α_{PeV}	součinitel přestupu tepla konvekcí na vnější straně vodorovného potrubí	[W/m ² ·K]
α_{Pes}	součinitel přestupu tepla konvekcí na vnější straně svislého potrubí	[W/m ² ·K]
α_{Pi}	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně potrubí	[W/m ² ·K]
α_S	součinitel přestupu tepla sáláním	[W/m ² ·K]
β	součinitel teplotní roztažnosti tekutiny	[1/K]
β_k	úhel natočení potrubní klapky	[°]
ε	relativní drsnost potrubí	[-]
ζ_i	součinitel místní ztráty daného prvku	[-]
ζ_k	součinitel místní ztráty jednoduché potrubní klapky	[-]
ζ_m	součinitel místní ztráty ventilační mřížky	[-]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[W/m·K]
$\vec{\lambda}$	součinitel tepelné vodivosti jako tenzor druhého řádu	[W/m·K]
λ_{ef}	efektivní součinitel tepelné vodivosti	[W/m·K]
λ_i	součinitel tepelné vodivosti dané stavební konstrukce	[W/m·K]
λ_{iP}	součinitel tepelné vodivosti izolace potrubí	[W/m·K]
λ_L	součinitel tepelné vodivosti tekutiny	[W/m·K]
λ_P	součinitel tepelné vodivosti stěny potrubí	[W/m·K]
λ_{tki}	součinitel třecích ztrát pro daný typ potrubí v úseku	[-]
ρ	hustota tepelně vodivého materiálu	[kg/m ³]
ρ_t	hustota tekutiny	[kg/m ³]

ρ_{ti}	hustota vzduchu v dané části potrubí	[kg/m ³]
ν	kinematická viskozita tekutiny	[m ² /s]
ψ	středový úhel oblouku	[°]

Bezrozměrná čísla

Gr	Grashofovo číslo	[-]
Nu	Nusseltovo číslo	[-]
Pr	Prandtlovo číslo	[-]
Ra	Rayleighovo číslo	[-]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]

1. ÚVOD

Česká pohoří na našem území jsou vyhledávaným místem pro rekreaci. Správně navržená otopná soustava s dostatečným tepelným výkonem je velmi důležitým prvkem všech obytných budov, tedy i horských rekreačních objektů. Při návrhu vytápění těchto objektů musí být brán zřetel na požadavky spojené s polohou, způsobem využívání a často i s jejich historickou hodnotou. V této práci bude popsáno a zhodnoceno, jak různé způsoby vytápění vyhoví těmto požadavkům. Při návrhu otopné soustavy se vychází z tepelných ztrát vytápěného objektu. Bude zde popsáno, jaký vliv má na tyto tepelné ztráty sněhová pokrývka, která se během otopného období na střešní krytině horských objektů často vyskytuje.

Součástí této práce je řešení návrhu netradičního způsobu vytápění krkonošské chalupy v podobě projektové studie. Proto zde bude popsáno zejména vytápění objektů, které stejně jako rodinná chalupa autora práce stojí v tomto nejvyšším českém pohoří.

Při řešení projektové studie bylo možné zjistit všechny důležité parametry stavebních konstrukcí a parametry současně používaných lokálních zdrojů tepla. Autorovi bylo též umožněno nahlédnout do fotodokumentace prarodičů, díky které bylo možné detailněji zjistit všechny potřebné informace. V rámci návrhu vytápění bylo možné vycházet i z dlouhodobých zkušeností s vytápěním této chalupy.

2. HORSKÉ REKREAČNÍ OBJEKTY

Krkonošské rekreační objekty můžeme rozdělit na základě jejich stavební konstrukce a způsobu využívání do následujících kategorií na:

- horské boudy,
- horské chaty,
- horské chalupy,

V následujících podkapitolách jsou tyto objekty představeny a jsou popsány využívané způsoby jejich vytápění s důrazem na používané zdroje tepla.

2.1 Horské boudy

Horské boudy slouží k ubytování většího množství osob v oddělených pokojích a jsou v provozu celé otopné období. V první podkapitole bude stručně popsána historie krkonošských horských bud na několika příkladech. Navazující podkapitola přiblíží možnosti vytápění těchto objektů.

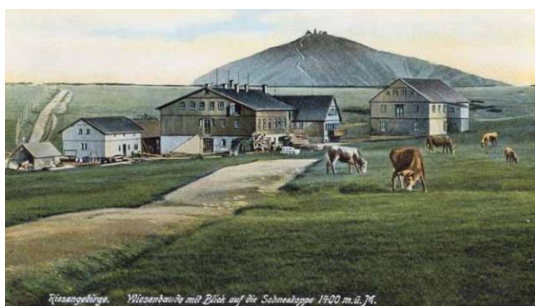
2.1.1 Historie a charakteristika

Historie osídlení Krkonoš sahá k přelomu 13. a 14. století, kdy se uskutečnila první vlna zemědělské kolonizace. V 15. století docházelo k osidlování Krkonoš, především z důvodu rozšiřování těžby drahých kovů a těžby a zpracování železných rud. Během třicetileté války došlo k výraznému přílivu obyvatel, kteří se před válkou ukrývali do hor. To dalo základ typickému boudnímu hospodářství. První horské boudy si můžeme představit jako prostá hospodářská stavení se dvěma místnostmi oddělenými předsíní. Větší místnost sloužila k ustájení dobytka, menší pak jako ubytování pro boudaře a jeho rodinu. Tato stavení byla zpočátku využívána k sezónnímu hospodaření a v zimě nebyla obývána. To změnil až sílící turismus na konci 18. století. Původní malé boudy byly přestavovány a rozšiřovány tak, aby posloužily k ubytování většího počtu turistů. [1] [2]

Nejstarší, a v současnosti největší Krkonošskou boudou, je **Luční bouda**, která byla postavena podle současných důkazů ve druhé polovině 16. století. Tato bouda stojí v nadmořské výšce 1410 m n. m. Během zimy v okolí boudy panují velmi nepříznivé přírodní podmínky. Původně sloužila k hospodaření, později ji využívali i turisté,

kteří spali na seně v půdních prostorách a každý den odtud vyráželi na nedaleký vrchol Sněžky.

Bouda se nachází v blízkosti Bílého Labe. Dříve bylo součástí boudy vodní kolo, které sloužilo k pohonu různých domácích zařízení včetně máselnice nebo kolébky. Během své šest století trvající historie několikrát vyhořela a byla přestavěna. Naposledy vyhořela v roce 1938 při ústupu vojsk z pohraničí. Za druhé světové války byla pak přestavěna do podoby, ve které se zachovala dodnes. Wehrmacht používal tuto boudu během druhé světové války jako školící středisko. Luční bouda je postavena převážně ze železobetonu a nabízí ubytování až pro 150 hostů. [3]



Obr. 2-1 Luční bouda 1915 [2]



Obr. 2-2 Luční bouda [4]

Další známou Krkonošskou boudou je **Labská bouda**, jejíž historie se začala psát v roce 1830, kdy zde byla vystavěna malá budka z kamení, v níž se prodávalo občerstvení turistům. Na konci 19. století došlo k přestavbě a výraznému rozšíření objektu tak, aby posloužil turistům i k ubytování. V listopadu roku 1965 bouda vyhořela. Na jejím místě se v roce 1975 otevřela bouda nová. Kontroverzní devítipatrová železobetonová panelová budova je netradičně umístěna ve svahu tak, že hlavní vchod je v úrovni nejvyššího podlaží. Nabízí ubytování pro 120 hostů v 79 pokojích. [5]



Obr. 2-3 Labská bouda před přestavbou [5]



Obr. 2-4 Labská bouda [6]

Petrova bouda stejně jako mnoho ostatních bud sloužila dříve pouze k ubytování pastevců v letních měsících. Na počátku 19. století došlo k přestavbě na komplex určený k celoročnímu používání a na konci tohoto století už Petrovy boudy sloužily zejména k ubytování turistů. V roce 2011 byly Petrovy boudy výrazně poničeny při požáru, přestavba začala v roce 2016 a nyní je komplex již částečně opět v provozu a nabízí ubytování pro 65 osob. Některé požárem neporušené stavební prvky byly zachovány, původní kamenné zdivo z části nahradily cihly Porotherm a k vylepšení tepelně izolačních vlastností, které odpovídají dnešním náročným požadavkům na zateplení objektů, byla použita minerální vata. [2] [7]



Obr. 2-5 Petrova bouda [8]

Poslední bouda, která zde bude zmíněna, je **Kolínská bouda**, ležící nad Pecí pod Sněžkou. V roce 1927 se tato bouda stala první krkonošskou boudou, kterou vlastnil Klub Československých turistů, většina krkonošských bud byla totiž vlastněna až do odsunu po druhé světové válce německými boudaři. Po druhé světové válce byla Kolínská bouda rozšířena. Je převážně roubená a během covidové pandemie byla zateplena a zrekonstruována. V současnosti nabízí ubytování pro 104 hostů. [9] [10]



Obr. 2-6 Kolínská bouda [11]

2.1.2 Možnosti vytápění

Vytápění horských bud je poměrně specifickou záležitostí. Jedná se o objekty, které jsou často na velmi odlehlých místech a teploty zde po dobu několika měsíců v roce klesají hluboko pod bod mrazu. Přerušování dodávky elektřiny zde mohou díky klimatickým podmínkám nastávat častěji než na jiných místech. Přesto je nezbytné zajistit hostům i v těchto nepříznivých podmínkách tepelnou pohodu. Dříve se používalo k vytápění těchto objektů palivové dřevo, které se těžilo v lesích v blízkosti bud. Dřevem se topilo ve velkých stavěných kamnech. Do těchto kamen, která stála v hlavní místnosti, se přikládalo z chodby. Kamna byla v provozu celý rok, protože kromě vytápění měla na starost i ohřev vody. Dnes se v horských boudách k ohřevu teplotonosné látky používá několik různých zdrojů tepla.[2]

Zdrojem tepla v Labské boudě byl donedávna **kotel na lehký topný olej**. Tento typ kotle, jak už z názvu vyplývá, spaluje lehké topné oleje. Výhodou lehkého topného oleje je výrazně vyšší výhřevnost oproti běžně používaným pevným palivům. Z toho plyne, že zásoby paliva na otopné období zaberou méně místa, než by zabrala paliva pevná. Další výhodou těchto kotlů je, že je jejich provoz bezobslužný. K uskladnění paliva slouží speciální nádoby o kapacitě několika tisíc litrů. Nejnovější generace kotlů na nízkosírné lehké topné oleje je navíc vybavena kondenzačním výměníkem. Riziko přírodní katastrofy, ke které by mohlo dojít při úniku paliva, je společně s vysokou cenou ropy důvodem, proč byly tyto kotle na Labské boudě nahrazeny kotli na pevná paliva. [12] [13] [14]



Obr. 2-7 Řez kondenzačním kotlem na topný olej [14]

Automatické kotle na pevná paliva umožnily přechod od kotlů na kapalná paliva, aniž by byly výrazně zvýšeny nároky na obsluhu. Tyto kotle spalují dřevo ve formě pelet, nebo uhlí menší zrnitosti. Palivo je do spalovací komory přiváděno u většiny kotlů ze zásobníku pomocí šnekového dopravníku. Další dopravník se může starat o odebrání popela, nebo je popel vybírán ručně. Kotle tohoto typu jsou vybaveny systémy, které umožňují regulovat výkon kotle v širokém rozsahu, a některé také dokáží ve spalovací komoře automaticky zapálit palivo pomocí žhavicí spirály. Pokud je zásobník na palivo a popelník dostatečně veliký, vydrží kotel v provozu bez obsluhy několik dní i týdnů. Výhodou kotlů na tuhá paliva jsou především nízké provozní náklady. Ke skladování paliva je však zapotřebí dostatek prostoru a u biomasy musí mít skladovací prostory i vyhovující vlhkost. Nevýhodou automatických kotlů je oproti dříve používaným jednodušším kotlům na tuhá paliva jejich závislost na dodávce elektrické energie a vyšší pořizovací cena. Nazývat tyto kotle jako automatické může být do jisté míry zavádějící, protože se bez obsluhy neobejdou. [15] [16] [17]



Obr. 2-8 Automatický kotel na pelety se zásobníkem [18] Obr. 2-9 Odvod popela [19]

Dalším zdrojem tepla, který je stále oblíbenější a získává si svoje místo i při vytápění horských rekreačních objektů, jsou **tepelná čerpadla**. V roce 2022 byla na Luční boudě instalována tři tepelná čerpadla alpha innotec LW 251. Společně mají tato tepelná čerpadla typu vzduch-voda jmenovitý výkon 72 kW. Umístění tepelných čerpadel ve sklepním prostoru nenarušuje venkovní vzhled budovy. V blízké budoucnosti by měl být obnoven po několika dekádách provoz vodní elektrárny na Bílém Labi. Tato malá elektrárna s Francisovou turbínou byla postavena v roce 1927 a zásobovala Luční boudu elektrickou energií. Po zprovoznění elektrárny nebude

provoz tepelných čerpadel zcela závislý na dodávce elektrické energie z rozvodné sítě a bude využívána energie z obnovitelného zdroje. [20] [21] [22] [23]



Obr 2-10 Tepelné čerpadlo alpha innotec LW 251, Luční bouda [21]

Dalším místem, kde se k vytápění používají jako zdroj tepla tepelná čerpadla, jsou Petrovy boudy. Jde o tepelná čerpadla typu země-voda od firmy IVT. Konkrétně se jedná o dvě tepelná čerpadla IVT GEO G 228 a jedno tepelné čerpadlo IVT Premiumline EQ E17. Tepelná čerpadla využívají 21 hlubinných vrtů o celkové hloubce 2541 metrů. Tato čerpadla mají společně jmenovitý výkon 75 kW. Pořizovací náklady tepelných čerpadel země-voda jsou zpravidla vyšší než tepelných čerpadel vzduch-voda. Jejich výhodou ale je, že topný faktor při hlubokých mrazech neklesá tak jako u tepelných čerpadel typu vzduch-voda. Ta se navíc za těchto nepříznivých klimatických podmínek mohou potýkat s tvorbou námrazy na lamelách výparníku. Odmrazování probíhá pomocí zpětného chodu, který už tak nízký topný faktor ještě o něco sníží. [24] [25] [26] [27]



Obr. 2-11 Technická místnost s tepelnými čerpadly IVT, Petrova bouda [24]

Kromě tepelných čerpadel se v komplexu Petrových bud nachází tři sporáky na dřevo La Nordica Rosa Maiolica a kachlová krbová kamna ABX Karélie. [28]



Obr 2-12 Sporák na dřevo [29]



Obr. 2-13 Kachlová krbová kamna [30]

V největším apartmánu Petrovy boudy se nachází sporák se stavěným topeništěm a v restauraci se nacházejí **akumulační sálavá kamna s kachlovým obkladem**. Jak vyplývá z názvu, teplo je u těchto kamen předáváno do prostoru z kachlového povrchu převážně sáláním. Kamna mají stavěné topeniště a tahový systém, což je labyrint, kterým procházejí spaliny před napojením do komína. Kamna se dimenzují na několik hodin akumulace, obvykle se v nich zatápí pouze jednou až dvakrát denně v závislosti na požadovaném tepelném výkonu. Tato kamna jsou vhodná pouze pro kontinuální vytápění, jejich možnost dynamické regulace je velmi nízká. Výroba tepelné energie v Petrových boudách však díky těmto lokálním zdrojům tepla na pevná paliva není závislá pouze na dodávce elektrické energie. [28] [31]



Obr. 2-14 Sporák se stavěným topeništěm a kachlovým obkladem, Petrova bouda [28]

Kolínská bouda se na rozdíl od výše zmíněných bud nachází v těsné blízkosti významného Krkonošského střediska, Pece pod Sněžkou. V tomto městě je vybudována rozvodná síť zemního plynu. Kolínská bouda má tak zajištěnou plynovou přípojku a zdrojem tepla je plynový kotel. Plynové kotle se často používají zejména k vytápění horských chat, proto budou zmíněny v další podkapitole. [9] [32]

Ve všech zmíněných boudách se nacházejí teplovodní otopné soustavy. V Labské a Kolínské boudě slouží k vytápění pokojů desková otopná tělesa, na Luční boudě jsou otopná tělesa desková i článková. V Petrových boudách se setkáme s podlahovým vytápěním, které je v koupelnách apartmánů doplněno trubkovými otopnými tělesy. Trubková otopná tělesa se nachází i v koupelnách na dalších boudách. Tento typ otopných těles je mezi návštěvníky horských rekreačních objektů oblíben, protože na něm lze sušit mokré textilie. Při návrhu otopných těles je potřeba pamatovat na to, že desková otopná tělesa nejsou na sušení oblečení uzpůsobena. Vlhké textilie položené na deskovém otopném tělesu brání proudění vzduchu a jsou nepříznivé i z hlediska koroze. Je tedy vhodné doplnit otopná tělesa sušákem pro desková otopná tělesa a použít pozinkovaná otopná tělesa, která lépe odolávají korozi. [28] [33]

2.2 Horské chaty

Horské chaty byly v Krkonoších vybudovány již pro účely rekreace. Tyto objekty jsou dnes často pronajímány hostům, nebo slouží jako podnikové chaty. Vytápění v těchto objektech je převážně kontinuální. V první části kapitoly bude přiblížena jejich historie v Krkonoších, v druhé části budou popsány možnosti jejich vytápění.

2.2.1 Historie a charakteristika

Ve druhé polovině 19. století prošly hornické osady jako Pec pod Sněžkou, Špindlerův Mlýn, Svatý Petr a Velká Úpa transformací na horská střediska. V první polovině 20. století docházelo v Krkonoších dále k výraznému rozvoji turistického ruchu. To s sebou přineslo výstavbu nových rekreačních objektů a přestavbu či rozšíření mnoha stávajících budov pro potřeby turistiky. Horské chaty povětšinou respektovaly charakteristiku původní zástavby a nenarušovaly výrazně okolní krajinu. Po konci druhé světové války došlo k nucenému vysídlení německého obyvatelstva a příchodu nových obyvatel. Tím byl značně narušen původní styl

života a způsob hospodaření. V období komunismu docházelo k přestavování původních staveb a výstavbě nových chat, které sloužily jako podniková rekreační zařízení. V posledním desetiletí minulého století došlo k rozšiřování zastavitelných ploch a výstavbě mnoha chatových kolonií v podobě tzv. holandských vesnic, které neodpovídají původní struktuře osídlení a narušují členění krajiny. [1]



Obr. 2-15 Horská chata, Svatý Petr [34]

2.2.2 Možnosti vytápění

K vytápění horských chat se používá hned několik různých zdrojů tepla. Dle ověřených informací uvedených na webovém portálu, který slouží k pronájmu horských chat, byla sestavena následující tabulka, v níž je rozděleno celkem 53 krkonošských horských chat podle způsobu vytápění.

Data v tabulce mohou být do jisté míry ovlivněna tím, že se jedná o způsob vytápění objektů sloužících zejména ke krátkodobému pronájmu. Je možné, že majitelé těchto chat při výběru zdroje tepla preferovali možnost bezobslužného provozu před náklady na vytápění.

Tab. 2-1 Zdroje tepla v horských chatách [35]

Chaty s ústředním vytápěním	
způsob vytápění	počet chat
Plynový kotel	9
Plynový kotel + krb	4
Plynový kotel + krbová kamna	1
Celkem s plynovým kotlem	14
Elektrokotel	8
Elektrokotel + krbová kamna	4
Elektrokotel + krbová kamna	2
Celkem s elektrokotlem	14
Kotel na pevná paliva - uhlí	1
Kotel na pevná paliva - dřevo	7
Celkem s kotlem na pevná paliva	8
Tepelné čerpadlo	3
Tepelné čerpadlo + krb	2
Celkem s tepelným čerpadlem	5
Krb s teplovodním výměníkem	1
Kotel na topný olej	1
Celkem s ústředním vytápěním	43
Chaty bez ústředního vytápění	
způsob vytápění	počet chat
Krb	1
Krb + elektrická lokální topidla	4
Krbová kamna + elektrická lokální topidla	2
Elektrická lokální topidla	2
Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch	1
Celkem bez ústředního vytápění	10

Horské chaty jsou díky velkému zájmu o pobyty na horách většinou obývány nepřerušovaně. Vytápění chat, kde vytápění není kontinuální, bude řešeno stejně, jako vytápění horských chalup v následující kapitole. Jak plyne z uvedených dat v tab. 2-1, horské chaty jsou převážně vybaveny ústředním vytápěním. Zdrojů tepla, které je možné použít pro ohřev teplonosné látky, je celá řada. Není žádnou výjimkou, že k vytápění jedné chaty slouží více zdrojů tepla. V oblastech Krkonoš nad 800 m. n. m. je normou stanovená venkovní výpočtová teplota na $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zdroj tepla by měl být navržený tak, aby pokryl tepelnou ztrátu objektu i při takových podmínkách. [36]

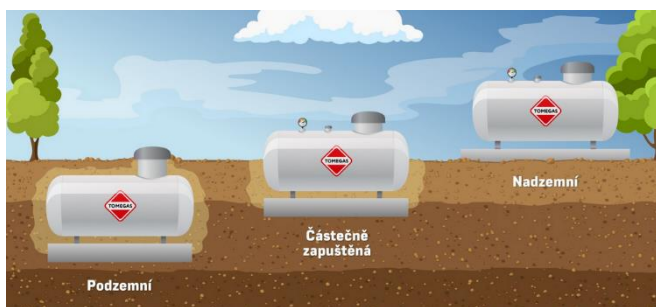
V největších krkonošských horských rekreačních střediscích, jako například ve Špindlerově Mlýně, Peci pod Sněžkou a Harrachově, je zajištěn rozvod plynu a je

možné zde zajistit plynovou přípojku. K vytápění chat se zde hojně používají **plynové kotle**. Moderní kondenzační kotle mají velmi vysokou účinnost a široký rozsah tepelného výkonu. Vzhledem k poměrně mírným zimám, které v Krkonoších v minulých letech panovaly, mohly kondenzační kotle pracovat, byla-li otopná soustava správně navržena, s nízkými teplotami vratné vody, tedy v kondenzačním režimu, kdy je jejich účinnost nejvyšší. Výhodou oproti kotlům na pevná paliva je bezobslužný provoz, nevýhodou jsou vyšší provozní náklady. [32] [36] [37] [38]

I v oblastech bez plynové přípojky lze použít jako zdroj tepla plynový kotel. Palivem je zkapalněný ropný plyn, který lze skladovat v zásobníku. Ten lze umístit v různých pozicích, jak je znázorněno na obr. 2-17. Toto řešení není v Krkonoších příliš rozšířeno, ale například v rakouských Alpách se s touto možností ohřevu teplotosné látky v horských chatách můžeme setkat častěji. [39]



Obr. 2-16 Doplnění zásobníku [39]



Obr. 2-17 Umístění zásobníku [40]

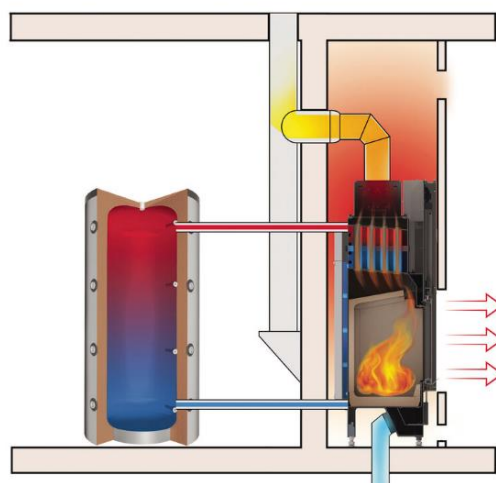
Tepelná čerpadla se používají i k vytápění horských chat. S jejich realizací jsou zde spojeny stejné problémy jako u horských bud. Tepelná čerpadla mají vyšší topný faktor, pokud nemusí ohřívat teplotosnou látku na vysokou teplotu. U tepelných čerpadel vzduch-voda bude topný faktor kromě teploty výstupní vody záviset výrazně na teplotě okolního vzduchu. Pokud má tepelné čerpadlo nahradit zdroj tepla, který původně pracoval s výrazně vyšší výstupní teplotou teplotosné látky, například kotel na pevné palivo, nebude otopná soustava na efektivní provoz s tepelným čerpadlem uzpůsobena. Instalace tepelného čerpadla by měla tedy zvláště u horských objektů proběhnout společně se stavebními úpravami vytápěného objektu, vedoucími ke snížení tepelné ztráty, případně i úpravou otopných ploch. Toto platí i pro výměnu nekondenzačního plynového kotle za kondenzační kotel tak, aby bylo možné využívat naplno jeho výhod. [37] [41]

I při nepříznivých podmínkách pro provoz tepelného čerpadla však bude elektrická energie měněna na tepelnou energii efektivněji než u elektrokotlů. **Elektrokotle** jsou v Krkonošských chatách poměrně rozšířené. Pořizovací náklady jsou v porovnání s jinými zdroji tepla nízké, tím však všechny jejich výhody končí. Náklady na vytápění jsou při současných cenách elektrické energie velmi vysoké. V současnosti mají stále při výrobě elektrické energie v České republice výrazný podíl fosilní paliva. Elektrokotel, spotřebovávající elektrickou energii ze sítě, je díky vysokému faktoru primární energie z neobnovitelných zdrojů energie tím nejméně ekologickým běžně používaným zdrojem tepla. Prezentování elektrokotlů jako ekologického zdroje tepla, tak jak to někteří prodejci elektrokotlů dělají, je v našich podmínkách velmi zavádějící. [38] [42]

Možností, jak se vyhnout vysokým nákladům za vytápění elektrokotlem, je používání elektrické energie z vlastních fotovoltaických panelů a zajištění dostatečné akumulace tak, aby byla využívána snížená sazba za elektrickou energii. K akumulačnímu zásobníku teplonosné látky lze připojit více zdrojů tepla, jako například krb nebo krbovou vložku s teplovodním výměníkem. [43]

Krby a krbová kamna s teplovodním výměníkem předávají část tepelného výkonu prostřednictvím výměníku teplonosné látky. Krb nebo krbová kamna s tímto výměníkem mohou sloužit i jako jediný zdroj tepla v objektu. Vzhledem k tomu, že k ohřevu teplonosné látky dochází pouze po dobu, kdy se v krbu nebo krbové vložce topí, je vhodné teplo ukládat do akumulační nádoby. Do otopné soustavy se krby nebo krbová kamna s teplovodním výměníkem často zapojují společně s dalším zdrojem tepla, který nevyžaduje pravidelnou obsluhu, například s výše zmíněným elektrokotlem či tepelným čerpadlem. Teplota vody na vstupu do výměníku by neměla být nižší než přibližně 65 °C kvůli riziku dehtování, případně i kondenzace některých složek spalin a koroze na povrchu výměníku. Pokud mají společně s krbovými kamny či krbem s teplovodním výměníkem sloužit jako zdroj tepla například tepelné čerpadlo nebo kondenzační plynový kotel, musí být tyto zdroje tepla pracující s nižší teplotou výstupní vody připojeny do otopné soustavy napřímo za výstupem z akumulační nádoby pomocí trojcestného směšovacího ventilu. Díky tomu je zajištěno, že teplota teplonosné látky na vstupu do výměníku nepodkročí

výrobce stanovenou mez a zároveň bude moci kondenzační plynový kotel či tepelné čerpadlo pracovat v optimálním režimu. [31] [44] [45]



Obr. 2-18 Zapojení krbové vložky s akumulací nádrží [46]

Podle zákona o ochraně ovzduší se na krbové vložky s teplovodním výměníkem, pokud je jejich jmenovitý tepelný příkon vyšší než 10 kilowattů, vztahují povinné revize, které musí provádět proškolená fyzická osoba nejméně jednou za tři roky. Stejně jako teplovodní kotle, musí být vybaveny chladicí smyčkou, do které v případě poruchy oběhového čerpadla musí proudit voda z vodovodní sítě. Pokud by byla voda zajištěna z vlastní studny elektrickým čerpadlem, při přerušení dodávky elektrického proudu by došlo k přerušení provozu jak oběhového čerpadla otopné soustavy, tak čerpadla zajišťujícího dodávku vody ze studny do chladicí smyčky, což by mohlo mít fatální následky. [47] [48]

Teplovodní kotle na tuhá paliva jsou na horách poměrně často zastoupeným zdrojem tepla. Kotle na pevná paliva můžeme rozdělit podle paliva na kotle spalující biomasu, nebo fosilní paliva. Původ všech pevných paliv je v rostlinné hmotě, pokud tato rostlinná masa prošla několik milionů let trvající fosilizací, pak je vzniklé palivo označováno za fosilní a zároveň za neobnovitelné, protože se za dobu lidského života stihne pouze vytěžit. Naproti tomu biomasa je obnovitelným zdrojem energie, protože k její obnově dochází v období, které je porovnatelně dlouhé s dobou lidského života. Nejpoužívanější biomasou, sloužící jako palivo v teplovodních kotlích, je kusové dřevo, dřevěné pelety a různé brikety z biomasy. Na trhu nalezneme i kotle spalující slámu nebo dřevní štěpku a různý podobný dřevěný odpad. Pevným fosilním palivem, používaným v malých teplovodních kotlích, je

společně s černým a hnědým uhlím a uhelnými briketami také koks. Ten vzniká průmyslově odstraněním větší části prchavé hořlaviny z černého uhlí. [49] [50] [51]

Lze očekávat, že do budoucna bude vyvíjen značný tlak na ukončení provozu všech kotlů na fosilní paliva. Dle webových stránek spravovaných ministerstvem životního prostředí může být provoz zdrojů tepla spalujících fosilní paliva do budoucna zdražen jistou formou zpoplatnění. Je tedy poměrně zřejmé, že při nákupu nového kotle na pevná paliva by měly být preferovány kotle na biomasu před kotli na fosilní paliva. Od 1. září 2024 dojde k zákazu provozu kotlů na tuhá paliva nižší než 3. emisní třídy. Majitelé těchto starých kotlů mohou čerpat na nákup nového zdroje tepla dotace z programu Nová zelená úsporám, případně kotlíkovou dotaci. [52]

Uhlí se nemusí na rozdíl od kusového dřeva sušit a snadněji se skladuje. Pro ty, kteří používali kotel na uhlí, může být dobrou volbou při přechodu na biomasu automatický kotel na dřevěné pelety, které lze uskladnit ve stávající kotelně ve speciálních zásobnících, které zabrání jejich navlhnutí. Z těchto zásobníků se pomocí šnekových dopravníků pelety dopravují ke kotli, tak jak to bylo popsáno v kapitole o vytápění horských bud. Jistou nevýhodou dřevěných pelet ukázaly události roku 2022, kdy se díky energetické krizi jejich cena zvýšila v průběhu roku přibližně o 125 %. Pro srovnání se za stejné období cena palivového dřeva zvýšila přibližně o 70 %. Tento rozdíl by se dal vysvětlit tím, že oproti kusovému dřevu nemají provozovatelé automatických kotlů tak velké zásoby paliva a při nárazovém zvyšování cen se měli tendenci předzásobovat, čímž se výrazně zvýšila poptávka, která s sebou přinesla i zvýšení cen. S ohledem na dostupnost palivového dřeva z krkonošských lesů budou dále popsány kotle, které spalují kusové dřevo, někdy též nazývané jako štípané. [53] [54] [55]

Kusové dřevo bylo prvním palivem, které člověk používal k získání tepla. Současným trendem nejen při vytápění horských chat jsou **dřevo-zplyňující kotle**. V těchto kotlích dochází po přiložení paliva nejprve k jeho vysoušení a následně k tepelnému rozkladu, jehož hlavními produkty jsou dřevěné uhlí a dřevní plyn, někdy též označovaný jako prchavá hořlavina. Ten se spaluje ve spalovací komoře ze žárobetonu, která odolá i velmi vysokým teplotám. Ve vrchní části kotle se nachází zásobník paliva, ve spodní pak spalovací komora a popelník. Mezi zásobníkem

a spalovací komorou je dřevo-zplyňující rošt. Kotle jsou na výstupním hrdle kouřovodu vybaveny ventilátorem, který zajišťuje ve spalovací komoře podtlak, zvyšuje kvalitu spalování a účinnost kotle. Brání také vykuřování kotle do místnosti při přikládání paliva. Druhý ventilátor se může starat o přivádění spalovacího vzduchu. Primární vzduch je přiváděn nad dřevo-zplyňující rošt, sekundární předeřtý vzduch je přiváděn přímo do spalovací komory. Přívod primárního vzduchu, otáčky odtahového ventilátoru a další parametry ovlivňující provoz kotle, jsou nastavovány automaticky podle požadavku na okamžitý výkon. K zajištění kvalitního spalování slouží také lambda sonda, která snímá množství zbytkového kyslíku ve spalinách. Na základě hodnot zjištěných lambda sondou a požadované hodnoty tepelného výkonu je regulován přívod spalovacího vzduchu. Kotle udržují při spalování takové podmínky, aby vznikalo minimální množství dehtu a sazí. Obsah plně naloženého zásobníku paliva postačí v závislosti na požadovaném topném výkonu na několik hodin provozu kotle, následně je nutné přiložit. Pokud k přiložení nedojde, kotel si drží dalších přibližně 12 hodin na roštu žhavé uhlíky, takže lze rovnou přiložit větší kusy dřeva. Voda na vstupu do kotle by stejně jako u jiných teplovodních kotlů na tuhá paliva neměla s ohledem na nízkoteplotní kondenzaci a dehtování kotle klesat pod 65 °C. [15] [43] [56]



Obr. 2-19 Dřevo-zplyňující kotel ATMOS [57]

Dřevo-zplyňující kotel je vhodné zapojit společně s akumulací nádrží. Dostatečná akumulace umožní provozovat kotel za optimálních podmínek s nejvyšší účinností a minimální tvorbou nežádoucího dehtu. Je doporučeno navrhovat akumulční nádoby tak, aby na každou kilowattu tepelného výkonu kotle bylo

k dispozici alespoň 55 litrů kapaliny v akumulční nádrži. Velikost akumulčních nádrží přímo ovlivní, jak často budeme muset v kotli topit. Rychlost ohřevu látky v akumulčních nádobách závisí na výkonu kotle. Dřevo-zplyňující kotle jsou levnější než kotle automatické, těm však postačí pouze menší vyrovnávací nádrž a jejich jmenovitý výkon může být nižší než u kotlů na kusové dřevo s akumulčními nádržemi. Díky tomu se mohou pořizovací náklady na kotle na kusové dřevo s několika objemnými akumulčními nádržemi přiblížit nákladům na pořízení automatického kotle na pelety. Někteří výrobci nabízejí dřevo-zplyňující kotle i v kombinaci s hořákem na pelety. Poté, co je ukončen provoz na kusové dřevo, zahájí se v těchto kombinovaných kotlích provoz na pelety. Kusové dřevo by mělo před přiložením schnout v závislosti na podmínkách přibližně dva roky. Volba mezi automatickým, dřevo-zplyňujícím či kombinovaným kotlem závisí vždy na konkrétních požadavcích a možnostech majitelů chat. [58] [59] [60]



Obr. 2-20 Kombinovaný kotel [61] Obr. 2-21 Kotel s akumulčními nádržemi [58]

2.3 Horské chalupy

Horské chalupy jsou objekty, které byly v minulých stoletích obývány celoročně, dnes je však většina těchto objektů využívána jen k občasné rekreaci. V první podkapitole bude přiblížena jejich historie v Krkonoších, v druhé budou popsány možnosti jejich vytápění.

2.3.1 Historie a charakteristika

Výstavba prvních chalup v Krkonoších je spojena s příchodem nových obyvatel ze Štýrska, Korutan a Tyrol, kteří do Krkonoš přinesli zkušenosti s hospodařením v horských podmínkách. Krkonošské chalupy jsou svým uspořádáním stejné jako původní krkonošské boudy. Chalupy byly rozděleny na hospodářskou a obytnou část. Obytná část byla roubená, chlévy měly původně také dřevěné stěny, ale od konce 18. století se stavěly převážně z kamene. Kámen byl ke stavbě chlévů využíván kvůli tomu, že těžká kamenná zeď má proti roubené stěně lepší akumulaci vlastností, tudíž v místnostech s kamennými zdmi docházelo během dne k menším teplotním výkyvům a také kamenné stěny lépe odolávaly dobytku. Chalupy byly postaveny ve svahu tak, aby se ze strany směrem ke svahu mohlo vstoupit po jednoduchém můstku do podkroví, které sloužilo jako seník. K vyrovnání terénu slouží vysoké kamenné podezdívky. Tyto chalupy jsou několik století spjaty s krkonošskými hřebeny. Při jejich případných rekonstrukcích by měla být brána v potaz jejich historická hodnota. [1] [2]



Obr. 2-22 Chalupa, Paseky nad Jizerou [62]

2.3.2 Možnosti vytápění

Jelikož je převážná část krkonošských chalup obývána nárazově, budou zde popsány tomu odpovídající možné způsoby vytápění. Na chalupy, které by byly obývány nepřerušovaně, se vztahuje již popsaná problematika vytápění horských chat. Horské chalupy v Krkonoších se často nacházejí v místech, kde není rozvodná síť vody a voda je zajišťována čerpadlem ze studně. Díky tomu zde nelze použít teplovodní kotle na tuhá paliva, které jsou jištěny pomocí chladicí smyčky v kombinaci s uzavřenou otopnou soustavou s nuceným oběhem, otopné soustavy

s přirozeným oběhem vychlazovací smyčku nepotřebují. Pokud nebude zajištěno temperování, může teplota uvnitř chalupy i teplota teplotonosné látky v otopné soustavě klesat pod bod mrazu, je tedy potřeba použít teplotonosnou látku s nižším bodem tuhnutí. Pro teploty, které mohou v chalupách nastat, by se nabízelo použít jako teplotonosnou látku například směs vody a 40 % propylenglykolu, která má bod tuhnutí přibližně $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ta má ale vyšší viskozitu a musel by se pravidelně kontrolovat její bod tuhnutí. Proto budou v této kapitole popsány alternativy k tradičním teplovodním otopným soustavám. [63] [64]

Pro návrh vytápění objektu, který bude používán jen nárazově, je zásadním požadavkem brzké zajištění tepelné pohody ve vytápěných místnostech po příjezdu do chalupy. Zdroje tepla musí být schopny co nejrychleji předat teplo do prostoru. K vytápění se tím pádem příliš nehodí zdroje tepla s výraznou akumulací, jako jsou například několik tun vážící akumulční sálavá kamna, která začnou výrazněji sdílet teplo do prostoru až několik hodin po prvním zatopení. [31]

V krkonošských chalupách se často setkáme s různými lokálními zdroji tepla na tuhá paliva. Pravděpodobně tím nejrozšířenějším zástupcem jsou krbová kamna. Ta jsou poměrně levná a jejich instalace nevyžaduje kromě zajištění spalinové cesty a nehořlavé podložky v jejich blízkosti žádné další stavební úpravy. Na trhu nalezneme jak **krbová kamna** z ocele či litiny, tak krbová kamna kachlová.



Obr. 2-23 Litinová krbová kamna [65]



Obr. 2-24 Ocelová krbová kamna [66]

Ocelová krbová kamna jsou tou nejlevnější variantou. Jejich povrch se velmi rychle prohřeje a teplo sdílí do prostoru téměř okamžitě. Litinová kamna jsou zpravidla oproti ocelovým dražší. Litina má však velmi dobrou odolnost vůči vysoké teplotě

a kamna z ní vyrobená se vyznačují velmi dobrou životností. Litinová krbová kamna mají proti ocelovým také lepší akumulční schopnost. [67] [68] [69]

Akumulační schopnost litinových krbových kamen je však stále výrazně nižší, než u kachlových krbových kamen, které sdílejí teplo převážně sáláním ještě několik hodin po dohoření paliva. Ohřátí jejich kachlového povrchu však trvá dlouho a jsou ze všech zmíněných možností také většinou nejdražší. Na trhu nalezneme kromě krbových kamen na kusové dřevo a dřevěné brikety i krbová kamna na dřevěné pelety či uhlí. [70]



Obr. 2-25 Krbová kamna na pelety [71] Obr. 2-26 Kachlová krbová kamna [72]

Dalším lokálním zdrojem tepla na pevné palivo je **krb**. Krby s otevřeným ohništěm jsou spíše než zdrojem tepla estetickým doplňkem. Tyto krby mají velmi nízkou účinnost a také tepelný výkon. Hodí se do historických hradů a zámků, v běžných objektech se s nimi setkáme výjimečně. Jejich novější alternativou jsou krby na biolih, zde se také jedná primárně o estetickou funkci. [31] [73]

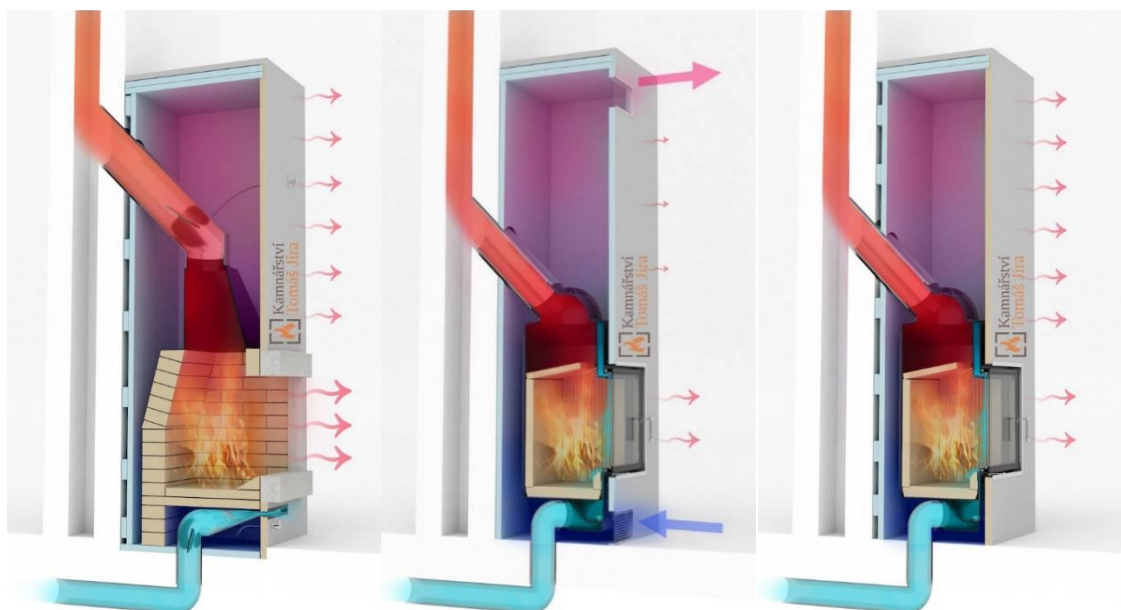
Dnes se staví téměř výhradně krby s uzavíratelným ohništěm. Tyto krby mají proti otevřeným výrazně větší účinnost spalování. Základ krbu tvoří krbová vložka, která má prosklená dvířka podobně jako u krbových kamen. Krbová vložka je většinou vyrobena jako svařenec z oceli, případně jsou její části odlity z litiny. Na dně ohniště a po vnitřních stěnách se nachází výstelka ze šamotu nebo žárobetonu. Krbové vložky se vyrábí s několika různými konfiguracemi dvířek. Kromě jednoduchých jednostranně prosklených krbových vložek nalezneme na trhu rohové, oboustranně či třístranně prosklené. Dvířka krbových vložek se mohou otevírat jako běžné dveře na pantech, nebo mohou být výsuvné. Krbové vložky mohou být připraveny pro přívod spalovacího vzduchu z venkovního prostředí pomocí externího vzduchovodu.

Mohou být taktéž vybaveny teplovodním výměníkem. Podle převládajícího způsobu sdílení tepla se krby rozdělují na teplovzdušné a sálavé. [74]



Obr. 2-27 Třístranná krbová vložka [75] Obr. 2-28 Oboustranná krbová vložka [76]

Krby teplovzdušné, někdy též označované jako konvekční, předávají většinu tepelné energie do místnosti ve formě ohřátého vzduchu, který vystupuje z konvekčních otvorů v horní části krbu. Chladný vzduch je z místnosti nasáván do krbové komory konvekčními otvory ve spodní části krbu, následně proudí v blízkosti krbové vložky, které konvekcí odebírá tepelnou energii a díky přirozenému vztlaku proudí k výstupním otvorům. Proudící vzduch musí konvekcí zajistit dostatečný odvod tepla z prostoru krbové komory, aby nedocházelo k jejímu přehřívání. Důležitá je dostatečná velikost konvekčních otvorů. Stěny, které tvoří plášť krbové komory, jsou u tohoto typu krbu označovány jako tepelně-izolační a mají malou akumulaci schopnost. [31]

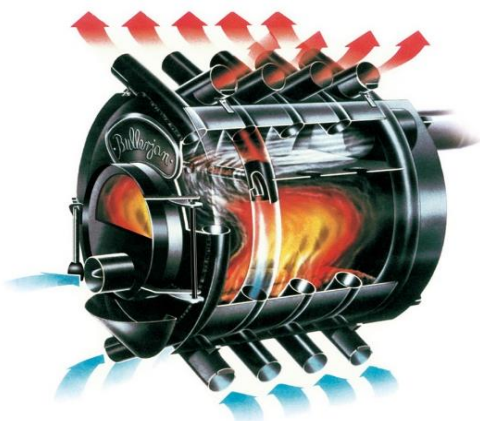


Obr. 2-29 Krby, zleva: otevřený, teplovzdušný, sálavý [31]

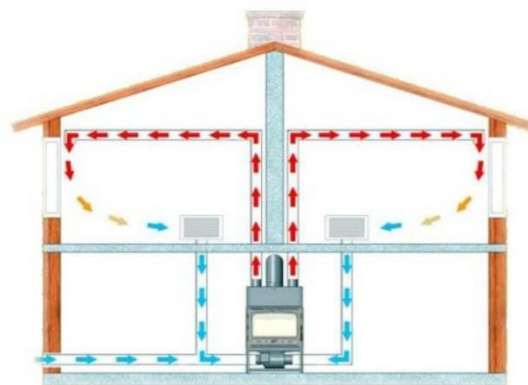
Krby sálavé nejsou na rozdíl od krbů teplovzdušných vybaveny konvekčními otvory. Rozdělení krbů na sálavé a teplovzdušné není zcela jednoznačné, protože každý teplovzdušný krb sdílí teplo sáláním skrze sklo dvířek. Naopak u sálavých krbů bude docházet ke konvekci díky rozdílné povrchové teplotě stěn pláště krbové komory a vzduchu ve vytápěném prostoru. Toto rozdělení naznačuje, který způsob přenosu tepla je dominantní. To, kolik tepla bude sdíleno sáláním přes prosklenou plochu, závisí zejména na její velikosti. Tepelný tok bude nejvýraznější u krbů s trojstranným prosklením a nejmenší u krbů s prosklením jednostranným. U těch norma uvádí, že přibližně 30 až 40 % jmenovitého výkonu je odváděno právě sálavým tepelným tokem přes prosklenou plochu. Tyto hodnoty jsou ale pouze orientační a budou se u každé krbové vložky lišit. Sálavý krb musí mít pro zajištění správné funkce dostatečně velkou plochu pláště krbové komory z tepelně vodivého materiálu. Tyto krby se často doplňují o akumulční doplňky, jako například prstence okolo kouřovodu. Sálavé krby jsou navrženy tak, aby se v nich topilo jen po omezenou dobu, aby se do akumulční hmoty a stěn pláště krbové komory uložila tepelná energie, která se po několik následujících hodin bude uvolňovat převážně sáláním do vytápěné místnosti. Na rozdíl od krbů teplovzdušných musí dojít u převážně sálavého krbu nejprve k ohřátí stěn pláště krbové komory, díky tomu po prvním zatopení tyto krby sdílí teplo do místnosti později než krby teplovzdušné. [31] [77]

V chalupách se často setkáme se **sporáky na tuhá paliva**. Sporáky můžeme podle konstrukce rozdělit na jednoduché ocelové a ty se stavěným topeništěm a tahovým systémem, které mají často kachlový obklad obr. 2-14. Byť jsou sporáky primárně určeny k přípravě pokrmů na plotně nebo v troubě, vždy budou při provozu výraznou část tepelného výkonu předávat do prostoru. Ocelové krbové sporáky jsou svými vlastnostmi podobné ocelovým krbovým kamnům. Po zatopení dojde k ohřátí sporáku poměrně rychle, oproti sporákům s tahovým systémem však budou teplo sdílet do místnosti po ukončení přikládání výrazně kratší dobu. Sporáky mohou být vybaveny podobně jako ostatní lokální zdroje tepla na tuhá paliva externím přívodem spalovacího vzduchu a teplovodním výměníkem. [78]

Teplovzdušné vytápění je způsobem vytápění, kde teplovzdušné zdroje tepla předávají tepelnou energii do vytápěného prostoru převážně proudícím teplým vzduchem, který se díky tepelným ztrátám vytápěné místnosti následně ochlazuje. Mezi tyto zdroje tepla nepatří pouze teplovzdušné krby, ale i teplovzdušné jednotky na různá paliva či teplovzdušná kamna. Teplovzdušná kamna jsou v krkonošských chalupách poměrně oblíbená, protože mají dlouhou životnost a poměrně vysokou účinnost a výkon. Na trhu nalezneme krbové vložky připravené na instalaci otevřeného teplovzdušného rozvodu, jejichž součástí je teplovzdušný výměník a ventilátor. Pro dosažení tepelné pohody je díky absenci sálavé složky potřeba při využití teplovzdušného vytápění počítat s vyšší teplotou vzduchu, což vede k vyšším tepelným ztrátám. Teplovzdušné vytápění dokáže rychle reagovat na okamžité výkonové požadavky. U nás není tento způsob vytápění příliš rozšířen, ale například ve Spojených státech amerických a v Kanadě se často díky svému pružnému charakteru používá ve dřevěných stavbách, které mají malou akumulaci schopnost. [79]



Obr. 2-30 Teplovzdušná kamna [80]

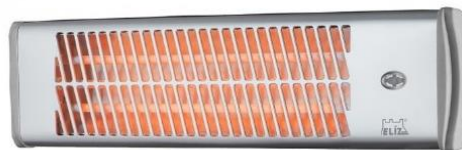


Obr. 2-31 Krbová vložka s rozvody [81]

Vzduch je kvůli nízké tepelné kapacitě a hustotě výrazně horším nosičem tepla než voda. Rozvody teplého vzduchu jsou proti teplovodním rozvodům podstatně rozměrnější. Nevýhodou teplovzdušného vytápění jsou zdravotní rizika spojená s přepalováním prachových částic na horkých površích. V místnostech, kde se lokální zdroj tepla předávající výrazný podíl tepla konvekcí provozuje, by mělo být co nejméně prachu. Pokud je použitý rozvod teplého vzduchu, měl by být jeho součástí vzduchový filtr. S teplovzdušným vytápěním je také spojeno neustálé proudění vzduchu v místnosti a nevyrovnaný vertikální teplotní profil. [73] [82]

Kromě lokálních zdrojů tepla na pevná paliva se používají i lokální **elektrické lokální zdroje tepla**. Ty lze podobně jako lokální zdroje tepla na tuhá paliva rozdělit podle toho, jakým způsobem předávají většinu tepelné energie na sálavá a konvekční.

Typickým zástupcem konvekčních lokálních zdrojů tepla jsou elektrické přímotopné konvektory. Jedná se o levný zdroj tepla, s jehož provozem jsou však spojeny všechny již popsané nevýhody teplovzdušného vytápění. Naopak typickým zástupcem lokálního elektrického zdroje tepla, předávajícího tepelnou energii sáláním, jsou sálavé zářiče. Ty se často používají pro místní ohřev například v koupelnách. Dalším zdrojem tepla v této kategorii jsou sálavé topné panely. V obytných budovách se používají panely s nižší povrchovou teplotou než pro průmyslové účely. Sálavé panely se vyrábějí s ocelovým povrchem, dražší variantou jsou ty se skleněným či keramickým povrchem. [83] [84]



Obr. 2-32 Elektrický přímotopný konvektor [85] Obr. 2-33 Sálavý elektrický zářič [86]

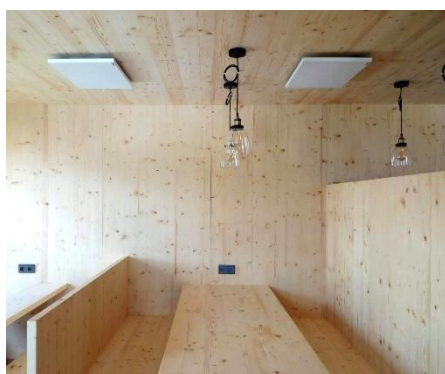
Další elektrické lokální zdroje tepla kombinují jak sálání, tak konvekci. Do této kategorie lze zařadit například trubková otopná tělesa s topnou tyčí do koupelen nebo lokální zdroje tepla s topnou spirálou a olejovou náplní. Olejová náplň zajišťuje, že tyto lokální zdroje tepla sdílejí teplo do vytápěné místnosti ještě nějakou dobu po vypnutí, na druhou stranu, stejně jako u všech akumulčních zdrojů tepla, předávají teplo po spuštění pomaleji. Dříve často používaná akumulční kamna při současné nabídce 20hodinových přímotopných tarifů a pořizovacích nákladech akumulčních kamen příliš nedávají smysl. [87] [88] [89]



Obr. 2-34 Elektrický zdroj tepla s olejovou náplní [90]

Regulovat tepelný výkon lokálních elektrických zdrojů tepla lze pomocí různých typů termostatů. Nejjednodušší variantou jsou zásuvkové termostaty, na druhé straně cenového spektra nalezneme termostaty, které lze ovládat i na dálku, takže lze zapnout elektrické lokální zdroje tepla několik hodin před příjezdem na chalupu. [91]

V horských chalupách, ale i v chatách bez ústředního vytápění, se lokální elektrické zdroje tepla často používají k vytápění podkrovních prostor. Využívají se zejména elektrické přímotopy či lokální zdroje tepla s topnou spirálou a olejovou náplní. Jak plyne z tab. 2-1, elektrické lokální zdroje tepla se používají často k vytápění horských chat, které nejsou vybaveny ústředním vytápěním. Sálavé panely se u nás zatím v horských chalupách a chatách příliš nepoužívají, v rakouských Alpách se s nimi ale již setkáme. Elektrické lokální zdroje tepla jsou z uživatelského hlediska přívětivější než lokální zdroje tepla na tuhá paliva, ovšem za cenu výrazně dražšího provozu. [35] [38] [92]



Obr. 2-35 Sálavé stropní panely, Bremer Hütte [92] Obr. 2-36 Zásuvkový termostat [93]

Pro rekreační objekty, které budou používány pravidelněji, například každý víkend, je možné přemýšlet o instalaci tepelného čerpadla, které by objekt temperovalo po dobu nepřítomnosti. Většinu moderních tepelných čerpadel lze ovládat i na dálku, takže před příjezdem je lze pustit na plný výkon. Tepelná čerpadla se hodí na temperování menších novějších rekreačních objektů. Temperovat několik století starou, rozměrnou a tepelně neizolovanou horskou chalupu může být při současných cenách elektrické energie poměrně nákladné, proto by instalace tepelného čerpadla či jiného zdroje pro temperování měla proběhnout společně se stavebními úpravami, které by zajistily snížení tepelné ztráty objektu a díky tomu i následné náklady na vytápění a pořízení tepelných čerpadel. [94]

3. TEPELNĚ-IZOLAČNÍ VLASTNOSTI SNĚHU

Během otopného období se na střechách horských objektů často vyskytuje sněhová pokrývka. Aby bylo možné zjistit vliv této pokrývky na celkové tepelné ztráty vytápěného objektu, je potřeba určit tepelnou vodivost sněhu. Tepelnou vodivost materiálu charakterizuje součinitel tepelné vodivosti.

3.1 Součinitel tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti je materiálová vlastnost tepelně vodivého prostředí. Popisuje schopnost materiálů přenášet teplo vedením. Velikost vektoru hustoty tepelného toku je při stacionárním vedení tepla úměrná teplotnímu gradientu a má opačný směr. Tuto závislost vyjadřuje Fourierův zákon, který lze pro homogenní materiál zapsat v následující podobě:

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \nabla T, \quad (1)$$

kde \vec{q} je vektor plošné hustoty tepelného toku [W/m²],

∇T – gradient teploty [K/m],

λ – součinitel tepelné vodivosti [W/m·K].

Velikost součinitele tepelné vodivosti závisí na vazbě molekul, hustotě, teplotě a zejména u plynů i na tlaku. Pro kovové materiály platí, že velikost součinitele tepelné vodivosti je úměrná jejich elektrické vodivosti. [73]

Vztah mezi součinitelem tepelné vodivosti, hustotou materiálu a jeho měrnou tepelnou kapacitou, popisuje součinitel teplotní vodivosti, který je definován následující rovnicí:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}, \quad (2)$$

kde a je součinitel teplotní vodivosti [m²/s],

λ – součinitel tepelné vodivosti [W/m·K],

ρ – hustota tepelně vodivého materiálu [kg/m³],

c_p – měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku [J/kg·K].

Velikost součinitele teplotní vodivosti charakterizuje rychlost vyrovnání teploty v látce. [95]

Specifickým problémem je vedení tepla v anizotropních materiálech. K popisu tepelné vodivosti v těchto materiálech nelze součinitel tepelné vodivosti považovat za skalár. K popisu šíření tepla v těchto materiálech, které mají různou tepelnou vodivost v jednotlivých směrech, přejde Fourierův zákon do následujícího tvaru [96]:

$$\vec{q} = -\vec{\lambda} \cdot \nabla T, \quad (3)$$

kde \vec{q} je vektor plošné hustoty tepelného toku [W/m²],

∇T – gradient teploty v prostoru [K/m],

$\vec{\lambda}$ – součinitel tepelné vodivosti jako tenzor druhého řádu [W/m·K].

3.2 Tepelná vodivost sněhu

Sněhová pokrývka snižuje tepelný tok z půdy, řek, ledovců, jezer a oceánů. Vzhledem k tomu, že značná část zemské pevniny a mořského povrchu je pokryta sněhem, má toto snížení tepelného toku ze zemského povrchu výrazný vliv na celkovou tepelnou bilanci Země. Díky tomu se tepelné vodivosti sněhu využívá v mnoha vědních disciplínách, například geofyzice, glaciologii a modelování klimatu.[97]

Sníh se skládá z ledu a vlhkého vzduchu. Popis vedení tepla ve sněhu je komplikovanější než u homogenních látek. Teplo se šíří ve sněhu vedením v ledové mřížce a vedením vzduchem v pórech. Aby bylo možné posoudit tepelnou vodivost sněhu, byl zaveden efektivní součinitel tepelné vodivosti, který v sobě kombinuje oba tyto mechanismy šíření tepla. Jelikož je sníh anizotropní materiál, k obecnému popisu vedení tepla je potřeba počítat se součinitelem tepelné vodivosti jako tenzorem druhého řádu. Omezíme-li se na popis jednorozměrného ustáleného vedení tepla vrstvou sněhu ve směru kolmém na povrch a budeme-li považovat sněhovou pokrývku ve zkoumané vrstvě za homogenní a izotropní, můžeme součinitel tepelné vodivosti považovat za skalár a Fourierův zákon pro vedení tepla sněhovou pokrývkou upravit do následující podoby [97]:

$$\vec{q} = -\lambda_{ef} \cdot \frac{dT}{dz}, \quad (4)$$

kde \vec{q} je vektor plošné hustoty tepelného toku [W/m^2],

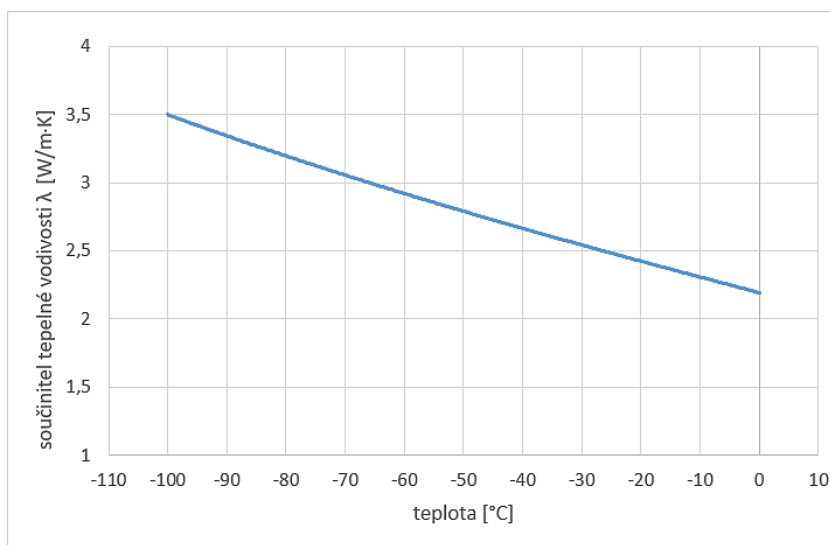
$\frac{dT}{dz}$ je jednorozměrný teplotní gradient, kde souřadnice z směřuje kolmo na povrch sněhu [K/m],

λ_{ef} je efektivní součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$].

Na šíření tepla ve sněhu má vliv i záření a proudění, které však při běžných podmínkách přenáší řádově méně tepla než zmíněné mechanismy, a proto je lze zanedbat. [97]

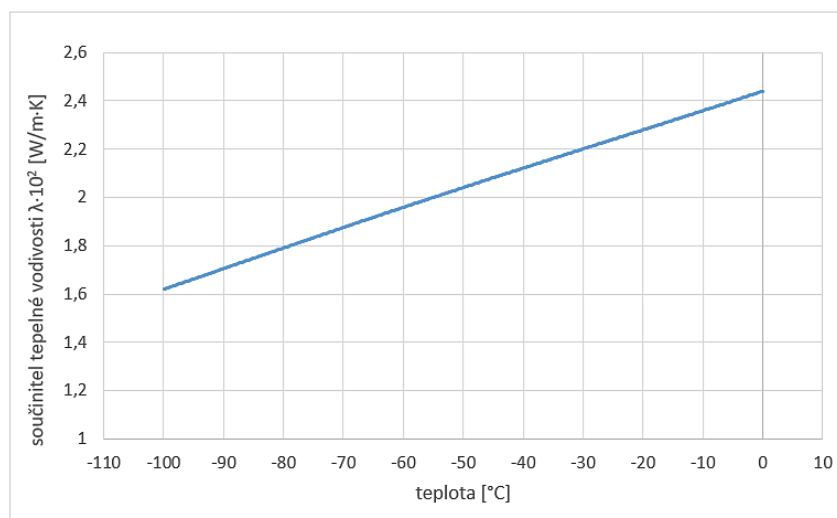
Ke stanovení velikosti efektivního součinitele tepelné vodivosti sněhu můžeme použít následující dvě metody. První metoda spočívá ve vložení sněhového bloku na topnou desku a následném měření poklesu teploty se vzdáleností od topné desky v ustáleném stavu. Součinitel se vypočítá vydělením ustálených hodnot tepelného toku a gradientu teploty. Během měření se však vlivem ohřívání mění struktura sněhu a tím i jeho tepelná vodivost. Díky tomu toto měření nelze považovat za stacionární. Je důležité, aby byly po stranách vzorek sněhu a topná deska dostatečně izolovány a zamezilo se tak nežádoucímu vedení tepla od topné desky k měřičům teploty. Přesnějších výsledků docílíme použitím nestacionárních metod měření tepelné vodivosti, konkrétně tzv. metodou horkého drátu. Měření pomocí této metody spočívá v rychlém zahřátí liniového zdroje tepla o 2 až 5 K ve vzorku sněhu a měření teploty v blízkosti zdroje tepla. Tepelnou vodivost sněhu zjistíme z odezvy zařízení měřícího teplotu. Soustava pro měření pomocí této metody je kompaktní a umožňuje měřit tepelnou vodivost sněhu i ve venkovním prostředí. [97]

Sníh se skládá z ledové mřížky a pórů vyplněných vzduchem a vodní parou. Vlastnosti sněhových zrn a vazby mezi nimi určují strukturu sněhu. Hodnota součinitele tepelné vodivosti je závislá na struktuře sněhu a jeho teplotě. S popisem struktury sněhu se lze setkat například při vyhodnocování lavinového nebezpečí. Mezinárodní klasifikace sněhu rozděluje sníh podle tvaru ledových krystalů, místa a fyzikálního procesu vzniku na více než tři desítky druhů. [98]



Obr. 3-1 Graf závislosti tepelné vodivosti ledu na teplotě [99]

Součinitel tepelné vodivosti ledové mřížky je řádově větší než součinitel tepelné vodivosti vzduchu uzavřeného v pórech. Teplotní závislost součinitele tepelné vodivosti ledu a vzduchu je znázorněna na grafech na obr. 3-1 a obr. 3-2. Závislost velikosti součinitele tepelné vodivosti sněhu na teplotě není jednoznačná, protože závisí na tom, který způsob sdílení tepla je v daném vzorku sněhu dominantní.



Obr. 3-2 Graf závislosti tepelné vodivosti vzduchu na teplotě [100]

Popsat exaktně strukturu sněhu a určit jednoznačně její vliv na tepelnou vodivost není možné. Proto jsou naměřené hodnoty tepelné vodivosti sněhu vztahovány v publikacích k jeho hustotě, kterou lze zjistit. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti sněhu jsou v publikaci „Větrání a klimatizace“ popsány v intervalech po 50 kg/m³ pro sněh o hustotě 100 až 500 kg/m³. Není uvedeno, jakou metodou, ani při jaké teplotě byla tato data naměřena. [101]

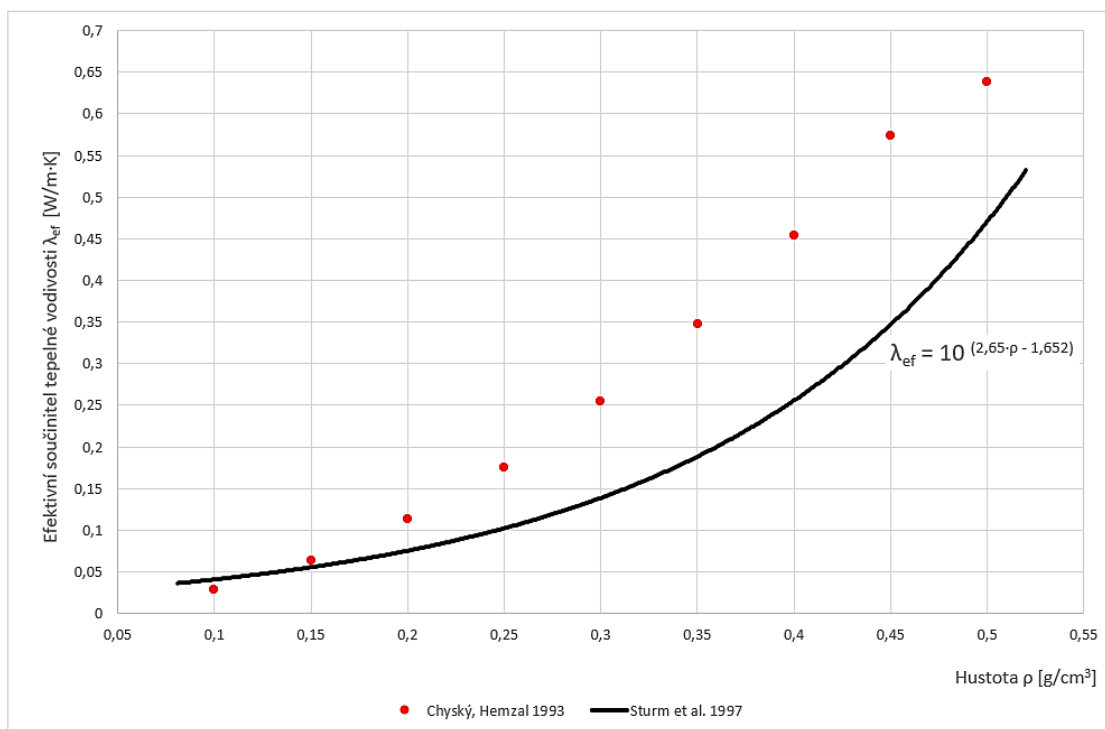
V článku „*The thermal conductivity of seasonal snow*“ [97] je popsána velikost součinitele tepelné vodivosti sněhu v závislosti na jeho hustotě exponenciální funkcí [97]:

$$\lambda_{ef} = 10^{(2,65 \cdot \rho - 1,652)}, \quad (5)$$

kde λ_{ef} je efektivní součinitel tepelné vodivosti [W/m·K],

ρ – hustota sněhu [g/cm³].

Tato funkce je výsledkem exponenciální regrese 488 hodnot naměřených metodou horkého drátu na několika druzích sněhu za různých teplot. V následujícím grafu jsou zobrazeny hodnoty efektivního součinitele tepelné vodivosti sněhu z obou publikací.



Obr. 3-3 Graf přibližné závislosti ef. souč. tepelné vodivosti sněhu na hustotě [97] [101]

Hodnoty součinitele tepelné vodivosti se pro jednotlivé hustoty z těchto zdrojů liší až o 46 %. V tab. 3-1 jsou konkrétní hodnoty pro sníh o hustotě $\rho = 0,35$ g/cm³, včetně minimální a maximální hodnoty z naměřených dat, pomocí kterých byla určena regresí exponenciální závislost (5).

Tab. 3-1 Porovnání hodnot součinitele tepelné vodivosti sněhu dané hustoty [97] [101]

Autor, popis	λ_{ef} [W/m·K] pro $\rho = 0,35 \text{ g/cm}^3$
Chyský, Hemzal	0,35
Sturm et al. – regrese	0,19
Sturm et al. – min.	0,07
Sturm et al. – max.	0,25

Pro danou hustotu je hodnota součinitele tepelné vodivosti sněhu v české publikaci vyšší než naměřené hodnoty od autorů z Aljašky. Minimální naměřená hodnota součinitele tepelné vodivosti při stejné hustotě v publikaci od těchto autorů byla zjištěna u sněhu s dutými skeletovými krystaly, který vznikl přeměnami srážkového sněhu ve sněhovém profilu. Z naměřených hodnot, které sloužily jako podklad k sestavení regresní funkce, lze vyzorovat, že některé typy sněhu, jako například sníh se zaoblenými zrny, vykazují poměrně výraznou závislost velikosti součinitele tepelné vodivosti na hustotě. Využití regresní rovnice pro přibližné stanovení součinitele tepelné vodivosti u těchto typů sněhu pravděpodobně nebude zatíženo výraznější chybou. [97]

Přesto je popis velikosti součinitele tepelné vodivosti pouze jako funkce hustoty nepřesný a hodnoty z regresních funkcí či tabulek lze považovat pouze za orientační. Určit přesněji velikost součinitele tepelné vodivosti daného vzorku sněhu při daných podmínkách lze pouze měřením.

4. PROJEKTOVÁ STUDIE

Cílem této projektové studie je navrhnout vytápění v krkonošské chalupě. Nejprve bude tato chalupa popsána ze stavebně konstrukčního hlediska. Dále bude proveden výpočet tepelných ztrát a zhodnocen vliv sněhové pokrývky na střeše na celkovou tepelnou ztrátu. Následně bude popsán současný způsob vytápění a bude navrženo jeho vylepšení.

4.1 Popis objektu a jeho využívání

Chalupa, jejíž vytápění bude v rámci projektové studie řešeno, se nachází v obci Bratrouchov nedaleko města Jablonec nad Jizerou v Libereckém kraji. Leží v nadmořské výšce 780 m n. m. na severozápadním svahu v osadě Brno. První zmínka o chalupě v katastru nemovitostí je z roku 1815, je však pravděpodobné, že zde chalupa stála již několik desetiletí dříve. V současnosti je chalupa rozdělena na dvě podobně veliké obytné části. V této práci bude řešena pouze severovýchodní část chalupy, která sloužila původně k hospodářským účelům. V přízemí této části chalupy se nacházel chlév a prostor pro skladování krmiva. Obě místnosti byly původně spojeny s obytnou, jihovýchodní částí chalupy. Později byla k chlévu přistavěna stodola. Chalupa má pro Krkonoše typickou sedlovou střechu.

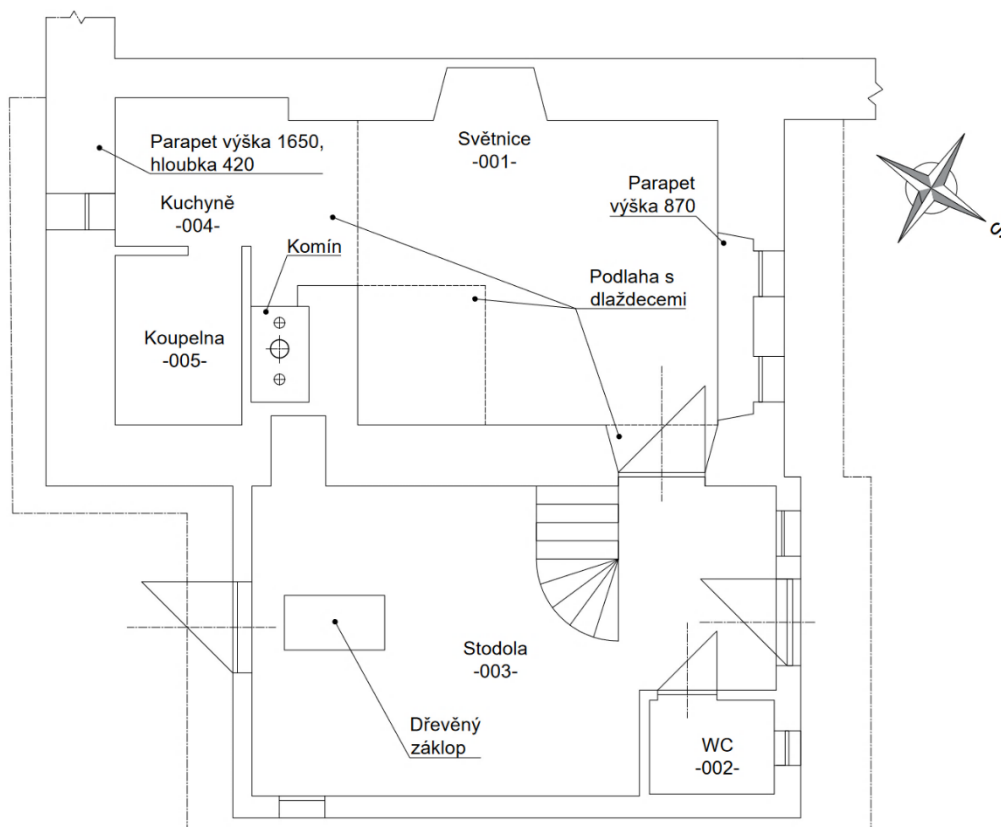


Obr. 4-1 Chalupa v Bratrouchově (foto: autor)

V blízkosti chalupy se nacházejí skalní útvary, které jsou převážně ze slídy. Tento kámen byl použit ke stavbě kamenných zdí v přízemí. Při přestavbě byla vybourána původní stěna mezi chlévem a prostorem, kde se skladovalo krmivo. Naopak byla

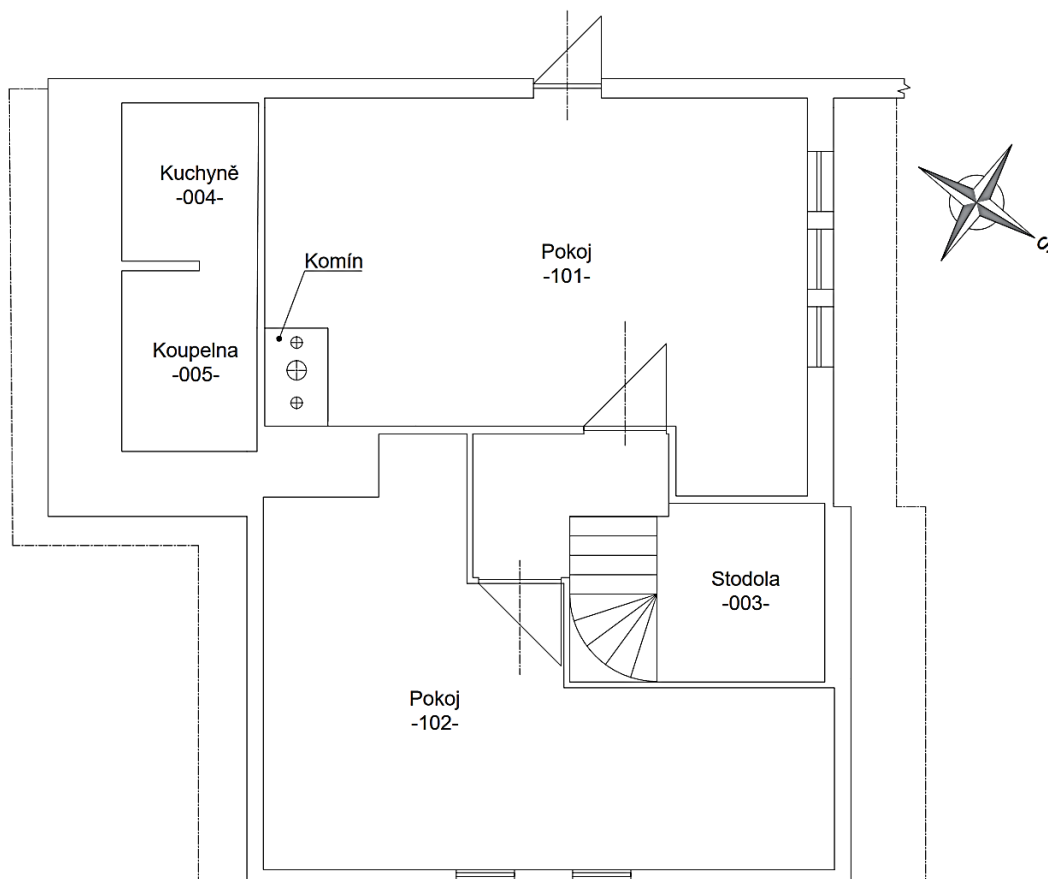
oddělena původní obytná a hospodářská část chalupy. Na místě, kde byl původně chlév, je nyní postavena světnice. Z původního skladovacího prostoru se stala kuchyně a koupelna. Zároveň byla postavena nová střecha, která má nad koupelnou a kuchyní menší sklon. Do stodoly byla přistavěna toaleta. Dále byl vystavěn dřevník, který slouží k uskladnění palivového dřeva. V podkroví, které je přístupné po schodech ze stodoly, se nacházejí dva pokoje. V podkrovním pokoji nad světnicí byl postaven pultový vikýř. Nad podkrovními pokoji je půda, která slouží pouze jako sklad a je přístupná po výsuvných schodech.

Pod dřevěným záklopem ve stodole se nachází sklípek. Zde je domácí vodárna, která čerpá vodu ze studny u chalupy. K přípravě teplé vody slouží elektrický ohřivač Dražice OKCE 50, který je umístěn vedle vodárny. Ve stodole se nacházejí teplovzdušná kamna. Nad těmito kamny je šachta, kterou proudí ohřátý vzduch do podkrovních pokojů.



Obr. 4-2 Půdorys, přízemí

V průběhu otopného období je chalupa obývána zejména během jarních a podzimních prázdnin, také v průběhu vánočních svátků a na Nový rok. V blízkosti chalupy se nacházejí lyžařské areály, a tak je chalupa občas využívána jen nárazově k přespání během dnů pracovního klidu. V minulých letech byla chalupa v průběhu otopného období obývána každoročně přibližně 50 dnů.



Obr. 4-3 Půdorys, podkroví

4.2 Výpočet tepelných ztrát

Následující podkapitola slouží jako doplňující komentář k provedenému výpočtu tepelné ztráty objektu řešeného v rámci projektové studie, který je dostupný v příloze. K výpočtu tepelných ztrát byla použita po konzultaci s vedoucím této práce dnes již neplatná norma ČSN 06 0210. Jelikož se jedná o několik století starý objekt, výpočet podle současně platné evropské normy, sloužící primárně k výpočtu tepelných ztrát výrazně méně energeticky náročných budov, kde se například neposuzuje individuálně přirozené větrání spárami venkovních oken a dveří, by byl pravděpodobně méně přesný. V první podkapitole byly popsány podklady pro

výpočet tepelné ztráty. Další části se věnují výpočtu tepelné ztráty prostupem tepla konstrukcemi a výpočtu tepelné ztráty větráním. [36] [102]

4.2.1 Podklady pro výpočet tepelné ztráty

Chalupa byla pro účely výpočtu tepelných ztrát rozdělena do pěti místností. První místností je světnice společně s kuchyní a koupelnou. Druhou místností je toaleta, třetí stodola společně se schody do podkroví a zbylé dvě místnosti představují podkrovní pokoje.

Venkovní výpočtová teplota v lokalitě, ve které se objekt nachází, je stanovena normou na -18 °C . Vnitřní výpočtová teplota byla pro světnici stanovena na 24 °C , jak kvůli kompenzaci vlivu těžkých kamenných stěn, tak kvůli tomu, že součástí světnice je i koupelna. Výpočtová teplota v podkrovních pokojích byla stanovena na 20 °C . Stodola je s podkrovními pokoji spojena šachtou, tudíž výpočtová teplota v ní musí být stejná. Poslední místností objektu je toaleta, kde byla stanovena výpočtová teplota také na 20 °C .

Na celkovou tepelnou ztrátu prostupem mají vliv celkem tři přírážky. **Přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn** byla vypočtena pro každou místnost zvlášť. Norma uvádí, že pokud není vytápění kontinuální, má být hodnota **přírážky na urychlení zátoku** $p_2 = 0,1$ přičemž jiné hodnoty nejsou uvedeny. S ohledem na to, že chalupa je rekreační objekt, který se při venkovních teplotách, které by se blížily venkovní výpočtové teplotě, nebude využívat, samotné zohlednění nízké výpočtové teploty poskytne při návrhu vytápění jistou rezervu v požadovaném tepelném výkonu. Poslední přírážkou je **přírážka na světovou stranu**. O její výši rozhoduje poloha nejvíce ochlazované stavební konstrukce, u rohových místností pak poloha společného rohu. U místností se třemi nebo čtyřmi ochlazovanými konstrukcemi se počítá s největší přírážkou. Ochlazované stavební konstrukce toalety mají společný roh orientovaný na sever. Přírážka na světovou stranu u stodoly a pokoje 2 byla zvolena také podle orientace na sever.

Při stanovování teplot bylo počítáno s tím, že druhá část chalupy nebude vytápěná. Pro stanovení teplot v těchto prostorech byly využity hodnoty teploty v sousedních nevytápěných místnostech.

Tab. 4-1 Teploty v sousedních nevytápěných místnostech [36]

Nevytápěná místnost	Druh nevytápěné místnosti	Teplota v sousední nevytápěné místnosti t_{ie} [°C]
Sklepní prostory	Sklep částečně nad terénem nevětraný	0
Sousední část chalupy, přízemí	Místnost sousedící zčásti s vytápěnými místnostmi a zčásti s venkovním prostředím s venkovními dveřmi	0
Sousední část chalupy, podkroví	Místnost sousedící zčásti s vytápěnými místnostmi a zčásti s venkovním prostředím bez venkovních dveří	3
Půda	Podstřešní prostory s těsnou krytinou bez tepelné izolace	-9

4.2.2 Tepelná ztráta prostupem tepla

Pro určení tepelné ztráty prostupem tepla byly určeny materiály jednotlivých stavebních konstrukcí a také jejich rozměry.

Při přestavbě chalupy ze zemědělského na rekreační zařízení byly použity ke stavbě příčky oddělující světnici od druhé části chalupy plné cihly. Ty byly použity i ke zvýšení stěny přiléhající ke svahu, na kterou byla následně postavena nová střecha s nižším sklonem, aby se zvýšila světlá výška stropu v kuchyni a koupelně.

Stěny okolo stodoly jsou roubené. Příčky oddělující toaletu od stodoly jsou z heraklitu, stejně jako některé příčky v podkroví. Ostatní příčky v podkroví jsou z jednoduchých dřevěných desek, mezi kterými je minerální vata nebo pěnový polystyren.

Okolo světnice jsou kamenné stěny ze slídy s perlitovou omítkou, která vylepšuje jejich tepelně-izolační vlastnosti. Slída má v porovnání s ostatními nerosty poměrně nízkou tepelnou vodivost. To však platí pouze ve směru kolmém na tenké vrstvy, ze kterých se skládá, ve směru rovnoběžném je tepelná vodivost výrazně vyšší. Při výpočtu byla využita právě tato vyšší hodnota tepelné vodivosti, protože většina kamenů, ze kterých se zeď skládá, má vrstvy orientované ve směru rovnoběžném se směrem tepelného toku. Dalším anizotropním materiálem, ze kterého byly postaveny stěny, je dřevo. V roubené stěně je dřevo orientováno tak, že tepelný tok jde kolmo k dřevěným vláknům, což je z tepelně-izolačního hlediska tou příznivější variantou. [103] [104] [105]

Střecha je izolována vrstvou minerální vaty. Akumulační schopnost stavebních konstrukcí v podkroví je v porovnání s těžkými stavebními konstrukcemi v přízemí výrazně nižší.

Podlahy ve stodole a světnici jsou dřevěné s rozměrnou vzduchovou mezerou, která slouží jako izolace podlah od okolního terénu. Teplota vzduchu v těchto prostorných mezerách byla stanovena stejně jako u sklepních prostorů. Pod krbovými kamny, v kuchyni a koupelně je dlažba na betonovém podkladu. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů a součinitele přestupu tepla byly použity z normy ČSN 73 0540-3. [106]

Součinitel prostupu tepla u podlahy s dlaždicemi byl určen podle následujícího vzorce [105]:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i} + R_z}, \quad (6)$$

kde α_i je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$],

U – součinitel prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$],

s_i – tloušťka dané stavební konstrukce [m],

λ_i – součinitel tepelné vodivosti dané stavební konstrukce [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$],

R_z – tepelný odpor přilehlé zeminy [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$].

Tepelný odpor přilehlé zeminy byl určen podle normy ČSN 73 0540-4. Pro ostatní stavební konstrukce byl použit běžný vzorec pro výpočet součinitele prostupu tepla. Teplota zeminy byla určena jako teplota přilehlé zeminy pod podlahou. [105]

V chalupě jsou dřevěná, zdvojená okna se dvěma skly. Výjimkou je jednoduché okno ve stodole s jedním sklem. Vnitřní i venkovní dveře jsou bez skleněné výplně.

Vedle stodoly se nachází dřevník, který byl ale při výpočtu tepelné ztráty zanedbán. Dřevník je postaven tak, aby jím mohl proudit vzduch, tudíž se jeho přítomností bude hodnota součinitele přestupu tepla na venkovní straně lišit zanedbatelně.

Jelikož má většina konstrukcí v podkroví jiný než pravidelný obdélníkový tvar, byla pro tyto konstrukce zavedena jednotková délka a jí odpovídající ekvivalentní výška

tak, aby plocha náhradního obdélníku byla rovna skutečné ploše stavební konstrukce.

4.2.3 Tepelná ztráta větráním

Pro výpočet tepelné ztráty větráním je důležité určit objemový průtok přiváděného venkovního vzduchu, který musí vycházet z hygienických a technologických požadavků. Pokud je hodnota objemového průtoku přiváděného vzduchu infiltrací nižší, než je hygienický a technologický požadavek, je nutno zajistit dostatečný objemový průtok čerstvého vzduchu jiným způsobem.

Při výpočtu tepelné ztráty větráním byl pro každou místnost vypočten objemový průtok venkovního vzduchu, který je přiváděn infiltrací spárami oken a venkovních dveří. Pro jeho určení je důležitá hodnota charakteristického čísla budovy a charakteristického čísla místnosti. **Charakteristické číslo budovy** závisí na rychlosti větru. Chalupa je z pohledu výpočtu tepelných ztrát osaměle stojící nechráněnou budovou v krajině s intenzivními větry. Převládá zde kvůli orientaci svahu a zalesnění vítr ze severní světové strany. [36]

Charakteristické číslo místnosti závisí na poměru mezi průvzdušností oken a vnitřních dveří. Zvláštní hodnotu charakteristického čísla místnosti mají u chalupy místnosti s okny a dveřmi jak na návětrné, tak na závětrné straně. V případě chalupy se jedná o stodolu a světnici. Součinitel spárové průvzdušnosti byl určen pro okna a dveře podle ČSN 73 0540-3. [106]

Po vypočtení objemového průtoku větracího vzduchu přiváděného do místností infiltrací byl stanoven i objemový průtok větracího vzduchu s ohledem na hygienické a technologické požadavky. Hygienickým požadavkem je zde míněno zajištění trvalého přívodu venkovního vzduchu v obytných prostorech. Technologickým požadavkem je u řešeného objektu přívod spalovacího vzduchu k lokálním zdrojům tepla na pevná paliva. Je doporučeno na každou kilowattu tepelného výkonu zdroje tepla spalujícího pevné palivo zajistit přivedení čtyř kubických metrů venkovního vzduchu každou hodinu. Pro světnici a stodolu byla vypočtena podle tepelného výkonu lokálních zdrojů tepla potřebná intenzita větrání daná tímto technologickým požadavkem. U světnice k ní byla následně připočtena i intenzita větrání spojená s požadavkem hygienickým, zatímco stodola

nebyla považována za obytný prostor, proto pro ni nebyl hygienický požadavek stanoven. Jelikož byl jeden z lokálních zdrojů tepla ve světnici v rámci projektové studie nahrazen lokálním zdrojem tepla o jiném tepelném výkonu, byl technologický požadavek na přivádění venkovního vzduchu vypočten u světnice pro obě varianty. [107]

Po stanovení objemového průtoku větracího vzduchu přiváděného infiltrací a objemového průtoku větracího vzduchu daném hygienicko-technologickými požadavky byla vybrána větší hodnota, se kterou byla následně stanovena celková tepelná ztráta místnosti větráním.

Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděného do světnice infiltrací je podle výpočtu nedostatečný. Vypočtené hodnoty se shodují se skutečností. Kvůli nedostatečnému objemovému průtoku vzduchu infiltrací spárami oken lze do světnice přivádět vzduch ještě pomocí jednoduchého větracího otvoru v severozápadní zdi, který je zakončen uzavíratelnou větrací mřížkou. V ostatních místnostech je objemový průtok větracího vzduchu přiváděného infiltrací dostatečný.



Obr. 4-4 Větrací mřížka ve světnici (foto: autor)

4.2.4 Celková tepelná ztráta objektu

Celková tepelná ztráta objektu byla stanovena jako součet tepelné ztráty prostupem tepla konstrukcemi a tepelné ztráty větráním. Od tohoto součtu byly odečteny trvalé tepelné zisky, které jsou ale v tomto objektu ve všech místnostech nulové. Norma uvádí, že tepelný zisk od komína se zanedbává. [36]

Výpočet tepelné ztráty u takto staré budovy s výraznými tepelnými mosty lze považovat pouze za přibližný. Proto byly celkové tepelné ztráty místností zaokrouhleny na stovky wattů.

Tab. 4-2 Celková tepelná ztráta objektu.

Místnost	Tepelná ztráta prostupem [W]	Tepelná ztráta větráním [W]	Celková tepelná ztráta [W]
Světnice	4030	1190	5200
WC	280	100	400
Stodola	2470	960	3400
Pokoj 1	1550	220	1800
Pokoj 2	1760	280	2000
Celkem	–	–	12800

4.3 Vliv sněhové pokrývky na střeše na tepelné ztráty objektu

Střechy horských chalup byly stavěny tak, aby po nich sníh sklouzával dolů. V podkroví, které nebylo obývané, se přes zimu nacházely zásoby sena, které poskytovaly dobrou tepelnou izolaci, takže samotná střecha nemusela být tepelně izolována. Přestavěná střecha nad kuchyní a koupelnou a také střecha, která je součástí vikýře v podkrovním pokoji, mají menší sklon než původní střechy. Sněhová pokrývka se na nich může držet i ve výšce několika desítek centimetrů.



Obr. 4-5 Sněhová pokrývka na střeše chalupy (foto: Jiří Pitter)

Pro účely posouzení vlivu sněhové pokrývky na celkové tepelné ztráty objektu byly vytvořeny dvě modelové situace. První, nazvaná „Sníh 1“, odpovídající nižší sněhové pokrývce při teplotách okolo bodu mrazu, a druhá, odpovídající sněhové kalamitě nazvaná „Sníh 2“.

Norma ČSN EN 1991-1-3 rozděluje z hlediska zatížení střech sních do čtyř kategorií. Jednotlivým druhům sněhu přiřazuje odpovídající hustoty sněhu dle tab. 4-3. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti byly dopočteny pro odpovídající hustoty sněhu podle vztahu (5). [108]

Tab. 4-3 Hustoty sněhu a jim odpovídající součinitele tepelné vodivosti [97] [108]

Druh sněhu	Hustota [kg/m ³]	Součinitel tepelné vodivosti [W/m·K]
Čerstvý	100	0,04
Ulehlý (několik hodin nebo dnů po napadnutí)	200	0,08
Starý (několik týdnů nebo měsíců po napadnutí)	300	0,14
Mokrý	400	0,26

Sněhový profil byl pro obě modelové situace rozdělen na vrstvy o dané hustotě. Druhá modelová situace odpovídá nejvyšším zaznamenaným sněhovým pokrývkám v posledních letech. Hodnoty součinitele prostupu tepla pro střechu bez sněhové pokrývky a pro obě modelové situace jsou společně s tloušťkou jednotlivých vrstev a součinitelem tepelné vodivosti uvedeny v tab. 4-4.

Tab. 4-4 Součinitel prostupu tepla střechou bez a se sněhovou pokrývkou

Název stavební konstrukce	Skladba	Tloušťka [m]	Součinitel tepelné vodivosti [W/m·K]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² ·K]
Střecha	Dřevovláknitá deska	0,01	0,09	1,20
	Minerální vata	0,03	0,07	
	Obkladové palubky	0,02	0,18	
	Asfaltový pás	0,003	0,21	
Střecha - sníh 1	Dřevovláknitá deska	0,01	0,09	0,72
	Minerální vata	0,03	0,07	
	Obkladové palubky	0,02	0,18	
	Asfaltový pás	0,003	0,21	
	Mokrý sníh 400 kg/m ³	0,05	0,26	
	Starý sníh 300 kg/m ³	0,05	0,14	
Střecha - sníh 2	Dřevovláknitá deska	0,01	0,09	0,16
	Minerální vata	0,03	0,07	
	Obkladové palubky	0,02	0,18	
	Asfaltový pás	0,003	0,21	
	Starý sníh 300 kg/m ³	0,15	0,14	
	Ulehlý sníh 200 kg/m ³	0,15	0,08	
	Čerstvý sníh 100 kg/m ³	0,1	0,04	

Hodnota součinitele prostupu tepla pro první modelovou situaci je o 40 % nižší oproti střeše bez sněhové pokrývky, pro druhou pak o 87 %. V tab. 4-5 jsou uvedeny hodnoty vypočtených celkových tepelných ztrát v závislosti na sněhové pokrývce pro jednotlivé místnosti a celou chalupu.

Tab. 4-5 Tepelná ztráta objektu v závislosti na sněhové pokrývce na střešní krytině

Místnost	\dot{Q}_c [W]	$\dot{Q}_{c,s1}$ [W]	$\dot{Q}_{c,s2}$ [W]
Světnice	5200	4900	4500
WC	400	400	400
Stodola	3400	3300	3200
Pokoj 1	1800	1500	1100
Pokoj 2	2000	1600	1200
Celkem	12800	11700	10400
Rozdíl [%]	–	9	19

V prvním sloupci jsou vypočtené tepelné ztráty objektu bez sněhové pokrývky, ve druhém a třetím pak vypočtené tepelné ztráty objektu se sněhovou pokrývkou pro obě modelové situace. V posledním řádku tabulky je uveden rozdíl v celkových tepelných ztrátách chalupy mezi modelovými situacemi a výchozím stavem, tedy střechou bez sněhové pokrývky. Výrazný rozdíl je v tepelných ztrátách podkrovních pokojů. U staveb, jejichž střešní konstrukce odpovídají současným požadovaným hodnotám součinitele prostupu tepla, by byl vliv sněhové pokrývky nižší. U takto starého objektu s minimální tepelnou izolací má sněhová pokrývka na střeše zejména v podkroví nezanedbatelný vliv.

4.4 Dosavadní způsob vytápění a jeho nedostatky

Ve světnici se nachází krbová kamna na tuhá paliva Bodart & Gonay Beskydy 4. V kuchyni je sporák na tuhá paliva Kovoplast Rekreant a ve stodole nalezneme teplovzdušná kamna Bullerjan typ 01. Tato kamna ohřívají vzduch, který proudí šachtou do podkrovních pokojů. Na toaletě je nainstalován sálavý elektrický zářič.

Tab. 4-6 Parametry současných zdrojů tepla na tuhá paliva [109] [110] [111]

Parametr	Výrobce a typ		
	Bodart & Gonay Beskydy 4	Kovoplast REKREANT 2-91	Bullerjan typ 01
Jmenovitý výkon [kW]	10	5,8	10
Účinnost [%]	62	67	80
Teplota spalin za hrdlem pro odvod spalin [°C]	360	280	242
Hmotnost [kg]	89	93	107
Průměr kouřovodu [mm]	130	120	120

Ocelová krbová kamna Bodart & Gonay Beskydy 4 umožňují spalování palivového dřeva, hnědouhelných briket a kusového hnědého uhlí. Tato krbová kamna jsou vybavena kapilárním termostatem. Na ovladači termostatu lze přibližně nastavit požadovaný výkon kamen. Na základě povrchové teploty kamen a poloze ovladače výkonu řídí termostat polohu klapky pro přívod spalovacího vzduchu, a tím i okamžitý výkon kamen. Tato krbová kamna mají ze všech současně používaných zdrojů tepla za jmenovitých podmínek nejvyšší teplotu spalin a díky tomu i nejnižší účinnost. [109]

Během otopného období se k přípravě pokrmů používá sporák na pevná paliva Rekreat 2. Tento sporák neslouží pouze k přípravě pokrmů, ale i k vytápění, zejména pak ke zvýšení zátopového výkonu po příjezdu do chalupy. [110]



Obr. 4-6 Současné zdroje tepla na pevná paliva, zleva: teplovzdušná kamna Bullerjan typ 01, krbová kamna Bodart & Gonay Beskydy 4, sporák Kovoplast REKREANT 2-91 (foto: autor)

Teplovzdušná kamna Bullerjan dokážou zajistit tepelnou pohodu v podkrovních pokojích poměrně rychle po prvním zatopení a obvykle jsou v provozu jen po omezenou dobu. S jejich provozem jsou však spojeny všechny nedostatky

teplovzdušného vytápění popsané v podkapitole 2.3.2. Lehké, převážně dřevěné konstrukce v podkroví nejsou schopné akumulovat teplo. Pokud se v teplovzdušných kamnech netopí, výsledná teplota ve stodole a v podkrovních pokojích díky tepelným ztrátám poměrně rychle klesá.

Tab. 4-7 Jmenovitý výkon zdrojů tepla a vypočtené tepelné ztráty místností

Vytápěný prostor	Lokální zdroj tepla	Jmenovitý výkon [W]	Vypočtená tepelná ztráta místností [W]
Světnice	Bodart & Gonay Beskydy 4	10000	5200
	Kovoplast REKREANT 2-91	5800	
Stodola, podkrovní pokoje	Bullerjan typ 01	10000	7200
WC	Sálavý elektrický zářič ETA	600	400

Jak plyne z dat uvedených v tab. 4-7 a ze zkušeností s vytápěním chalupy, krbová kamna Beskydy 4 mají z hlediska dlouhodobého provozu i přes možnost regulace pomocí termostatu příliš vysoký jmenovitý výkon. Pokud je zdroj tepla na pevné palivo provozován na nižší výkon, než je ten jmenovitý, klesá účinnost spalování a zvyšuje se tvorba dehtu. Naopak při provozu na vyšší výkon, než je jmenovitý, nedokáže zdroj tepla předat všechnu energii ze spalování do vytápěného prostoru a roste komínová ztráta. [112]

Pokud je v provozu s krbovými kamny i kuchyňský sporák, dochází ve světnici k přetápění. To lze vyřešit otevřením dveří do stodoly, kde je teplota, pokud se netopí v teplovzdušných kamnech, výrazně nižší. Tím se sice část tepelné zátěže odvede, ale studený vzduch ze stodoly vytvoří ve světnici výrazně nevyrovnaný vertikální teplotní profil a v oblasti nohou nekomfortní oblast.

Spaliny jsou od lokálních zdrojů tepla na pevná paliva odváděny třemi samostatnými komínovými průduchy, které jsou umístěny ve společné komínové hlavě.

Chalupa se nachází na odlehlém místě, tudíž zde není možné zajistit plynovou přípojku. S ohledem na orientaci a vysoké stromy v blízkosti chalupy je použití solárních panelů na střeše objektu nerealizovatelné.

Z uživatelského hlediska by bylo vhodné omezit počet míst, na kterých je nutné pravidelně přikládat palivo. Dále také snížit celkový výkon zdrojů tepla umístěných ve světnici a zajistit kontinuálnější vytápění ve stodole a podkrovních pokojích. V podkrovních pokojích by bylo vhodné z hlediska tepelné pohody ve vytápěném

prostoru doplnit i sálavou složku vytápění. S ohledem na dostupnost a cenu palivového dřeva v porovnání s jinými typy paliv, není důvod, aby navržený zdroj používal jiné palivo než kusové dřevo.

4.5 Návrh krbu s teplovzdušnými rozvody

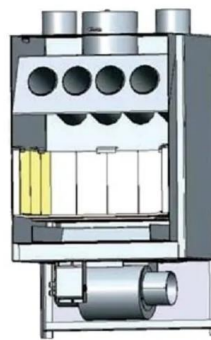
Vypočtené hodnoty tepelných ztrát byly využity při návrhu nového způsobu vytápění a pro rozdělení požadavků na dodávku tepla mezi jednotlivé místnosti. V rámci projektové studie došlo k nahrazení krbových kamen Beskydy 4 teplovzdušným krbem s rozvody vzduchu. Teplovzdušná kamna ve stodole, sporák v kuchyni a elektrický sálavý zářič na WC zůstaly zachovány. Provedené výpočty jsou v dostupné v příloze.

4.5.1 Krb a krbová vložka

Krbová vložka byla vybrána s ohledem na vypočtené hodnoty tepelných ztrát. Ohled byl brán i na parametry současných zdrojů tepla a zkušenosti s jejich používáním. Krbová vložka Prity CF je vybavena teplovzdušným výměníkem. Je vyrobena z ocelového plechu, dvířka jsou litinová. Její součástí je radiální ventilátor, který zajišťuje proudění vzduchu skrze teplovzdušný výměník a pokrývá tlakové ztráty v potrubní síti. Přívod spalovacího vzduchu je řízen jednoduchým posuvným mechanismem.



Obr 4-7 Krbová vložka Prity CF [81]



Obr. 4-8 Řez krbovou vložkou Prity CF [81]

Na trhu je krbových vložek s teplovzdušným výměníkem a možností napojení rozvodů teplého vzduchu velmi omezené množství, pro účely této práce byla zvolena krbová vložka, která nejlépe odpovídá požadovaným parametrům a bylo u ní možné v technické dokumentaci zjistit všechny požadované parametry.

Tab. 4-8 Parametry krbové vložky Prity CF [107]

Jmenovitý výkon teplovzdušného výměníku [kW]	10
Jmenovitý výkon do prostoru [kW]	8
Účinnost [%]	81
Teplota spalin za hrdlem pro odvod spalin [°C]	234
Hmotnost [kg]	150
Vnitřní průměr přírub pro napojení potrubí [mm]	125
Průměr kouřovodu [mm]	200

Dříve než se začala v chalupě používat krbová kamna Bodart & Gonay Beskydy 4, stál na jejich místě otevřený krb. Na ten byla dimenzována i spalinová cesta. Průměr kouřovodu je stejný, jako u navržené krbové vložky. Díky tomu by měla spalinová cesta vyhovovat i nově navržené krbové vložce. Pokud by byl přirozený tah komína nedostatečný, je možné komín vybavit spalinovým ventilátorem. Tato krbová vložka není vybavena externím přívodem vzduchu, spalovací vzduch je přiváděn přímo z místnosti, ve které je krb umístěn. Vzduch je k radiálnímu ventilátoru přiváděn pomocí dvou vzduchovodů. Vzduch musí být těmito vzduchovody přiváděn z jiné místnosti, než ve které se nachází krb. Pokud by tomu tak nebylo, ventilátor by vytvářel v místnosti podtlak, čímž by snižoval přirozený tah komína. Vedle příruby pro napojení kouřovodu se nacházejí dvě příruby, které slouží k napojení vzduchovodů, do kterých bude proudit horký vzduch ohřátý v teplovzdušném výměníku. [107]

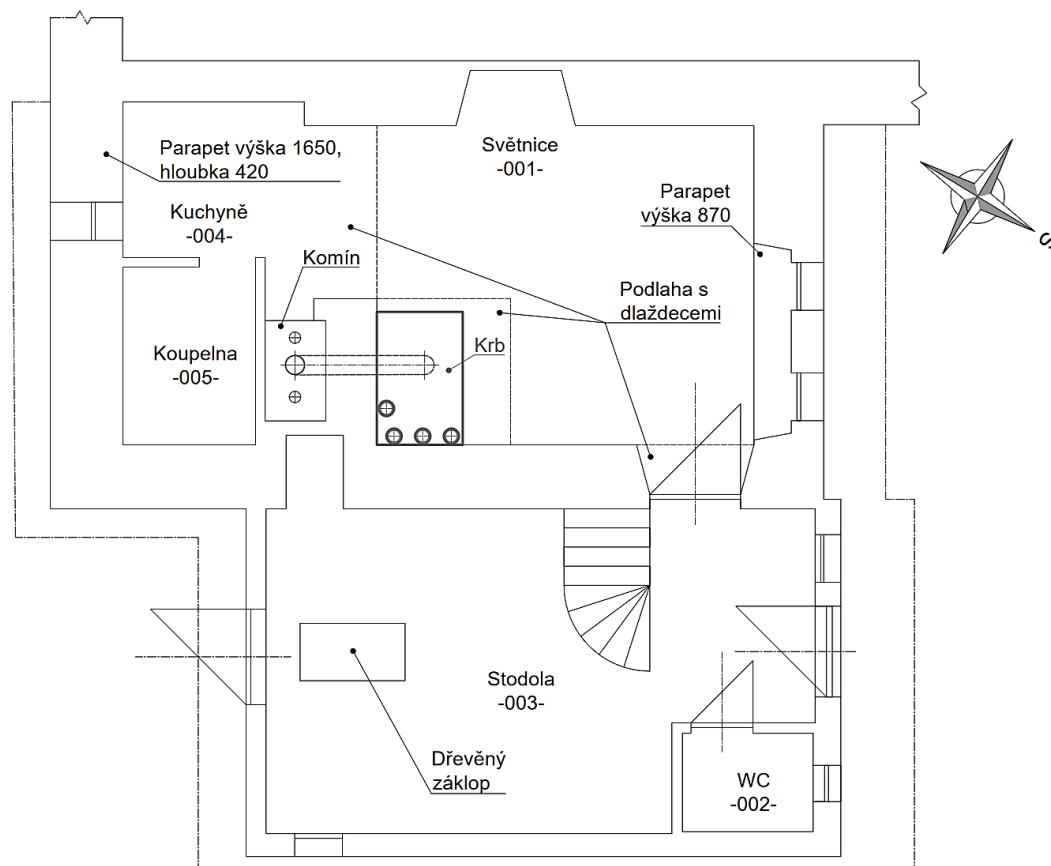
Samotný krb byl navržen jako teplovzdušný. Okolo krbové vložky bude krbovou komorou rozměrnými konvekčními otvory proudit díky přirozenému vzlaku vzduch, který bude odebírat konvekcí teplo vnějšímu plášti krbové vložky. Vstupní konvekční otvor bude umístěn u země, výstupní bude umístěn těsně pod izolační komorou. Plášť krbové komory byl navržen z lehkých desek, které jsou určeny přímo pro stavbu teplovzdušných krbů a mají malou akumulaci schopnost. [112]

Všechny vizualizace byly vytvořeny autorem v programu Autodesk Inventor.



Obr. 4-9 Teplovzdušný krb s konvekčními otvory v místnosti

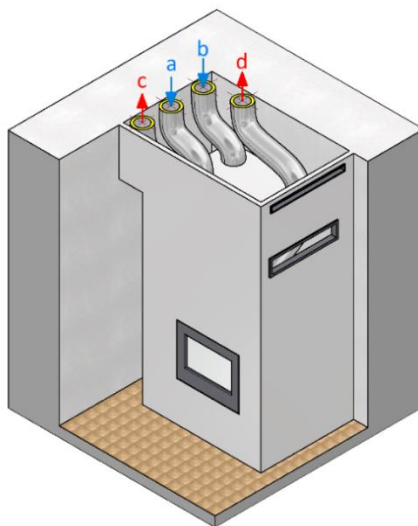
Norma ČSN 73 4230 stanoví, že krb musí být postaven tak, aby povrchová teplota přilehlých stavebních konstrukcí nepřesáhla 85 °C. Dále je zde stanoveno, že horní hrana konvekčního otvoru, ze kterého bude proudit ohřátý vzduch, by měla být nejméně 500 mm pod stropem. [77]



Obr. 4-10 Půdorys vytápění, přízemí

4.5.2 Návrh teplovzdušných rozvodů

Přívod vzduchu k ventilátoru krbové vložky byl navrhnout pomocí dvou ohebných vzduchovodů. Toto potrubí s hliníkovými stěnami je izolováno 25 mm vrstvou minerální vaty. Sání bude umístěno na půdě. Odvod ohřátého vzduchu z teplovzdušného výměníku krbové vložky byl navržen také pomocí izolovaného potrubí.

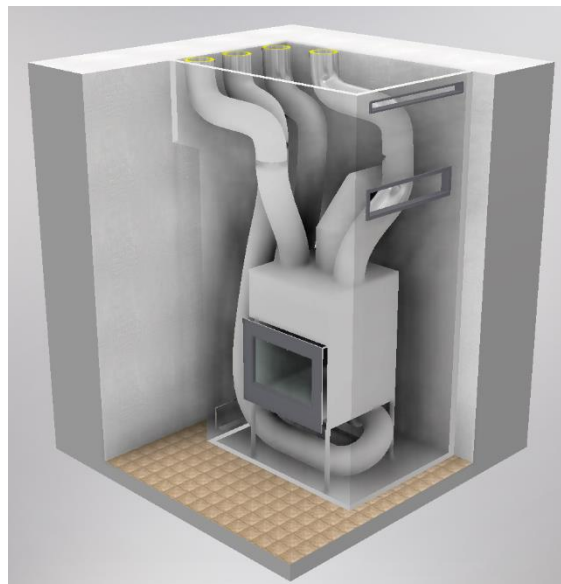


Obr. 4-11 Krb a rozvody vzduchu

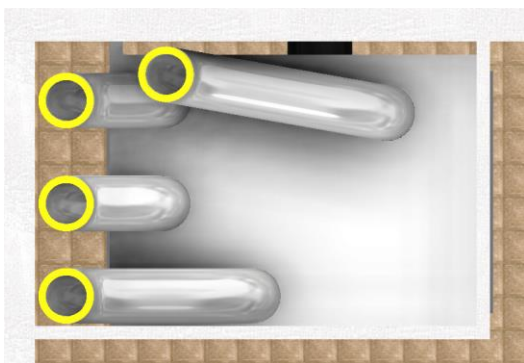
Legenda: a) přívodní potrubí, b) přívodní potrubí, c) potrubí s ohřátým vzduchem – pokoj 2, d) potrubí s ohřátým vzduchem – pokoj 1



Obr. 4-12 Krb bez čelní stěny



Obr. 4-13 Krb s průhlednými stěnami

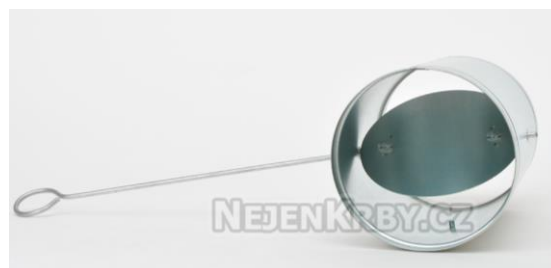


Obr. 4-14 Pohled na krb shora



Obr. 4-15 Detail napojení vzduchovodů

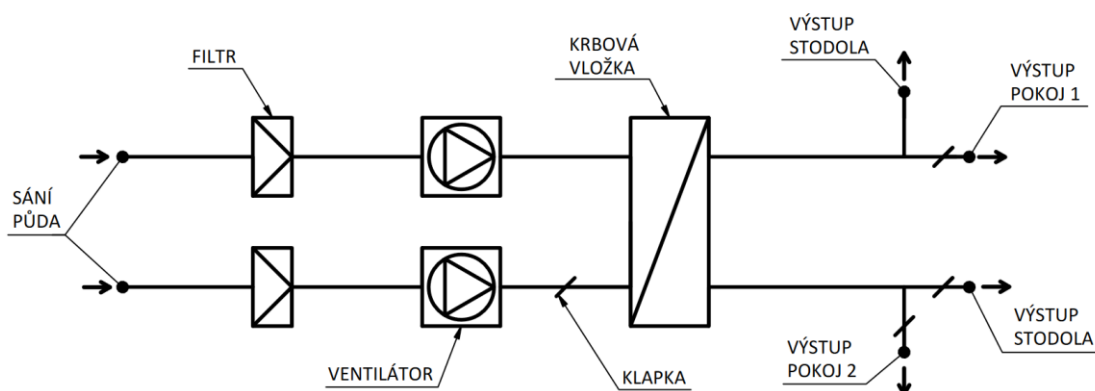
S ohledem na možná zdravotní rizika spojená s teplotovzdušným vytápěním byl do potrubní sítě zapojen filtr vzduchu s vložkou, která bude muset být pravidelně čištěna či vyměňována.



Obr. 4-16 Filtr vzduchu do potrubí [113]

Obr. 4-17 Potrubní klapka [114]

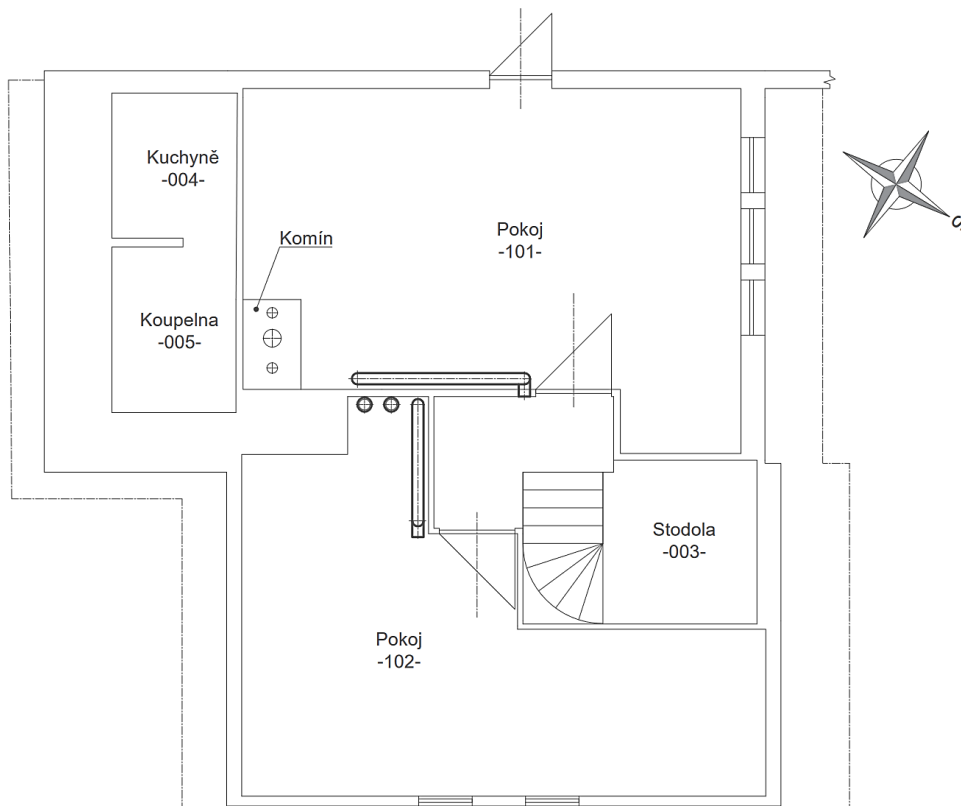
Ke zvýšení dopravního tlaku byl do potrubní sítě za filtr zařazen v každé větvi potrubní ventilátor. Do potrubní sítě byly zařazeny kruhové klapky, kterými bude řízen průtok vzduchu v jednotlivých úsecích.



Obr. 4-18 Schéma teplotovzdušných rozvodů

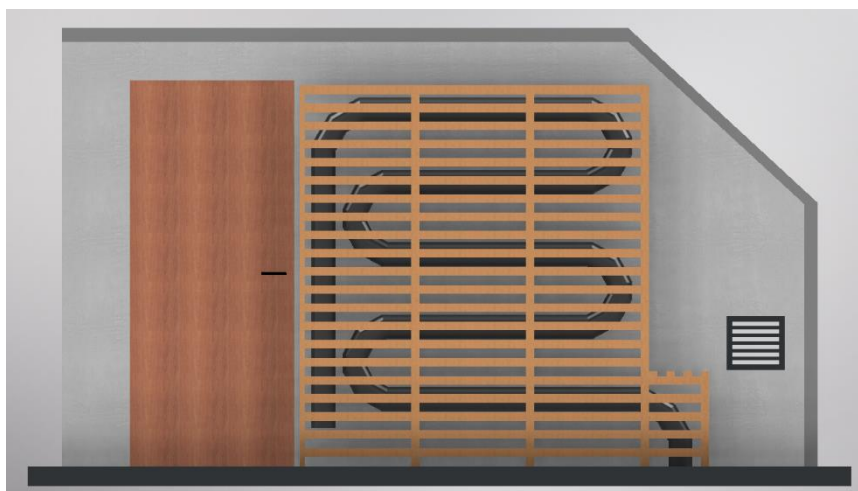
Aby bylo možné zajistit v podkrovních pokojích i sálavou složku vytápění, byl v obou těchto pokojích navržen teplotovzdušný meandr. Ten bude postaven z pozinkovaného

hladkého potrubí a segmentových oblouků. Celý meandr bude natřen barvou s vysokou emisivitou a odpovídající teplotní odolností.



Obr. 4-19 Půdorys vytápění, podkroví

Aby bylo zabráněno nechtěnému dotyku s ohřátým potrubím, bude vyroben jednoduchý kryt z dřevěných latí. Součástí vizualizací teplovzdušných meandrů v podkrovních pokojích jsou i prvky současného vytápění podkrovních pokojů teplovzdušnými kamny.



Obr. 4-20 Teplovzdušný meandr, pokoj 1



Obr. 4-21 Výstup směr stodola



Obr. 4-22 Teplovzdušný meandr, pokoj 1

Součástí každého ze dvou meandrů je potrubní rozbočka typu T, ve které dojde k rozdělení proudu vzduchu do dvou větví, z nichž jednou bude proudit ohřátý vzduch do podkrovního pokoje a druhou do stodoly.



Obr 4-23 Teplovzdušný meandr a šachta nad teplovzdušnými kamny, pokoj 2



4.5.3 Parametry teplovzdušného výměníku

Rozdíl teploty vzduchu na vstupu a výstupu z výměníku byl stanoven na základě rovnice:

$$\Delta t_v = \frac{\dot{Q}_{vk}}{c_L \cdot \dot{m}_c}, \quad (7)$$

kde Δt_v je rozdíl teploty vzduchu na vstupu a výstupu z výměníku [°C],

\dot{Q}_{vk} – tepelný výkon teplovzdušného výměníku [W],

c_L – měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg·K],

\dot{m}_c – hmotnostní průtok vzduchu výměníkem [kg/s].

Průtok vzduchu výměníkem byl zvolen s ohledem na maximální povrchové teploty stavebních konstrukcí, které budou v kontaktu s rozvody vzduchu. [77]

4.5.4 Součinitel prostupu tepla potrubí

Aby bylo možné stanovit tepelný výkon teplovzdušných meandrů a teploty vzduchu na vstupu a výstupu z výměníku krbové vložky, byl pro jednotlivé části potrubí vypočten součinitel prostupu tepla. Potrubí bylo pro účely tohoto výpočtu rozděleno do čtyř částí. První část potrubí se nachází v podkroví, kde chladný vzduch proudí směrem ke krbové vložce v izolovaném potrubí, druhou část tvoří také přívodní potrubí, které se ale nachází v krbové komoře, kde je vyšší teplota. Třetí část je tvořena také izolovaným potrubím, kterým ale již proudí ohřátý vzduch z teplovzdušného výměníku. Čtvrtou částí je potrubí z ocelového plechu, které tvoří meandry. Aby bylo možné určit součinitel prostupu tepla potrubí, je nejprve potřeba určit celkový součinitel přestupu tepla na vnitřní a vnější straně.

Součinitel přestupu tepla konvekcí byl vypočten pomocí kritériálních rovnic. Na vnitřní straně, kde dochází k nucené konvekci, je určujícím pro stanovení součinitele přestupu tepla konvekcí Reynoldsovo a Prandtolovo číslo. Na vnější straně potrubí bude docházet ke konvekci přirozené, pro kterou je určující Prandtlovo a Grashofovo číslo.

Bezrozměrná čísla jsou určena podle následujících rovnic:

Nusseltovo:

$$Nu = \frac{\alpha_K \cdot L}{\lambda_L}, \quad (8)$$

Reynoldsovo:

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu}, \quad (9)$$

Prandtlovo:

$$Pr = \frac{v \cdot \rho_t \cdot c_L}{\lambda_L}, \quad (10)$$

Grashofovo:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu^2}, \quad (11)$$

kde α_K je součinitel přestupu tepla konvekcí [W/m²·K],

L – charakteristický rozměr [m],

λ_L – součinitel tepelné vodivosti tekutiny [W/m·K],

v – rychlost proudění tekutiny [m/s],

ν – kinematická viskozita tekutiny [m²/s],

ρ_t – hustota tekutiny [kg/m³],

c_L – měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg·K],

g – gravitační zrychlení [m/s²],

β – součinitel teplotní roztažnosti tekutiny [1/K],

ΔT – rozdíl mezi teplotou stěny a tekutiny [K].

Pro účely výpočtu součinitele přestupu tepla konvekcí na vnitřní straně potrubí byly rozvody vzduchu rozděleny na tři části. První částí potrubí proudí vzduch z půdy ke krbové vložce, druhou částí proudí již ohřátý vzduch krbovou komorou a třetí částí proudí již mírně ochlazený vzduch v teplovzdušných meandrech. Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně potrubí byl pro každou z těchto částí určen pomocí vztahu:

$$\alpha_{Pi} = \frac{Nu \cdot \lambda_L}{d}, \quad (12)$$

kde α_{Pi} je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně potrubí [W/m²·K],

d – vnitřní průměr potrubí [m],

λ_L – součinitel tepelné vodivosti tekutiny [W/m·K]

a Nusseltovo číslo bylo vypočteno dle následující kritériální rovnice [115]:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}, \quad (13)$$

kde vlastnosti vzduchu, se kterými bylo vypočteno Reynoldsovo a Prandtlovo číslo, byly určeny na základě předběžně stanovených teplot vzduchu a stěn v jednotlivých částech potrubí.

Pro účely výpočtu součinitele přestupu tepla konvekcí na vnější straně potrubí byly rozvody vzduchu rozděleny na čtyři části shodně s rozdělením pro výpočet součinitele prostupu tepla potrubím.

Součinitel přestupu tepla konvekcí na vnější straně potrubí byl určen zvlášť pro vodorovné a svislé části potrubí. Při určování orientace byl zohledněn převládající směr v dané části. Součinitel přestupu tepla na vnější straně vodorovného potrubí byl určen podle následujícího vztahu:

$$\alpha_{pev} = \frac{Nu \cdot \lambda_L}{D}, \quad (14)$$

kde α_{pev} je součinitel přestupu tepla konvekcí na vnější straně vodorovného potrubí [W/m²·K],

D – vnější průměr potrubí [m],

λ_L – součinitel tepelné vodivosti tekutiny [W/m·K]

a Nusseltovo číslo bylo pro obtékání vodorovného potrubí vypočteno dle následující kritériální rovnice [115]:

$$Nu = 0,47 \cdot Ra^{1/4}, \quad (15)$$

kde Ra je Rayleighovo číslo, které bylo vypočteno jako:

$$Ra = Gr \cdot Pr, \quad (16)$$

kde Grashofovo a Prandtlovo číslo bylo vypočteno podle definičních vztahů (10), (11) s parametry vzduchu o předem stanovené teplotě, předem stanovenou povrchovou teplotou potrubí a jeho délkou v dané části.

Součinitel přestupu tepla konvekcí na vnější straně svislé části potrubí byl určen podle následujícího vztahu:

$$\alpha_{pes} = \frac{Nu \cdot \lambda_L}{L_p}, \quad (17)$$

kde α_{pes} je součinitel přestupu tepla konvekci na vnější straně svislého potrubí [W/m²·K],

L_p je výška potrubí [m],

λ_L – součinitel tepelné vodivosti tekutiny [W/m·K]

a Nusseltovo číslo bylo pro obtékání svisle orientovaného válce vypočteno dle následující kriteriální rovnice [116]:

$$Nu = 0,1 \cdot Ra^{1/3}, \quad (18)$$

kde Rayleighovo číslo, bylo vypočteno podle vztahu (16) a kde Grashofovo a Prandtlovo číslo bylo vypočteno podle definičních vztahů (10) a (11) s parametry vzduchu o předem stanovené teplotě, předem stanovenou povrchovou teplotou potrubí a jeho délkou v dané části.

Povrchové teploty potrubí byly stanoveny s ohledem na známý rozdíl teplot vzduchu na vstupu a výstupu z výměníku a stanovenou teplotou vzduchu na půdě. Teploty vzduchu v podkrovních pokojích byly uvažovány stejné jako vnitřní výpočtové teploty při výpočtu tepelné ztráty. Teplota v krbové komoře byla stanovena s ohledem na maximální teplotu přilehlých stavebních konstrukcí.

Pro sálavý tepelný tok mezi povrchem potrubím a okolím bylo počítáno, po konzultaci s vedoucím této práce, se součinitelem přestupu tepla sáláním na vnější straně potrubí jako s konstantou.

Celkový součinitel přestupu tepla na vnější straně potrubí byl stanoven jako součet součinitele přestupu tepla sáláním a konvekci pro vodorovné potrubí pomocí vztahu:

$$\alpha_{pe} = \alpha_{pev} + \alpha_S, \quad (19)$$

kde α_{pe} je celkový součinitel přestupu tepla na vnější straně potrubí [W/m²·K],

α_{pev} – součinitel přestupu tepla konvekci na vnější straně vodorovného potrubí [W/m²·K],

α_S – součinitel přestupu tepla sáláním [W/m²·K].

Pro svislé části potrubí byl celkový součinitel přestupu tepla na vnější straně potrubí vypočten jako:

$$\alpha_{pe} = \alpha_{pes} + \alpha_S, \quad (20)$$

kde α_{pe} je celkový součinitel přestupu tepla na vnější straně potrubí [W/m²·K],

α_{pes} – součinitel přestupu tepla konvekcí na vnější straně svislého potrubí [W/m²·K],

α_S – součinitel přestupu tepla sáláním [W/m²·K].

Na vnitřní straně potrubí bude celkový součinitel přestupu tepla roven součiniteli přestupu tepla konvekcí.

Se znalostí celkových součinitelů přestupu tepla na vnitřní a vnější straně a parametrů potrubí byl vypočten součinitel prostupu tepla potrubím:

$$U_P = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_{pi} \cdot d} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_p} \cdot \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{ip}} \cdot \ln \frac{D_i}{D} + \frac{1}{\alpha_{pe} \cdot D_i}}, \quad (21)$$

kde U_P je součinitel prostupu tepla vztažený na 1 m délky potrubí [W/m·K],

d – vnitřní průměr potrubí [m],

D – vnější průměr vnitřní stěny potrubí [m],

D_i – vnější průměr potrubí s izolací [m],

λ_p – součinitel tepelné vodivosti stěny potrubí [W/m·K],

λ_{ip} – součinitel tepelné vodivosti izolace potrubí [W/m·K],

α_{pe} – celkový součinitel přestupu tepla na vnější straně potrubí [W/m²·K],

α_{pi} – součinitel přestupu tepla na vnitřní straně potrubí [W/m²·K].

4.5.5 Tepelná ztráta potrubí a tepelné zisky od teplého vzduchu

Celý potrubní systém byl rozdělen z pohledu tepelné ztráty a tepelných zisků na pět částí. Rozdělení je identické jako při určení součinitele prostupu tepla potrubím s tím rozdílem, že poslední část potrubí byla rozdělena na dva úseky, jelikož teplovzdušné meandry v obou pokojích se liší svými parametry. Čtvrtá část potrubí je tvořena teplovzdušným meandrem v prvním podkrovním pokoji a pátá část ve druhém. Se zjištěnou hodnotou součinitele prostupu tepla potrubím bylo možné dopočítat teplotu vzduchu na začátku a na konci každé části podle následujícího vztahu [117]:

$$t_{s2} = t_o + (t_{s1} - t_o) \cdot e^{-K}, \quad (22)$$

kde t_{s2} je teplota vzduchu na konci dané části potrubí [°C],

t_o – teplota okolí [°C],

t_{s1} – teplota vzduchu na začátku dané části potrubí [°C]

a bezrozměrný exponent K pro úsek potrubí byl vypočten podle vztahu [117]:

$$K = \frac{U_P \cdot L_i}{\dot{m}_j \cdot c_{Li}}, \quad (23)$$

kde K je bezrozměrný exponent [-],

U_P – součinitel prostupu tepla vztažený na 1 m délky potrubí [W/m·K],

L_i – délka dané částí potrubí [m],

\dot{m}_j – hmotnostní průtok vzduchu v dané části potrubí [kg/s],

c_{Li} – měrná tepelná kapacita vzduchu v dané části potrubí [J/kg·K].

Za hodnotu teploty na začátku další části potrubí byla vždy dosazena teplota, kterou měl vzduch na konci části předešlé, pouze mezi druhou a třetí částí, tedy před a za teplovzdušným výměníkem krbové vložky, byla teplota vzduchu na výstupu z krbové vložky určena podle vzorce:

$$t_{out} = t_{in} + \Delta t_v, \quad (24)$$

kde t_{out} je teplota vzduchu na výstupu z výměníku [°C],

t_{in} – teplota vzduchu na vstupu do výměníku [°C],

Δt_v – rozdíl teploty vzduchu na vstupu a výstupu z výměníku [°C].

Tepelný výkon teplovzdušných meandrů v podkrovních pokojích lze vypočítat díky znalosti teplot vzduchu na vstupu a výstupu z meandrů pomocí rovnice:

$$\dot{Q}_j = \dot{m}_m \cdot c_{Li} \cdot (t_{mi} - t_{mo}), \quad (25)$$

kde \dot{Q}_j je tepelný výkon teplovzdušného meandru [W],

t_{mi} – teplota vzduchu na vstupu do meandru [°C],

t_{mo} – teplota na výstupu z daného úseku meandru [°C],

c_{Li} – měrná tepelná kapacita vzduchu v dané části potrubí [J/kg·K]

a hmotnostní průtok vzduchu v jednom z teplovzdušných meandrů byl vypočten z hmotnostního průtoku vzduchu teplovzdušným výměníkem podle vzorce

$$\dot{m}_m = \frac{\dot{m}_c}{2}, \quad (26)$$

kde \dot{m}_m je hmotnostní průtok vzduchu teplovzdušným meandrem [kg/s],

\dot{m}_c – hmotnostní průtok vzduchu teplovzdušným výměníkem [kg/s].

Teplovzdušné meandry nepokryjí zcela svým konvekčním a sálavým tepelným výkonem vypočtenou tepelnou ztrátu podkrovních místností. Část tepelné ztráty místností bude pokryta teplovzdušným vytápěním. Velikost požadovaného tepelného toku byla vypočtena podle vzorce:

$$\dot{Q}_{vz} = \dot{Q}_c - \dot{Q}_j, \quad (27)$$

kde \dot{Q}_{vz} je tepelný zisk od přiváděného teplého vzduchu [W],

\dot{Q}_c – celková tepelná ztráta místnosti [W],

\dot{Q}_j – tepelný výkon teplovzdušného meandru [W].

Hmotnostní průtok přiváděného ohřátého vzduchu do místnosti byl určen pomocí rovnice:

$$\dot{m}_{vz} = \frac{\dot{Q}_{vz}}{c_{Li} \cdot (t_{mo} - t_i)}, \quad (28)$$

kde \dot{m}_{vz} je hmotnostní průtok vzduchu přiváděného do místnosti [kg/s],

\dot{Q}_{vz} – tepelný zisk od přiváděného teplého vzduchu [W],

t_i – vnitřní výpočtová teplota v místnosti [°C],

t_{mo} – teplota vzduchu na výstupu z daného meandru [°C],

c_{Li} – měrná tepelná kapacita vzduchu v dané části potrubí [J/kg·K].

4.5.6 Stanovení povrchové teploty přívodního potrubí

Aby na povrchu přívodního potrubí nedocházelo ke kondenzaci, byla vypočtena povrchová teplota potrubí podle vzorce:

$$t_{pp} = t_i - \frac{\dot{q}_p}{\alpha_{pe} \cdot \pi \cdot D_i}, \quad (29)$$

kde t_{pp} je povrchová teplota přívodního potrubí v podkrovním pokoji [°C],

t_i – vnitřní výpočtová teplota v podkrovním pokoji [°C],

\dot{q}_p – měrný tepelný tok stěnou potrubí [W/m],

α_{pe} – celkový součinitel přestupu tepla na vnější straně potrubí [W/m²·K],

D_i – vnější průměr potrubí s izolací [m].

Měrný tepelný tok stěnou potrubí byl vypočten podle vzorce:

$$\dot{q}_p = U_p \cdot (t_i - t_{si}), \quad (30)$$

kde U_p je součinitel prostupu tepla vztažený na 1 m délky potrubí [W/m·K],

\dot{q}_p – měrný tepelný tok stěnou potrubí [W/m],

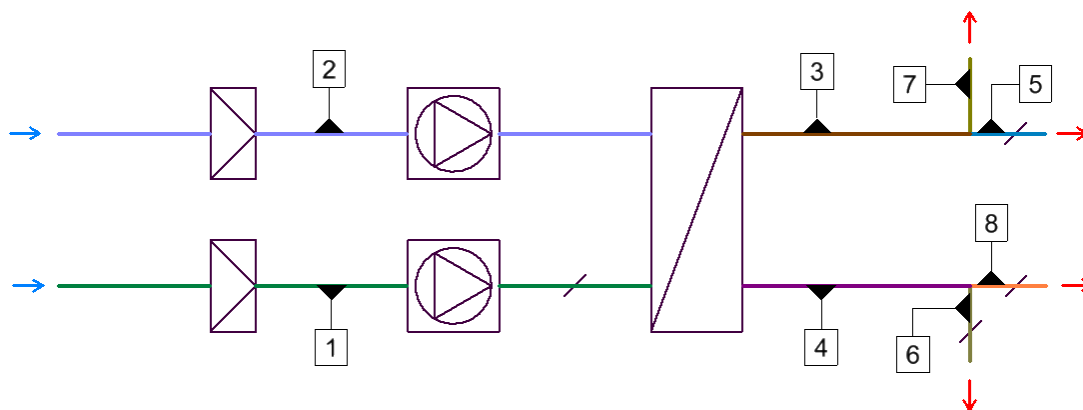
t_i – vnitřní výpočtová teplota v podkrovním pokoji [°C],

t_{si} – teplota vzduchu v místě sání [°C].

Povrchová teplota přívodního potrubí nesmí klesnout pod teplotu rosného bodu.

4.5.7 Tlakové ztráty v potrubí

Aby bylo možné zkontrolovat, zda je dopravní tlak vybraných ventilátorů dostatečný, byl proveden výpočet tlakových ztrát potrubí. Dále byl vypočten úhel natočení potrubních klapek, aby bylo možné zajistit požadované objemové průtoky vzduchu do jednotlivých místností.



Obr. 4-24 Schéma teplovzdušných rozvodů, rozdělení na úseky

Teplovzdušné rozvody byly pro výpočet tlakových ztrát rozděleny celkem na 8 úseků. První dva úseky přivádí paralelně vzduch ke křbové vložce. Třetí a čtvrtý úsek začínají paralelně na výstupech z křbové vložky a končí rozbočkami typu T. Teplovzdušný meandr v prvním pokoji je součástí třetího úseku, ve druhém pokoji čtvrtého. Po rozdělení v rozbočkách typu T se nachází čtyři úseky pro každý směr proudění vzduchu. Na třetí úsek navazuje pátý, který má výstup v prvním podkrovním pokoji a úsek sedmý, který směřuje do stodoly. Na čtvrtý úsek navazuje šestý a osmý, kde šestý je ukončen ve stodole a osmý má výstup v druhém podkrovním pokoji.

Dynamický tlak byl v každém úseku vypočten podle vztahu:

$$p_{di} = \frac{\rho_{ti} \cdot v_i^2}{2}, \quad (31)$$

kde p_{di} je dynamický tlak v dané části potrubí [Pa],

ρ_{ti} – hustota vzduchu v dané části potrubí [kg/m³],

v_i – střední průtoková rychlost v potrubí [m/s].

Tlakové ztráty v potrubí se dělí na ztráty třecí a ztráty místní. Třecí tlakové ztráty pro daný typ potrubí v úseku byly určeny pomocí Weisbachova vztahu:

$$\Delta p_{Fki} = \lambda_{tki} \cdot \frac{L_{ki}}{d} \cdot p_{di}, \quad (32)$$

kde Δp_{Fki} je tlaková ztráta třením v daném úseku potrubí [Pa],

L_{ki} – délka potrubí daného typu potrubí v daném úseku [m],

d – vnitřní průměr potrubí [m],

p_{di} – dynamický tlak v dané části potrubí [Pa],

λ_{tki} – součinitel třecích ztrát pro daný typ potrubí v úseku [-].

Velikost součinitele třecích ztrát závisí na Reynoldsově čísle a relativní drsnosti stěn potrubí. Reynoldsovo číslo bylo pro jednotlivé úseky potrubí vypočteno podle vztahu (9), kde charakteristickým číslem je vnitřní průměr potrubí. Relativní drsnost byla pro oba použité typy potrubí vypočtena podle vztahu:

$$\varepsilon = \frac{k_k}{d}, \quad (33)$$

kde ε je relativní drsnost potrubí [-],

k_k – absolutní drsnost daného typu potrubí [m],

d – vnitřní průměr potrubí [m].

Třetí a čtvrtý úsek potrubí je tvořen jak izolovaným potrubím, tak potrubím, které tvoří meandr. Tato potrubí mají různou drsnost. Proto byl tento úsek rozdělen z hlediska výpočtu tlakové ztráty třením na dvě části, podle typu potrubí.

Součinitel třecích ztrát byl na základě Reynoldsova čísla a relativní drsnosti jednotlivých úseků potrubí odečten z Moodyho diagramu.

Tlaková ztráta způsobená místním odporem byla vypočtena podle vztahu:

$$\Delta p_{Li} = \zeta_i \cdot p_{di}, \quad (34)$$

kde Δp_{Li} je tlaková ztráta způsobená místním odporem [Pa],

ζ_i – součinitel místní ztráty daného prvku [-],

p_{di} – dynamický tlak v daném úseku potrubí [Pa].

Součinitel místní ztráty je závislý na geometrii a dalších parametrech konkrétního prvku. Těmito prvky jsou oblouky, rozbočky typu T, filtry vzduchu, větrací mřížky a další. Součinitel místní ztráty v obloucích byl určen zvlášť pro oblouky záhybové, které se nachází v ohebných vzduchovodech s izolací, a pro oblouky segmentové, které se nacházejí v teplovzdušném meandru. U oblouků závisí součinitel místní ztráty zejména na středovém úhlu oblouku a poloměru jejich střednice.

U rozboček typu T závisí součinitel místní ztráty na velikosti objemového průtoku v daném směru, respektive na poměru objemového průtoku do daného úseku potrubí ku objemovému průtoku v potrubí před rozdělením. Dalším prvkem potrubní sítě jsou dva po sobě jdoucí oblouky, které se vzájemně ovlivňují, dále též spoje jednotlivých částí, ze kterých je potrubní síť postavena. Na velikost součinitele místní ztráty na vstupu má vliv zejména jeho umístění a tvar, na výstupu má na velikost součinitele místní ztráty vliv zejména tvar mřížky.

Tlaková ztráta v prvních čtyřech úsecích, byla vypočtena podle vzorce:

$$\Delta p_{Ti} = \sum_i \Delta p_{Li} + \sum_i \Delta p_{Fki} + p_{LF}, \quad (35)$$

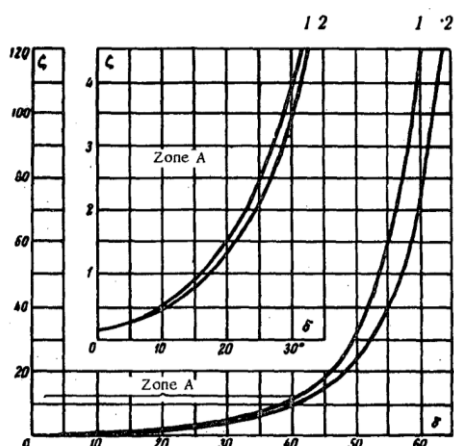
kde Δp_{Ti} je tlaková ztráta v úseku potrubí [Pa],

Δp_{Li} – tlaková ztráta způsobená místním odporem [Pa],

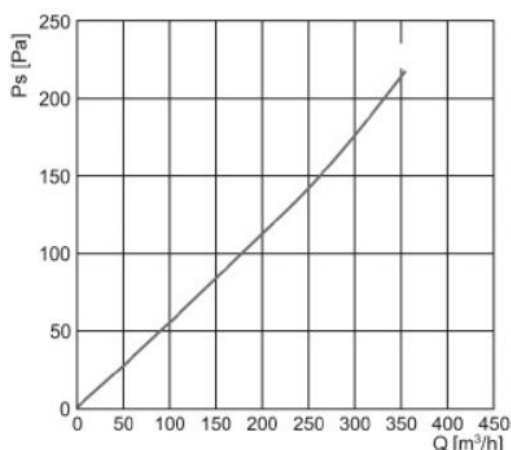
Δp_{Fki} – tlaková ztráta třením pro daný typ potrubí v daném úseku [Pa],

p_{LF} – tlaková ztráta způsobená filtrem vzduchu [Pa].

Tlaková ztráta filtru byla pro první dva úseky odečtena z charakteristiky na obr. 4.26.



Obr. 4-25 Charakteristika klapky [118]



Obr. 4-26 Charakteristika filtru [113]

Legenda obr. 4-25: 1 – klapka kruhová, 2 – klapka čtvercová

Tlaková ztráta posledních čtyř úseků, jejichž součástí je výstup z potrubí, byla vypočtena podle vzorce:

$$\Delta p_{Ti} = \sum_i \Delta p_{Li} + \Delta p_{Fki} + p_{di}, \quad (36)$$

kde Δp_{Ti} je tlaková ztráta v úseku potrubí [Pa],

Δp_{Li} – tlaková ztráta způsobená místním odporem [Pa],

Δp_{Fki} – tlaková ztráta třením pro daný typ potrubí v daném úseku [Pa],

p_{di} – dynamický tlak v daném úseku potrubí [Pa].

Rozdílná tlaková ztráta mezi prvním a druhým úsekem potrubí bude kompenzována potrubní klapkou umístěnou na půdě, která zajistí, že tlaková ztráta obou přívodních úseků bude stejná. S vypočtenými hodnotami tlakových ztrát v jednotlivých úsecích byl určen úsek přívodního potrubí, který je součástí hlavní větve. Rozdíl tlaků jednotlivých úseků byl vypočten podle následujícího vztahu:

$$\Delta p_{Ts} = \Delta p_{Thi} - \Delta p_{Tvi}, \quad (37)$$

kde Δp_{Ts} je rozdíl tlaků k doškrcení klapkou v potrubí [Pa],

Δp_{Thi} – tlaková ztráta úseku, který je součástí hlavní větve [Pa],

Δp_{Tvi} – tlaková ztráta úseku, který je součástí vedlejší větve [Pa].

Součinitel místní ztráty potrubní klapky byl vypočten podle vztahu:

$$\zeta_k = \frac{\Delta p_{Ts}}{p_{di}}, \quad (38)$$

kde ζ_k je součinitel místní ztráty jednoduché potrubní klapky [-],

Δp_{Ts} – rozdíl tlaků k doškrcení klapkou v potrubí [Pa],

p_{di} – dynamický tlak v daném úseku potrubí [Pa].

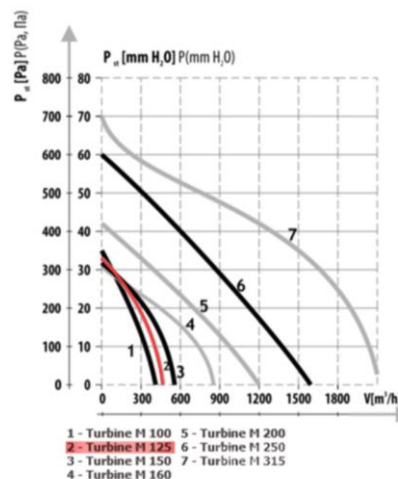
Odpovídající úhel natočení potrubní klapky β_k byl na základě vypočteného součinitele místní ztráty odečten z charakteristiky obr. 4-25. Správné nastavení klapky zajistí rovnoměrné zanášení filtrů vzduchu a požadovaný průtok teplého vzduchu.

Rozvody vzduchu, kterými proudí ohřátý vzduch od krbové vložky, byly rozděleny za účelem určení úhlu natočení a umístění klapky na čtyři větve. S vypočtenými hodnotami tlakových ztrát v jednotlivých úsecích byly určeny úseky, které jsou součástí hlavní větve. Rozdíl tlakových ztrát mezi úseky, které jsou součástí hlavní větve a úseky větví vedlejších, tj. paralelních, byl vypočten podle vztahu (37) a součinitel místní ztráty klapky byl vypočten podle vztahu (38).

Výpočet byl proveden pro všechny tři vedlejší větve a úhly natočení β_k jednotlivých klapky byly odečteny z charakteristiky na obr. 4-25.

4.5.8 Návrh potrubních ventilátorů

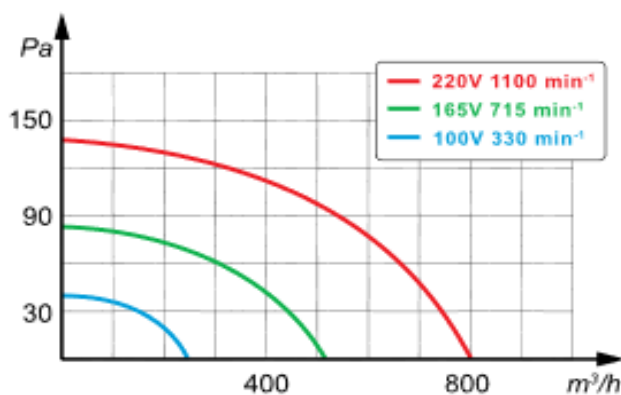
S ohledem na rozměry potrubí a vypočtený požadovaný dopravní tlak byl vybrán diagonální ventilátor Dalap Turbine M 125 mm. Tento ventilátor má provozní teplotu již od -20 °C. Zjistit celkový dopravní tlak těchto dvou paralelně řazených ventilátorů v kombinaci se sériově řazeným ventilátorem krbové vložky by bylo možné skládáním charakteristik. Dle vypočtené hodnoty celkové tlakové ztráty vzduchovodů a parametrů ventilátorů lze usoudit, že je jejich dopravní tlak dostatečný. Konkrétní čísla jsou uvedena v tab. 4-9. [119] [120]



Obr. 4-27 Dalap Turbine M125 [120]

Obr. 4-28 Charakteristika ventilátoru [120]

Potrubní ventilátory na půdě budou uvedeny do provozu vždy, pokud bude spuštěn ventilátor u krbové vložky. Krbová vložka je vybavena radiálním ventilátorem, jehož výkon lze regulovat změnou otáček na externím ovladači v pěti stupních. Ovladač bude umístěn na stěně vedle krbu. Jakmile bude uveden pomocí ovladače do chodu radiální ventilátor u krbové vložky, budou spuštěny diagonální ventilátory v potrubí na půdě.



Obr. 4-29 Charakteristika ventilátoru krbové vložky [107]

Obr. 4-30 Ovladač [107]

Charakteristika ventilátoru na obr. 4-29 zohledňuje tlakovou ztrátu, ke které dochází při proudění vzduchu výměníkem krbové vložky. Ventilátory dodávají proudícímu vzduchu mechanickou energii, která se v potrubí vlivem hydraulických ztrát disipuje na energii tepelnou. Tyto tepelné zisky byly ve výpočtech tepelných zisků v podkrovních místnostech od teplovzdušných meandrů zanedbány.

Tab. 4-9 Vypočtená tlaková ztráta a dopravní tlaky ventilátorů

Tlaková ztráta hlavní větve	p_{Th}	[Pa]	228
Dopravní tlak ventilátoru Dalap při daném objemovém toku	p_v	[Pa]	270
Dopravní tlak ventilátoru krbové vložky při daném objemovém toku	p_v	[Pa]	130

Pokud by došlo k výpadku dodávky elektrického proudu, bude krb dočasně odstaven z provozu, přívod primárního vzduchu bude nastaven tak, aby došlo k pozvolnému dohoření paliva a zabránilo se nechtěnému přehřátí přilehlých stavebních konstrukcí.

4.6 Parametry navrhnutého způsobu vytápění

Zvýšením výkonu zdrojů tepla na pevná paliva umístěných ve světnici se zvýšil i požadavek na množství přiváděného vzduchu do místnosti a tím i vypočtená tepelná ztráta. V následující tabulce jsou porovnány tepelné zisky a tepelné ztráty místností, které budou krbem a rozvody vzduchu vytápěny.

Tab. 4-10 Porovnání tepelných zisků a vypočtených tepelných ztrát

Místnost	pokoj 1	pokoj 2	stodola	světnice
Celková tepelná ztráta [W]	1800	2000	3400	5700
Celkový tepelný zisk [W]	1800	2000	3175	8000

Jediným prostorem, ve kterém je tepelná ztráta větší než tepelný zisk, je stodola. Zde je nutné vzít v potaz zisk od teplého vzduchu, který bude do stodoly unikat při každém otevření dveří do světnice, ve které je vyšší výpočtová teplota.

Pokud by během provozu došlo k přerušení dodávky elektrické energie a přerušení provozu ventilátorů, mělo by se nechat palivo v krbu pomalu dohořet a k vytápění použít ostatní zdroje tepla, jejichž provoz není závislý na elektrické energii.

Díky vzduchotechnickým klapkám v potrubí bude možné nastavit množství přiváděného teplého vzduchu do podkrovních pokojů. Nastavením otáček ventilátoru krbové vložky bude možné nastavit objemový průtok vzduchu v teplovzdušných rozvodech.

5. DISKUSE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Provedenou rešerší zabývající se vytápěním horských bud bylo zjištěno, že společně s příchodem tepelných čerpadel se do horských bud vrací vytápění kotli, či lokálními zdroji tepla spalujícími palivové dřevo. Tyto zdroje tepla nahrazují kotle na kapalná nebo pevná fosilní paliva. Nově zrekonstruovaná Petrova bouda je příkladem využití efektivního bezobslužného zdroje tepla a tradičních lokálních zdrojů tepla, jejichž provoz je zcela nezávislý na dodávce elektrického proudu. Vytápění horských chat se příliš neliší od vytápění běžných rodinných domů. Je zde však prostor pro nahrazení hojně používaných elektrokotlů tepelnými čerpadly či moderními kotli na biomasu. Horské chalupy jsou z pohledu vytápění poměrně specifickou kategorií staveb, protože jde o objekty, ve kterých se s použitím teplovodní otopné soustavy běžně nesetkáme. Jednu z možností distribuce tepla od lokálního zdroje tepla do dalších místností bez využití teplovodní otopné soustavy naznačila projektová studie.

Určení součinitele tepelné vodivosti sněhu je výrazně složitější než u běžně používaných stavebních materiálů. Přibližně určené hodnoty tepelných ztrát objektu bez a se sněhovou pokrývkou ale naznačily, jak výrazný vliv může mít sněhová pokrývka na tepelnou ztrátu podkrovních místností, zejména pak u starší chalupy. Porovnání vypočtených výsledků tepelných ztrát s parametry současných lokálních zdrojů tepla se shoduje se zkušenostmi s vytápěním chalupy, takže výpočet lze považovat i přes nepravidelnost stavebních konstrukcí a výrazné tepelné mosty za poměrně přesný.

Navržený způsob vytápění odstraňuje z větší části nedostatky současného způsobu vytápění. Tím, že k vytápění bude možné nadále používat i teplovzdušná kamna Bullerjan a sporák na tuhá paliva, bude celkový výkon všech zdrojů tepla v chalupě vyšší než ten současný. V chalupě by tedy mělo být po prvním zatopení docíleno tepelné pohody dříve než nyní. Po dosažení požadované výsledné teploty bude možné přestat topit v teplovzdušných kamnech a sporáku, protože tepelnou ztrátu v jednotlivých místnostech pokryje teplovzdušný krb s rozvody.

Místní tlaková ztráta filtru se bude s jeho znečištěním zvyšovat, proto bude nezbytná jeho pravidelná údržba. Čištěny by měly být pravidelně i teplovzdušné rozvody.

Nevýhodou nově navrhnutého systému vytápění je zvýšení tepelné ztráty ve světnici. Řešením tohoto problému by bylo zajištění externího přívodu vzduchu u nově navrženého krbu. Další nevýhodou je, že kromě nákladů na palivové dřevo bude potřeba při kalkulaci nákladů na vytápění zohlednit i náklady na provoz elektrických ventilátorů.

6. ZÁVĚR

V této práci byly popsány krkonošské rekreační objekty a způsoby jejich vytápění. Objekty byly rozděleny do tří kategorií podle historie a způsobu vytápění. Historie horských bud a jejich vytápění byly popsány na čtyřech příkladech. U horských chat byly zjištěny způsoby vytápění na základě provedené analýzy způsobu vytápění chat nabízených k pronájmu. Důraz byl v kapitole o vytápění horských bud a horských chat kladen zejména na používané zdroje tepla. Na základě parametrů současně dostupných zdrojů tepla a zohlednění prostředí, ve kterém se horské rekreační objekty nachází, byl učiněn závěr, že při volbě zdroje tepla pro vytápění horských chat a bud by měly být preferovány teplovodní kotle na biomasu a tepelná čerpadla typu země-voda. S ohledem na dostupnost dřeva z krkonošských lesů byly popsány detailněji kotle dřevo-zplyňující a také automatické kotle na pelety. Horské chalupy jsou kategorií staveb, ve kterých jsou využívány různé lokální zdroje tepla. K výraznému rozšíření lokálních zdrojů tepla na elektřinu díky vysokým cenám elektřiny pravděpodobně v následujících letech nedojde, a tak budou nadále nejpoužívanějšími lokálními zdroji tepla na kusové dřevo.

V kapitole o tepelné vodivosti sněhu byl popsán způsob vedení tepla v tomto nehomogenním materiálu a také možnosti měření jeho tepelné vodivosti. Lze konstatovat, že všechny hodnoty součinitele tepelné vodivosti sněhu, vztažené k jeho hustotě uváděné v různých publikacích, jsou pouze orientační.

V rámci projektové studie byla vypočtena tepelná ztráta krkonošské chalupy. Na základě dvou modelových situací byl vyhodnocen vliv sněhové pokrývky na střeše objektu na tepelné ztráty. I poměrně tenká vrstva sněhové pokrývky má na tepelnou ztrátu prostupem u minimálně izolované střechy chalupy výrazný vliv. Pro silnou vrstvu, tvořenou zejména prašným, čerstvě napadnutým sněhem, může být hodnota součinitele prostupu tepla několikanásobně nižší oproti střeše bez sněhové pokrývky.

Dále byl v rámci projektové studie popsán současný způsob vytápění a byly nastíněny jeho nedostatky. Lokální zdroj tepla s nejnižší účinností byl nahrazen krbovou vložkou s rozvody teplého vzduchu. V podkrovních pokojích byly navrženy teplovzdušné meandry, díky kterým nebude vytápění v podkrovních pokojích pouze

teplovzdušné, ale bude zajištěna i sálavá složka vytápění. Dle vypočtených parametrů bude nově navržená krbová vložka s teplovzdušnými rozvody schopna pokrýt tepelnou ztrátu světnice, stodoly a obou podkrovních pokojů. Nově navržený způsob vytápění zajistí tepelnou pohodu v celém objektu. Použitá krbová vložka má vysoký jmenovitý výkon, díky tomu je množství venkovního vzduchu, který je nutné pro správné spalování zajistit, značné. Instalace tohoto lokálního zdroje tepla bez externího přívodu vzduchu do moderní budovy s plastovými okny by byla značně problematická. Teplovzdušné meandry jsou proti běžně používaným otopným tělesům s ohledem na svůj tepelný výkon výrazně rozměrnější a jejich návrh musí být individuální pro každou místnost na základě možných dispozic. Využívat je pro vytápění objektu, ve kterém je možné zajistit teplovodní otopnou soustavu, by nedávalo smysl.

Byť v posledních desetiletích dochází k poklesu teplot hluboko pod bod mrazu méně často než dříve, správně navržený systém vytápění bude v horských objektech nadále velmi důležitý, protože při nedostatečné dodávce tepla by byly tyto objekty nejen v zimních měsících neobyvatelné.

Výsledky zde představené projektové studie jsou unikátní a jen omezeně zobecnitelné. Bakalářská práce pro mě přesto byla příležitostí využít teoretické znalosti z dosavadního studia v oboru, kterému bych se v budoucnu rád věnoval.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BRYCHTOVÁ, Jitka a Josef KRAUSE. *Vyhodnocení krajinného rázu území Krkonošského národního parku a jeho ochranného pásma – část Královéhradecký kraj* [online]. B.m.: Správa KRMAP. listopad 2004. Dostupné z: https://www.krnap.cz/media/cyof2jit/vyhodnoceni_krajinneho_razu_krna_p_kralovehradecky_kraj.pdf
- [2] BARTOŠ, Martin. *Historie Krkonošských bud* [online]. 1. Vrchlabí: Správa Krkonošského národního parku, 2016. ISBN 978-80-7535-029-9. Dostupné z: http://webserv.krnap.cz/data/historie_krkonosskych_bud.pdf
- [3] HOTEL LUČNÍ BOUDA. Luční bouda historie. lucnibouda.cz [online]. 2020 [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.lucnibouda.cz/cs/historie/>
- [4] WANDER BOOK. <https://cs.wander-book.com/lucni-bouda.htm>. *wander-book.com* [online]. [vid. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://cs.wander-book.com/lucni-bouda.htm>
- [5] HOTEL LABSKÁ BOUDA. Labská bouda historie. labskabouda.cz [online]. 2020 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.labskabouda.cz/historie/>
- [6] BOOKING. Hotel Labská bouda, Horní Míšečky. *Booking.com* [online]. [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.booking.com/hotel/cz/labska-bouda.cs.html>
- [7] ATELIER A4 S.R.O. *Petrova Bouda, Objekt A - Technická zpráva* [online]. 26. leden 2015. Dostupné z: <https://snowychalet.cz/>
- [8] PLECHÁČ, Tomáš. Petrova bouda se změní: jídlo v útulně, přespání pro 12 turistů se spacáky. *iDNES.cz* [online]. 2021 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/hradec-kralove/zpravy/kralovehradecky-petrova-bouda-petrovka-krkonose-otevreni-provoz-turistika.A210113_121258_hradec-zpravy_tuu
- [9] RYKR, Otakar a Jan KEJKLÍČEK. Historie Kolínské boudy. kolinskabouda.cz [online]. červen 2021 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.kolinskabouda.cz/cs/url-sekce-401986/>
- [10] HORSKÝ HOTEL KOLÍNSKÁ BOUDA. Kolínská bouda. kolinskabouda.cz [online]. 2024 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.kolinskabouda.cz/cs/>
- [11] BOOKING. Horský hotel Kolínská bouda, Pec pod Sněžkou. *Booking.com* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.booking.com/hotel/cz/kolinska-bouda.cs.html>
- [12] VIESSMANN. Kotel na olej: 7 faktů, které byste měli znát. viessmann.cz [online]. 5. červen 2023 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/info-a-tipy-k-nakupu/7-faktu-o-kotlich.html>

- [13] ČTK. Vlastníci krkonošské Luční boudy koupili i Labskou boudu. *Deník.cz* [online]. 2015 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/ekonomika/vlastnici-krkonosske-lucni-boudy-koupili-i-labskou-bodu-20151104.html>
- [14] EISNER, Jan. Kondenzační litinový olejový kotel Logano plus GB125, Buderus Česká republika. *TZB-info* [online]. 24. leden 2017 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/15287-kondenzacni-litinovy-olejovy-kotel-logano-plus-gb125>
- [15] LYČKA, Zdeněk. Typy teplovodních kotlů na pevná paliva. *vytapani.tzb-info.cz* [online]. 27. květen 2019 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vymeny-kotlu/19079-typy-teplovodnich-kotlu-na-pevna-paliva>
- [16] VISSMANN. Vytápění dřevem – ekologické a úsporné vytápění. *viessmann.cz* [online]. 27. březen 2024 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/technologie/vytapani-drevem.html>
- [17] JAROSLAV CANKAŘ A SYN ATMOS. Automatické kotle na pelety. *atmos.eu* [online]. 2024 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/produkt/automaticke-kotle-na-pelety/>
- [18] JAROSLAV CANKAŘ A SYN ATMOS. Kotel na pelety D85P. *atmos.eu* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/produkt/automaticke-kotle-na-pelety/d85p/>
- [19] JAROSLAV CANKAŘ A SYN ATMOS. Automatické odpopelnění. *atmos.eu* [online]. 2024 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/prislusenstvi/automaticke-odpopelneni/>
- [20] ALPHA INNOTEK. *Prospekt tepelného čerpadla alpha innotec LW* [online]. 2024. Dostupné z: https://www.alpha-innotec.cz/wp-content/uploads/2022/10/LW_leaflet_2023.pdf
- [21] TEPELNÁ ČERPADLA PARDUBICE. *Tepelná čerpadla Pardubice - Luční bouda* [online]. 23. září 2022 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: https://www.facebook.com/TepelnacerpadlaPardubice?locale=cs_CZ
- [22] VÍTKOVÁ, Kateřina H. Příběh Luční boudy: od pastoušky přes sídlo nacistů po unikátní pivovar. *iDNES.cz* [online]. 20. červenec 2014 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/hradec-kralove/zpravy/kniha-pribeh-lucni-boudy.A140712_2081437_hradec-zpravy_kvi
- [23] PROUZA, Vladislav. Luční bouda dostala nepříjemný narozeninový dárek, třikrát dražší elektřinu. *novinky.cz* [online]. 17. říjen 2023 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/clanek/domaci-lucni-bouda-dostala-neprijemny-narozeninovy-darek-trikrat-drazsi-elektrinu-40447261>

- [24] IVT TEPELNÁ ČERPADLA. Petrovy boudy - Tepelná čerpadla. *cerpadla-ivt.cz* [online]. 2019 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/petrovy-boudy>
- [25] KAHOUN, Václav. Petrovu boudu už tuto zimu vytápí tepelná čerpadla IVT. *veskom.cz* [online]. 4. únor 2019 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.veskom.cz/aktuality/43/petrovu-boudu-uz-tuto-zimu-vytapi-tepelna-cerpadla-ivt>
- [26] SKUPINA ČEZ. Srovnání ceny a instalace tepelného čerpadla země–voda a vzduch–voda. *cez.cz* [online]. 19. duben 2022 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/clanky/tepelna-cerpadla/srovnani-ceny-a-instalace-tepelneho-cerpadla-zeme-voda-a-vzduch-voda-174089>
- [27] BRILON A.S. Jak často odmrazuje tepelné čerpadlo. *brilon.cz* [online]. 31. srpen 2022 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.brilon.cz/nejcastejsi-dotazy/jak-casto-odmrazuje-tepelne-cerpadlo/>
- [28] PETROVY BOUDY. Apartmány Petrovy Boudy. *petrovyboudy.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://uuapp.plus4u.net/uu-webkit-maing02/99923616732505139-ea720ecde73345babb3294a600887a75/>
- [29] CENTRUM VYTÁPĚNÍ. La Nordica Rosa 4.0 Maiolica - Sporák na tuhá paliva. *centrumvytapani.cz* [online]. 22. březen 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.centrumvytapani.cz/la-nordica-rosa-4-0-maiolica-sporak-na-drevo/>
- [30] ABX KAMNA. ABX kamna krbová, kachlová a krbové vložky ABX. *abx-kamna.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.abx-kamna.cz/p/abx-karelie-3025>
- [31] JÍRA, Tomáš. Způsoby vytápění | Kamnářství Tomáš Jíra. *tomasjira.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.tomasjira.cz/technicke-podklady/>
- [32] EGÚ BRNO, A.S. *Plynárenská soustava ČR* [online]. [map]. 2020. vyd. nedatováno [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/plynarenska-soustava-cr.png>
- [33] KORADO. Příslušenství k otopným tělesům RADIK. *Korado.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/radik-prislusenstvi-radiatoru-radik-1>
- [34] ZNAMENÍ ČTYŘ - ARCHITEKTI. Horská chata I. *znamenictyr.cz* [online]. 2019 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.znamenictyr.cz/cs/projekt/horska-chata-svaty-petr>
- [35] CHATA.CZ. Vyhledávání ubytování region Krkonoše. *chata.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.chata.cz/>

- [36] ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. B.m.: Praha: Český normalizační institut. květen 1994
- [37] VISSMANN. Nástěnný plynový kotel Vitodens 200-W. *viessmann.cz* [online]. 11. červen 2023 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/produkty/vytapeni-plynem/vitodens-200-w.html>
- [38] ČESKÁ PELETA. Porovnání nákladů na vytápění. *ceska-peleta.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://ceska-peleta.cz/porovnaní-nakladu-na-vytapeni/>
- [39] PRIMAGAZ. So funktioniert die Energieversorgung für Hütten und Almen - 6 Vorteile von Flüssiggas. *Gschichten.com* [online]. 15. března 2019 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://gschichten.com/themen/wirtschaft/energieversorgung-fur-abgelegene-regionen>
- [40] TOME GAS S.R.O. Kam umístit nádrž na kapalný propan? *tzb-info.cz* [online]. 15. únor 2021 [vid. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/21855-kam-umistit-nadrz-na-kapalny-propan>
- [41] VISSMANN. Tepelná čerpadla vzduch/voda a vše o nich. *viessmann.cz* [online]. 5. červen 2023 [vid. 2024-01-12]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/technologie/tepelna-cerpadla/vse-o-tepelnych-cerpadlech-voda-vzduch.html>
- [42] ČEJKA, Michal. Novela vyhlášky č. 78/2013 Sb. (264/2020 Sb.); Část 3: Nastavení faktorů primární energie z neobnovitelných zdrojů. *tzb-info.cz* [online]. 26. květen 2020 [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/20716-novela-vyhlasiky-c-78-2013-sb-cast-3-nastaveni-faktoru-primarni-energie-z-neobnovitelnych-zdroju>
- [43] CANKAŘ, Petr, Tomáš DLOUHÝ, Jaroslav KUBA a Jan SUCHÁNEK. Kotle pro vytápění. In: *Topenářská příručka, 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. První vydání. Praha: Gas, 2001. ISBN 80-86176-81-9.
- [44] PROJEKTUJ TEPELNÁ ČERPADLA. Kotel na dřevo nebo krb připojený k tepelnému čerpadlu. *projektuj-tepelna-cerpadla.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/kotel-na-drevo-nebo-krb-pripojeny-k-tepelnemu-cerpadlu>
- [45] VISSMANN. Akumulační zásobníky na ohřev vody. *viessmann.cz* [online]. 5. červen 2023 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/technologie/ohrivace-vody/akumulacni-zasobnik.html>
- [46] VATERM KRBY - KRBY VAŇO. Krbová vložka s teplovodním výměníkem. *marketsk.mennofolk.org* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné

- z: <https://marketsk.mennofolk.org/content?c=schema+zapojenia+teplvodnej+krbovej+vlo%C5%BEky&id=23>
- [47] *Zákon č. 201/2012 Sb., Zákon o ochraně ovzduší* [online]. 13. červen 2012. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201#cast4>
- [48] HAAS+SOHN RUKOV. Vychlazovací smyčka. *haassohn-rukov.cz* [online]. [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.haassohn-rukov.cz/vase-plus/vychlazovaci-smycka>
- [49] LYČKA, Zdeněk. Proč pevná paliva, nyní biomasa, pro malé spalovací zdroje? *vytapani.tzb-info.cz* [online]. 22. říjen 2020 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/21327-proc-pevna-paliva-nyni-biomasa-pro-male-spalovaci-zdroje>
- [50] NOVITERA. Kotel na slámu Q PLUS AGRO. *novitera.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.novitera.cz/produkty/kotel-na-slamu-q-plus-agro/>
- [51] CSTFIRE S.R.O. Automatické kotle HAMONT na biomasu. *cstfire.com* [online]. [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.cstfire.com/cs/uvod/>
- [52] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Zákaz starých kotlů. *jakspravnetopit.cz* [online]. 23. duben 2022 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://jakspravnetopit.cz/zakaz-starych-kotlu/>
- [53] ČESKÁ PELETA. Kotelna a sklad dřevěných pelet. *ceska-peleta.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://ceska-peleta.cz/vytapani/skladovani-paliva/>
- [54] LYČKA, Zdeněk. Cena dřevních pelet opět klesla pod 10 Kč za kilo. Vysvětlujeme, proč k cenovému výkyvu došlo. *ceska-peleta.cz* [online]. 8. únor 2023 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://ceska-peleta.cz/clanky-klastru/cena-drevnich-pelet-opet-klesla-na-10-kc-za-kilogram-vysvetlujeme-proc-k-cenovemu-vykyvu-doslo/>
- [55] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Průměrné ceny surového dříví pro tuzemsko za ČR v roce 2022* [online]. B.m.: ČSÚ. 6. únor 2023. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/165384774/01103522q405.pdf/8b3a1353-722c-4cf0-8133-e0a0bbb5d9cd?version=1.1>
- [56] BLAZE HARMONY. Kotel na dřevo BLAZE GREEN. *blazeharmony.com* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.blazeharmony.com/cs/www/kotle-na-drevo/zplynovaci-kotel-blaze-green#params>
- [57] JAROSLAV CANKAŘ A SYN ATMOS. Zplynovací kotle na dřevo - Dokogen. *atmos.eu* [online]. 2024 [vid. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/produkt/zplynovaci-kotle-na-drevo-dokogen/>

- [58] JAROSLAV CANKAŘ A SYN ATMOS. Zapojení kotlů na pevná paliva ATMOS. *atmos.eu* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/instalace-kotlu/>
- [59] JAROSLAV CANKAŘ A SYN ATMOS. Kombinovaný kotel na dřevo a pelety. *atmos.eu* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/produkt/kombi-kotle-na-drevo-a-pelety/>
- [60] ŠPUNDA, Kateřina. Sušíme a skladujeme dřevo na topení. *Optimtop.cz* [online]. 4. duben 2023 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.optimtop.cz/susime-a-skladujeme-drevo-na-topeni/>
- [61] JAROSLAV CANKAŘ A SYN ATMOS. *Prospekt ATMOS Kombinované kotle* [online]. únor 2024. Dostupné z: https://www.atmos.eu/wp-content/uploads/2020/12/SPOJENY_CZ_02_24.pdf
- [62] PETÁKOVÁ, Helena. Roubené stavby v Krkonoších z pohledu ochrany krajiny. *drevoastavby.cz* [online]. 26. duben 2013 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/dum-na-bazi-dreva/151-o-drevostavbach/2186-roubene-stavby-v-krkonosich-z-pohledu-ochrany-krajiny>
- [63] LYČKA, Zdeněk. Pohledem znalce: Povinné zapojení bezpečnostního dochlazování zdrojů tepla na pevná paliva. *vytapani.tzb-info.cz* [online]. 25. září 2018 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/17965-pohledem-znalce-povinne-zapojeni-bezpecnostniho-dochlazovani-zdroju-tepla-na-pevna-paliva>
- [64] RÁŽ, Jiří V. Fyzikální vlastnosti nemrznoucích směsí a navrhování soustav. *vytapani.tzb-info.cz* [online]. 1. listopad 2010 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/6899-fyzikalni-vlastnosti-nemrznoucich-smesi-a-navrhovani-soustav>
- [65] NEJLEVNĚJŠÍ KAMNA. Krbová kamna litinová Kratki Koza K9 černá. *nejlevnejsi-kamna.cz* [online]. 20. březen 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.nejlevnejsi-kamna.cz/krbova-kamna-litinova-kratki-koza-k9/>
- [66] NEJLEVNĚJŠÍ KAMNA. Krbová kamna Prity K2 -černá. *nejlevnejsi-kamna.cz* [online]. 20. březen 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.nejlevnejsi-kamna.cz/krbova-kamna-prity-k2/>
- [67] UCB TECHNOMETAL. Litina. *www.unibar.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.unibar.cz/litina>
- [68] PLCH, Ladislav. Ocelová krbová kamna. *kamnakrbyplch.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.kamnakrbyplch.cz/www-kamnakrbyplch-cz/eshop/19-1-Kamna-krbova-ocelova-9-12-KW>

- [69] PLCH, Ladislav. Litinová křbová kamna. *kamnakrbyplch.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.kamnakrbyplch.cz/www-kamnakrbyplch-cz/eshop/6-1-Kamna-krbova-litinova>
- [70] HAAS+SOHN RUKOV. Kachlová kamna. *www.haassohn-rukov.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.haassohn-rukov.cz/inspirace-a-tipy/kachlova-kamna>
- [71] BLIST. Křbová kamna na pelety BLIST Optima 8 eko. *dumzahrada.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.dumzahrada.cz/p/krbova-kamna-na-pelety-blist-optima-8-eko/>
- [72] HAAS+SOHN RUKOV. Kachlová kamna. *haassohn-rukov.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.haassohn-rukov.cz/inspirace-a-tipy/kachlova-kamna>
- [73] BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 978-80-01-02365-5.
- [74] ŠIGUT, Petr. Stavba křbu svépomocí: 1. díl – Úvod, co je to křb, základní typy křbu. *nejenkrby.cz* [online]. 2018 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.nejenkrby.cz/navody/stavba-krbu-1-dil-uvod-co-je-to-krb-zakladni-typy-krbu>
- [75] ROMOTOP. Novinka mezi křbovými vložkami firmy Romotop Heat U 2G L 42.52.70.21. *homebydleni.cz* [online]. 11. květen 2018 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/dum/vytapeni/novinka-krbovymi-vlozkami-firmy-romotop/>
- [76] ROMOTOP. Křbová vložka Romotop HEAT T 3G 70.50.01. *topenilevne.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/romotop-krbova-vlozka-heat-t-3g-70-50-01-pruhledove-p78194/>
- [77] ČSN 73 4230. *Křby s otevřeným a uzavíratelným ohništěm*. B.m.: Praha: ÚNMZ. leden 2014
- [78] KAMNA KRBY KUTNÁ HORA. Typy vytápění. *kamnarstvi-kutnahora.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <http://www.kamnarstvi-kutnahora.cz/typy-vytapeni>
- [79] KABELE, Karel. Teplovzdušné vytápění obytných budov a domů. In: *Topenářská příručka, 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. První vydání. Praha: Gas, 2001. ISBN 80-86176-81-9.
- [80] BULLERJAN. Bullerjan INDUSTRY 6kW typ 00 000 1000. *piec.com.pl* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://piec.com.pl/piec-bullerjan-industry-6kw-typ-00-000-1000-p-183.html>

- [81] NEJLEVNĚJŠÍ KAMNA. Krbová vložka Prity CF. *nejlevnejsi-kamna.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.nejlevnejsi-kamna.cz/krbova-vlozka-prity-cf-vzduchovod/>
- [82] TEMR, Jan. Stavíme dům – teplovzdušný krb ani omylem. *temr.cz* [online]. 20. červen 2017 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.temr.cz/stavime-dum-teplovzduzny-krb-ani-omylem/>
- [83] BLÁHA, David. Porovnání topidel. Jak to s nimi je? *primotopy.eu* [online]. 15. prosinec 2022 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.primotopy.eu/video-radce-a94/porovnani-topidel-jak-to-s-nimi-je/>
- [84] BLÁHA, David. Topné panely - Infračervené topné panely - Infrapanely. *primotopy.eu* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.primotopy.eu/infracervene-topne-panely-a69/>
- [85] VZDUCHOTECHNIKA-VENTILÁTORY. Elektrický přímotop Basic PRO 500 W. *vzduchotechnika-ventilatory.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.vzduchotechnika-ventilatory.cz/elektricky-primotop-basic-pro--500-w/>
- [86] ELÍZ. Elíz EQH 150 Nástěnný koupelnový infrazářič 500/1000/1500 W. *koupelny-sen.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.koupelny-sen.cz/eliz-eqh-150-nastenny-koupelny-infrazaric-500-1000-1500-w/>
- [87] ROEDL, Jindřich. Proč se vyplatí topit olejovými radiátory? *dek.cz* [online]. 25. říjen 2021 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/akce/detail/470>
- [88] KORADO. *Trubková otopná tělesa* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/trubkova-otopna-telesa>
- [89] ČEZ PRODEJ, A.S. *Ceník elektřiny pro domácnosti* [online]. 1. leden 2024. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2024/moo/moo_ee_na_dobu_neurcitou_01_2024_cez.pdf
- [90] JIPOS. Olejový radiátor s termostatem. *jipos.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.jipos.cz/produkt/olejovy-radiator-topeni11-zeber-2500w-pm-gol-3000dlw-powermat/>
- [91] BLÁHA, David. Termostaty a regulace. *primotopy.eu* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.primotopy.eu/regulace-a70/>
- [92] FAUST, Johan C. Infrarotheizung in alpiner Berghütte, VASNER. *vasner.com* [online]. 7. prosinec 2020 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.vasner.com/de/infrarotheizung-alpine-berghuette-wanderhuette-bremer-huette/>

- [93] ELEKTROBOCK. Tepelně spínaná zásuvka. *elektrobock.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.elektrobock.cz/tepelne-spinana-zasuvka/p1802>
- [94] IVT TEPELNÁ ČERPADLA. IVT AERO. *cerpadla-ivt.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/ivt-aero>
- [95] BARTÁK, Martin. Základy sdílení tepla. In: *Topenářská příručka, 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. První vydání. Praha: Gas, nedatováno. ISBN 80-86176-81-9.
- [96] JIROUT, Tomáš. In: *Mechanismy přenosu tepla, Fourier-Kirchhoffova rovnice, stacionární vedení tepla*. [přednáška], Praha: FS ČVUT v Praze. 25. březen 2024.
- [97] STURM, Matthew, Jon HOLMGREN, Max KÖNIG a Kim MORRIS. The thermal conductivity of seasonal snow. *Journal of Glaciology* [online]. 1997, (vol. 43), pag. 26-41. ISSN 0022-1430, 1727-5652. Dostupné z: doi:10.3189/S0022143000002781
- [98] INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CRYOSPHERIC SCIENCES. *The International classification for seasonal snow on the ground - UNESCO Digital Library* [online]. B.m.: International Hydrological Programme (IHP) of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). 2009 [vid. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000186462>
- [99] THE ENGINEERING TOOLBOX. Ice - Thermal Properties. *engineeringtoolbox.com* [online]. 2004 [vid. 2024-05-02]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/ice-thermal-properties-d_576.html
- [100] THE ENGINEERING TOOLBOX. Air - Thermal Conductivity vs. Temperature and Pressure. *engineeringtoolbox.com* [online]. 2009 [vid. 2024-05-02]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-viscosity-conductivity-heat-capacity-d_1509.html
- [101] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. *Větrání a klimatizace*. 3., zcela přeprac. vyd. Brno: Bolit-B Press, 1993. ISBN 978-80-901574-0-8.
- [102] RYŠAVÝ, Zdeněk. Porovnání výpočtu RD podle ČSN 06 0210 a ČSN EN 12831. *tzb-info.cz* [online]. 25. září 2006 [vid. 2024-05-04]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/3555-porovnani-vypoctu-rd-podle-csn-06-0210-a-csn-en-12831>
- [103] HORIA. Table 1: Thermal conductivities of some sedimentary rock forming. *researchgate.net* [online]. 1971 [vid. 2024-05-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Thermal-conductivities-of-some-sedimentary-rock-forming-minerals-and-some-fluids_tbl1_281107300
- [104] GRAY, A. S. a C. UHER. Thermal conductivity of mica at low temperatures. *Journal of Materials Science* [online]. 1977, **12**(5), 959–965. ISSN 0022-2461, 1573-4803. Dostupné z: doi:10.1007/BF00540978

- [105] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. B.m.: Praha: Český normalizační institut. 1994
- [106] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. B.m.: Praha: Český normalizační institut. 1995
- [107] PRITY 95 LTD. *Technical description and operation instructions, fireboxes to build in with air heat exchanger* [online]. 2006. Dostupné z: <https://prity-bg.com/downloads>
- [108] ČSN EN 1991-1-3. *Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. B.m.: Praha: Český normalizační institut. 2005
- [109] BODART & GONAY. *INSTALACE A PROVOZ KAMEN BODART & GONAY* [online]. Dostupné z: https://www.krbova-kamna.com/produkty/treti/n2139_navod-kamna-bgonay.pdf
- [110] KOVOPLAST. Český návod k použití Sporák na tuhá paliva Kovoplast REKREANT 2-91 L, Český návod k použití. navod-k-pouziti.cz [online]. 2024 [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.navod-k-pouziti.cz/sporak-na-tuha-paliva-kovoplast-rekreant-2-91-l-6-2-kw-bv-41828-manual>
- [111] BULLERJAN. Bullerjan FreeFlow FF17 Typ 01 (10 kW). bullerjan.com [online]. 2024 [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://bullerjan.com/products/bullerjan-free-flow-ff17-typ-01>
- [112] ŠIGUT, Petr. Stavba krbu: 5. díl – Volba materiálu pro obestavbu teplovzdušného krbu. nejenkrby.cz [online]. 31. srpen 2020 [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.nejenkrby.cz/navody/stavba-krbu-5-dil-volba-materialu-pro-obestavbu-teplovzdušneho-krbu>
- [113] VENTILÁTORÝ.CZ. Filtr vzduchu do potrubí pro zachytávání nečistot Ø 125 mm. ventilatory.cz [online]. 2024 [vid. 2024-05-07]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/filtr-vzduchu-do-potrubí-pro-zachytavani-necistot-o-125-mm-x1689>
- [114] NEJENKRBY. Klapka ø125 mm. nejenkrby.cz [online]. 2024 [vid. 2024-05-07]. Dostupné z: <https://www.nejenkrby.cz/pt-klapka-125-mm-s-pevnym-tahlem-pozink/p-9282>
- [115] NOŽIČKA, Jiří. *Základy termomechaniky*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 978-80-01-02409-6.
- [116] JIROUT, Tomáš, Radek ŠULC a Jiří MORAVEC. *Pomocník, Přenos hybnosti, tepla a hmoty*. B.m.: Praha. 4. únor 2020
- [117] JELÍNEK, Vladimír a Anna BRADÁČOVÁ. Posuzování tepelně izolačních vlastností teplovodního potrubí II. Část 2 – Teoretické zásady ochlazování vody při průtoku. tzb-info.cz [online]. 20. červen 2016 [vid. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/potrubí-a-armatury/14362-posuzovani-tepelne-izolacnich-vlastnosti-teplovodního-potrubí>

- [118] IDELCHIK, Isaak Evseevič. *Handbook of hydraulic resistance, Coefficients of Local Resistance and of Friction*. první vydání. Přel. A BAROUCH. Washington D. C.: Israel Program for Scientific Translations, 1966.
- [119] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Větrání*. 1. vyd. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05181-8.
- [120] DALAP. Potrubní ventilátor radiální Dalap TURBINE M Ø 125 mm. *ventilatory.cz* [online]. 2024 [vid. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/potrubni-ventilator-radialni-dalap-turbine-m-o-125-mm-x11373>

PŘÍLOHY

Přílohy na přiloženém CD:

Příloha č. 1 – Výpočet tepelných ztrát

Příloha č. 2 – Výpočty spojené s návrhem krbu a teplovzdušnými rozvody