



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**ENERGETICKÉ NÁROKY KRYTÉHO LYŽAŘSKÉHO
SVAHU**

THE ENERGY DEMAND OF AN INDOOR SKI SLOPE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondrej Mozola

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Bc. Ondrej Mozola
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Energetické inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Energetické nároky krytého lyžařského svahu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce je zaměřeno na problematiku krytých lyžařských svahů, jejichž provoz je spojen se značnými energetickými nároky. V rámci práce bude zpracována stručná rešerše uvedené problematiky, dohledána realizovaná pilotní řešení a identifikovány související energetické toky v systémech energetického zásobování krytých zasněžených svahů. V rámci vlastního řešení budou posouzeny nároky dílčích technologií zajišťujících chlazení krytého prostoru a mrazení vody při umělém zasněžování. Navrženy budou dílčí prvky související s technologií výroby chladu. Identifikovány budou energetické požadavky zadaného krytého svahu. Následně bude navržen způsob zajištění požadované dodávky energií. Návrh bude v závěru práce bilančně zhodnocen.

Cíle diplomové práce:

1. Zpracujte rešerši problematiky krytých lyžařských svahů a představte dohledatelná realizovaná řešení.
2. Pro zadaný lyžařský svah zpracujte návrh použitých technologií chlazení a stanovte energetické nároky.
3. Navrhněte vhodný způsob zajištění energetických požadavků a navržený systém bilančně zhodnoťte z pohledu ročního provozu.

Seznam doporučené literatury:

PAVELEK, M., Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 9788021443006.

KANDLIKAR, S., Masahiro, S. a DHIR, V., Handbook of phase change: boiling and condensation. Philadelphia, PA: Taylor, xvii, 738 p., 1999. ISBN 15-603-2634-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakult

Abstrakt

Táto diplomová práca sa venuje problematike energetických nárokov na prevádzku krytých lyžiarskych svahov. Prvá časť je venovaná rešerši výroby snehu, chladenia a konštrukčných spôsobov stavby krytých hál s príkladmi konkrétnych projektov. V druhej časti bolo cieľom navrhnuť halu s konkrétnou geometriou a izoláciou a potom definovať straty takejto budovy. Následne boli určené všetky súvisiace energetické toky, ktoré viedli k stanoveniu potrebného chladiaceho výkonu. Na základe toho bol spočítaný chladiaci cyklus a stanovená potreba elektrickej energie na prevádzku haly počas roka. V tretej časti sú zhodnotené tri možnosti pokrytia potrieb elektrickej energie a zároveň sú porovnané z hľadiska finančných nákladov v priebehu roka.

Abstract

This diploma thesis deals with the issue of energy requirements for operation of indoor ski slopes. The first part is dedicated to research of snow making, cooling and construction methods of ski halls along with the examples of specific projects. In the second part, the aim was to design a ski hall with specific geometry and insulation and then define energy losses of such building. Subsequently, all related energy flows were calculated, which led to the determination of the required cooling capacity. Based on this, the cooling cycle was calculated and the overall electricity demand for the operation of the ski hall during the year was set. In the third part, three options for covering electricity needs are evaluated and at the same time they are compared in terms of financial costs during the year.

Kľúčové slová

kryté lyžiarske haly, umelý sneh, chladenie

Key words

indoor ski halls, artificial snow, refrigeration

Bibliografická citácia

MOZOLA, Ondrej. *Energetické nároky krytého lyžařského svahu*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132255>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu na tému: *Energetické nároky krytého lyžařského svahu* vypracoval samostatne. K jej vypracovaniu boli použité zdroje informácií uvedené v zozname použitých zdrojov.

V Brne dňa 11.5. 2021

Ondrej Mozola

Pod'akovanie

Moje pod'akovanie patrí vedúcemu mojej diplomovej práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi Ph.D. za časté a cenné konzultácie a odborné rady poskytnuté počas vypracovávanía diplomovej práce.

Obsah

Úvod.....	11
1 Umelý sneh	12
1.1 Výroba	13
1.1.1 Vlhký vzduch	14
1.1.2 Teplota mokrého teplomera	16
1.2 Vonkajšie zasnežovanie	17
1.2.1 Ventilátorové snežné delá	17
1.2.2 Tyčové snežné delá	18
1.3 Vnútorne zasnežovanie	19
2 Chladenie	21
2.1 Chladivá	23
2.1.1 Anorganické chladivá	24
2.1.2 Uhľovodíky	25
2.1.3 Halogenované uhľovodíky	25
2.2 Izolačné materiály	26
2.2.1 Polyuretán	27
2.2.2 Polystyrén	28
3 Lyžiarske haly	30
3.1 Ekonomika	32
3.2 Vplyv na životné prostredie	33
3.3 Štandardy realizácií vo svete	33
3.3.1 SNØ Arena, Nórsko	34
3.3.1 Alpincenter Bottrop, Nemecko	35
3.3.2 Ski Dubai, Spojené arabské emiráty	36
3.3.3 Snow arena, Litva	37
3.3.4 Lyžiarska hala Donovaly	38
4 Vlastný návrh lyžiarskej haly	40
4.1 Základy konštrukcie haly	41
4.2 Geometria haly	42
4.3 Izolácia	43
4.4 Návrh rozmerov	45
4.5 Návrh obálky	46
4.5.1 Steny a strecha	46
4.5.2 Svah	47
4.6 Výpočet tepelných odporov povrchov haly	48
5 Dimenzovanie chladiaceho systému	51
5.1 Stanovenie chladiaceho výkonu	51
5.1.1 Tepelné mosty	54
5.1.2 Iné zdroje tepla	54

5.1.3	Vetrание	55
5.1.4	Podchládenie pri zasnežovaní	57
5.2	Výpočet chladiaceho cyklu	59
6	Stanovenie energetických nárokov	63
6.1	Energetická bilancia haly v priebehu roka	63
6.2	Spotreba elektrickej energie	66
7	Spôsobý zaistenia energetických požiadaviek lyžiarskej haly	69
7.1	Elektrina zo siete	70
7.2	Fotovoltaika	70
7.3	Kogeneračná jednotka	76
7.4	Zhodnotenie výsledkov	79
	Záver	81
	Zoznam použitých zdrojov	82

Úvod

Napriek tomu, že zimné športy sú medzi populáciou veľmi obľúbené, ich najväčším negatívom je závislosť na počasi. Nápad umelo vytvoriť a regulovať vhodné chladné podmienky bez potreby spoliehať sa na prírodu je preto veľmi atraktívny. Vytvorenie chladného uzavretého prostredia v teplejších oblastiach prináša úplne nové možnosti rozvoja takýchto športov a zároveň umožňuje športovať v chladnejších oblastiach aj mimo zimnej sezóny. Využitie výroby chladu v uzavretom prostredí pre športoviská nie je nič nové, hokejové štadióny tento princíp využívajú už dlhé roky. Použitie rovnakého princípu pri zjazdovom a bežeckom lyžovaní je však relatívne nový, aj keď veľmi rýchlo stúpajúci trend. V prevádzke sú dnes už desiatky krytých lyžiarskych svahov po celom svete a ich počet kvôli ich obľúbenosti neustále pribúda.

Vo všetkých odvetviach je však výroba chladu spojená so značnými energetickými požiadavkami. Za cenu dodávanej energie je teplo odvádzané z uzavretého priestoru preč do okolia. Pre zabezpečenie stálych podmienok na prevádzku krytých zimných športovísk je tento proces nutné konštantne udržiavať. Preto je každý ušetrený kilowatt energie veľmi cenný. Tieto energetické nároky sú výrazne závislé na lokalite haly a priemernej teplote vzduchu. Výstavbu takýchto projektov však teplota vzduchu nijako nelimituje a preto je možné priniesť lyžovanie aj napríklad do púštnych oblastí. Najviac takýchto projektov vyrástlo v oblastiach, kde je medzi ľuďmi o zimné športy záujem (Holandsko, Nemecko, Veľká Británia). V praxi sa však nájdu prípady umiestnenia krytého svahu od tých najteplejších (Dubaj, Káhira), až po tie najchladnejšie oblasti (Oslo).

Hlavným cieľom teoretickej časti diplomovej práce je urobiť prehľad o problematike lyžiarskych hál a priblížiť všetky podmienky, na ktorých závisí výroba umelého snehu a chladu. Ďalšia časť bude venovaná postupom pri výstavbe lyžiarskych hál a aj realizovaným projektom. Práca bude pokračovať vlastným návrhom konkrétnej haly s určením jej tepelných strát. Ďalej budú určené všetky energetické toky, ktorých pokrytie bude zabezpečovať chladiaci obeh. Postup určenia energetických nárokov na prevádzku haly bude vychádzať z výpočtu chladiaceho výkonu a potreby elektrickej energie počas roka. Všetky výsledky budú zhodnotené a porovnané v priebehu roka. Posledná časť bude venovaná možnostiam zaistenia energetických požiadaviek, kde budú navrhnuté tri spôsoby pokrytia spotreby elektrickej energie. Výsledky budú bilančne zhodnotené z hľadiska potrebných a spotrebovaných energií, rovnako ako z hľadiska finančných nákladov pre konkrétne riešenie.

1 Umelý sneh

Lyžiarska hala je objekt, v ktorom je cieľom replikovať zimné podmienky vonkajšieho prostredia za spotrebovania elektrickej energia. Prevádzka lyžiarskej haly si vyžaduje zabezpečenie dvoch energeticky náročných dejov: výroby umelého snehu a výroby chladu. Oba tieto deje sú vzájomne prepojené a budú popisované v nasledujúcich kapitolách. Aby bolo možné navrhovať systém zasnežovania a chladenia vo vnútornom prostredí, je najskôr nutné zhrnúť termomechanické princípy výroby snehu a veličiny, na ktorých tvorba snehových častíc závisí.

Mnohé zimné športy ako zjazdové a bežecké lyžovanie sú závislé na súvislej snehovej pokrývke. Prírodzene napadaného snehu však občas býva aj v zimných mesiacoch nedostatok. Aby padal prírodný sneh sú dôležité zrážky a nízke, zväčša mínusové teploty. Inak povedané, sú potrebné dve veci: voda a chlad. Na prírodu sa však spoliehať nedá, obzvlášť v krajinách, ktorých geografická poloha a celkové klimatické podmienky nezaručujú poriadne zimy s pravidelným snežením. Prírodné podmienky je však možné obísť za cenu dodávania energie, kde obe zložky výroby snehu je možné umelo nahradiť. To vedie k výrobe umelého, technického snehu. Častejšie využitie umelého snehu je vo vonkajšom prostredí v prípadoch, keď v zime pravidelne bývajú teploty pod bodom mrazu. Vtedy je možné aj za pomoci prúdu chladného vzduchu z okolia a dodávanej vody sneh umelo vyrobiť. Tým za cenu čerpania vody obídeme potrebu zrážok. Vždy je ale nevyhnutné chladné okolité prostredie s vyhovujúcou vlhkosťou, preto je vonkajšia výroba umelého snehu stále závislá na teplote a vlhkosti okolitého vzduchu. Ak však zimné športy presunieme do uzavretého priestoru, kde je možné kontrolovať a upravovať podmienky okolia podľa potreby, vytvoríme aj vyhovujúce prostredie. Tým eliminujeme aj druhú podmienku na výrobu snehu vo forme vyrobeného chladu, ktorú nám príroda nevie stabilne zaručiť. V krajinách so slabými, teplými zimami to viedlo k nápadu presunúť lyžovanie do uzavretých izolovaných hál, kde výroba snehu a chladu funguje súčasne a prírodný vplyv na chlad a zrážky je eliminovaný.

Metóda tvorby umelého snehu vo vonkajšom prostredí sa využíva už od 60tych rokov minulého storočia a postupom času sa zdokonaľovala. Umelý sneh je nenahraditeľný hlavne v prechodných oblastiach ako je Slovensko a Česko, kde sú snehové zrážky zriedkavejšie a lokálne. Zrážky počas zimných mesiacov sú u nás v nižšie položených oblastiach väčšinou dažďové, na horách je snehu viac ale určite nie dostatok a určite nie všade a vždy. Situácii nepomáha ani globálne otepľovanie a zvyšujúca sa priemerná teplota vzduchu. Sneh by sme však chceli mať na športové a rekreačné účely počas celej zimy minimálne v oblastiach určených na zimné športy, ako sú lyžiarske strediská alebo bežkárske dráhy. Lokálnym vytváraním umelej snehovej pokrývky tak aspoň čiastočne eliminujeme závislosť zimných športov na klimatických podmienkach. Bez tvorby umelého snehu by sa na našom území lyžovalo len na vysoko položených miestach a rozhodne nie od novembra/decembra do marca/apríla. Tvorba umelého snehu však jednoznačne nájde svoje využitie aj v krajinách, kde je sneh samozrejmosťou. Každé alpské stredisko má vybudovanú infraštruktúru umelého zasnežovania. V opačnom prípade by totiž využívanie kopcov a lanoviek bolo aj v tých najvyšších nadmorských výškach závislé výhradne na prírode. A ku neskorému otvoreniu strediska stačí veľmi málo, napríklad november bez zrážok. Skrátka, každé väčšie ale aj menšie lyžiarske stredisko, ktoré chce svoje

služby ponúkať čo najväčšiu časť roka, musí mať vybudovanú sieť snehových diel s prívodom vody, ideálne aj svoju vodnú zásobu z umelo vytvorenej nádrže, prípadne z priľahlého jazera. Výroba technického snehu je spojená so značnými finančnými nárokmi, bez počiatocnej investície do nákladov na zasnežovanie na začiatku sezóny by sa však mohlo stať, že stredisko nebude v prevádzke vôbec. Obzvlášť menšie strediská by v takej situácii len veľmi ťažko preživali po ekonomickej stránke.

Pri uzavretých halách je ale situácia odlišná. Vnútorňa tvorba umelého snehu vytvára stále prevádzkové náklady na tvorbu chladu a snehu, pretože priaznivé klimatické podmienky vo vonkajšom prostredí vnútorným strediskám pomôžu len do určitej miery. Najväčšie využitie však kryté svahy nachádzajú v krajinách, kde vonkajšie strediská skrátka nemôžu existovať či už kvôli klimatickým podmienkam, alebo kvôli absencii pohorí. Preto je niekoľko lyžiarskych hál v prevádzke v krajinách ako Veľká Británia, Nemecko alebo Holandsko. Využitie však nájdú aj ako letná prevádzka v krajinách, kde sú zimné športy obľúbenejšie. V takýchto krajinách bude o podobné projekty tiež veľký záujem, keďže zimné športy v nich majú tradíciu. Navyše vonkajšie podmienky nijako neobmedzujú výstavbu takýchto hál a preto môžu vyrásť aj v extrémne teplých oblastiach. Zimné športy je takto možné priniesť aj do oblastí, kde prírodný sneh bežný človek nikdy nevidel, ako napríklad Egypt alebo Dubaj.



Obrázok 1: Lyžiarska hala v Dubaji [10]

1.1 Výroba

Výroba umelého snehu spočíva z rozprašovania vody na malé prachové kvapôčky do prúdu chladného vzduchu. Teplota vzduchu sa musí samozrejme pohybovať v záporných hodnotách, ideálne aj niekoľko stupňov pod nulou, a zároveň musí byť vhodná vlhkosť ovzdušia, aby vyrábaný sneh nebol príliš mokry a mal potrebnú kvalitu. Vonkajšiu produkciu snehu zásadne ovplyvňuje aj vietor, ten môže značne ovplyvniť miesto dopadu snehových častíc. Pri veľmi prudkom prípadne veľmi premenlivom vetre sa preto snehové delá vypínajú. Práve kvôli nízkym teplotám a taktiež kvôli lacnejšiemu tarifu elektriny sa zasnežovanie ideálne spúšťa počas noci,

či už je to vonku alebo v hale. Naviac by počas dňa padajúci umelý sneh znepríjemňoval život lyžiarom.

Dostatočná suchosť snehu je dôležitá kvôli dobrej manipulácii a aby sa po jeho distribúcii a vyrovnaní vytvorila kompaktná vrstva na celom svahu, ktorá vydrží čo najdlhšie. Všetko to je o tom maximálne využiť vynaložené peniaze na výrobu a zabezpečiť čo najkvalitnejšie podmienky pre lyžiarov. Prevádzkovatelia lyžiarskych stredísk dobre vedia, že kvalita zjazdovky a snehového podkladu je jeden z rozhodujúcich faktorov, podľa ktorého sa lyžiari do strediska vracajú.

Celá výroba technického snehu je dnes regulovaná a automatizovaná. Vo vonkajšom prostredí podľa klimatických a poveternostných podmienok buď manuálne na jednotlivých častiach zasnežovacieho systému, alebo hlavne vo väčších strediskách centrálné z veliaceho centra. Súčasťou každého moderného snežného dela je meteostanica, ktorá zaznamenáva okamžité okolité podmienky a posieľa tento signál do veliaceho centra. Odtiaľ operátori môžu upraviť parametre na optimálnu produkciu snehu buď na diaľku, alebo sadnúť na snežný skúter a manuálne prispôbiť ventily prietoku vody a vzduchu, prípadne natočiť delo a podobne. Mnohé zmeny v počasí vie systém vyhodnocovať aj sám, prípadne sa sám vypnúť pri nevyhovujúcich podmienkach. Pri lyžiarskych halách je situácia jednoduchšia a väčšinu z týchto problémov nie je nutné uvažovať, pretože sú už pred snežením vytvorené optimálne podmienky, ktoré sa počas produkcie snehu len udržiavajú.

Sneh sa v oboch prípadoch produkuje lokálne v priestore pod delom a je nutné tento objem z vytvorenej kopy rovnomerne rozťahnuť po svahu. Na to sa používa ťažká technika vo forme ratrákov. Tie prednou radlicou posúvajú a zarovnávajú veľké kusy snehu, pásmi tento sneh rozomelú a frézou v zadnej časti stroja ho vyrovnávajú na finálny rovný povrch. Spotreba paliva takýchto strojov sa pohybuje okolo 25 až 30 litrov nafty za hodinu prevádzky. Preto produkcia snehu mimo požadované miesta samozrejme len pridáva prácu na rovnomerné rozmiestnenie snehu a zvyšuje finančné náklady. Z toho dôvodu je veľmi dôležité ešte pred spustením zasnežovania poriadne rozmyslieť a rozplánovať rozmiestnenie jednotlivých zariadení produkujúcich technický sneh. V lyžiarskych halách sú snežné delá spravidla rozmiestnené napevno, preto sa na rovnomernú tvorbu snehu musí myslieť už pri návrhu haly.

1.1.1 Vlhký vzduch

Keďže sa pri výrobe umelého snehu používa okolitý vzduch, pre prebiehajúce termodynamické deje pri jeho vzniku platia vzťahy, diagramy a tabuľky vlhkého vzduchu. Vlhký vzduch môžeme charakterizovať ako zmes suchého vzduchu a vlhkosti. Podľa obsahu vlhkosti potom vlhký vzduch delíme na nenasýtený, nasýtený a presýtený. Okrem tabuliek vlhkého vzduchu sa na zistenie základných veličín a priebehu dejov používa Mollierov h - x diagram vlhkého vzduchu. Jeho konštrukcia pozostáva z priamok a kriviek hodnôt teploty t , mernej entalpie h , mernej vlhkosti x , parciálneho tlaku vodnej pary p_p a relatívnej vlhkosti φ pre určitý stav vlhkého vzduchu. Diagram a tabuľky veličín vlhkého vzduchu sú vytvorené pre určitý tlak, zvyčajne atmosférický (100 kPa). Takýto tlak zodpovedá aj reakcii mrznutia zmesi studeného vzduchu a privádzanej vody mimo snežného dela, ktoré tiež prebieha pri atmosférickom tlaku okolia. Pre výrobu umelého snehu je okrem teploty ovzdušia dôležitá relatívna vlhkosť vzduchu φ . Relatívna vlhkosť vyjadruje pomer medzi

vlhkosťou obsiahnutou vo vzduchu ku maximálnej vlhkosti, ktorú by vzduch vedel prijať. To je matematicky charakterizované nasledujúcim vzťahom. [1]

$$\varphi = \frac{p_p}{p_p''} \quad (1)$$

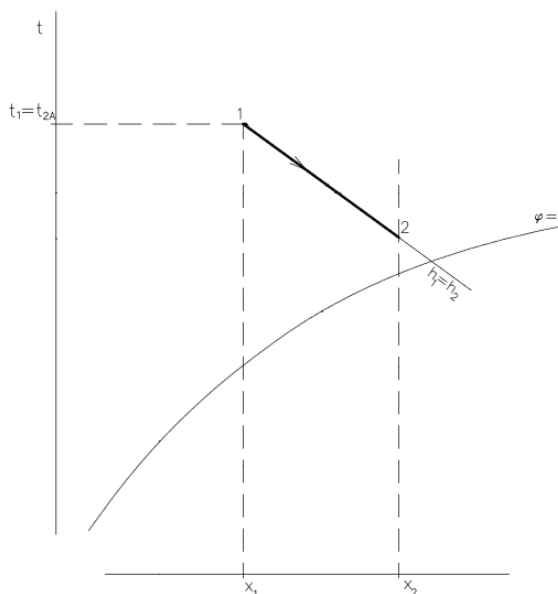
p_p parciálny tlaku vodnej pary (nenасыtený vlhký vzduch)
 p_p'' možný parciálny tlak (nасыtený vlhký vzduch)

Pri výrobe umelého snehu ide vlastne o mechanizmus vlhčenia vzduchu vodou. Do prúdu vzduchu je rozprašovaná voda, ktorá zvyšuje mernú vlhkosť vlhkého vzduchu v smere po priamke konštantnej entalpie. Vlhčenie z počiatočného stavu 1 na koncový stav 2 sa riadi rovnicami tepelnej a vlhkosťnej bilancie a je zobrazené na obrázku 2. [1]

$$m_{sv} \cdot (h_2 - h_1) = Q_w = h_w \cdot m_w \quad (2)$$

$$m_{sv} \cdot (x_2 - x_1) = m_w \quad (3)$$

m_{sv} hmotnosť suchého vzduchu
 m_w hmotnosť vlhkosti (voda alebo vodná para)

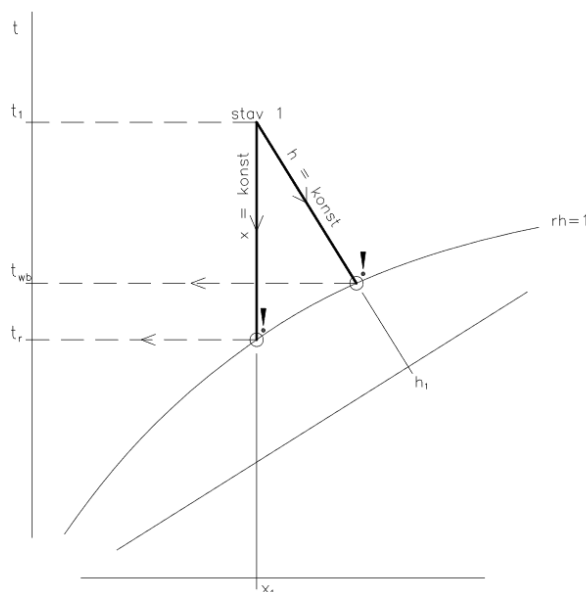


Obrázok 2: Vlhčenie vodou v Mollierovom diagrame [1]

Zo spomenutých rovníc potom vychádza regulácia prietokov snežného dela. Podľa známych veličín teploty (entalpie) a vlhkosti v stavoch na začiatku a na konci zistíme, ako veľmi je nutné vlhčiť vzduch. Podľa toho sa určí prietok rozprašovanej vody a s ním súvisí taktiež prietok privádzaného vzduchu do snežného dela, ktorý je daný otáčkami ventilátora. Pri zvlhčení vzduchu až na medzu sýtosti ($\varphi = 100\%$) je možné určiť na priesečníku krivky medze sýtosti s priamkou konštantnej entalpie najdôležitejšiu veličinu pre výrobu umelého snehu: teplotu mokrého teplomera t_{WB} . [1]

1.1.2 Teplota mokrého teplomera

Pri umelom zasnežovaní sú pre dosiahnutie kvalitnej snehovej pokrývky kľúčové dve hodnoty: teplota vzduchu a vlhkosť vzduchu. Obe tieto fyzikálne veličiny vlhkého vzduchu vystihuje teplota mokrého teplomera, často označovaná ako t_{WB} (z anglického wet bulb). Je možné ju charakterizovať ako teplotu, ktorú dosiahne vzduch pri nasýtení vyparovaním vody. Je označovaná tiež ako medzná teplota adiabatického chladenia. Závisí na pomere teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu. [2] Priesečník priamky teploty ovzdušia a krivky relatívnej vlhkosti v h-x diagrame udáva počiatočný stav pred vlhčením, v prípade výroby umelého snehu je to stav vlhkého vzduchu pred vstupom do snežného dela. Závislosť vplyvu teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu na teplotu mokrého teplomera je zrejmä z Mollierovho diagramu. Čím vyššia je teplota a vlhkosť vzduchu, tým vyššia je aj teplota mokrého teplomera pre daný stav. V praxi to znamená, že čím je okolitý vzduch vlhší, tým nižšiu musí mať teplotu na tvorbu snehových kryštálikov. Vychádza to z toho, že čím viac vlhkosti vzduch obsahuje, tým menej dodatočnej vlhkosti dokáže prijať. Táto vlhkosť by potom pri nedostatočne nízkej teplote nestíhala počas pádu na zem zamrzieť. Z toho dôvodu je zasnežovanie pri vysokých vlhkostiach problematické a v praxi sa pri hranične vysokých vlhkostiach a teplotách nezasnežuje.



Obrázok 3: Hľadanie teploty mokrého teplomera a rosného bodu v Mollierovom diagrame [1]

Z predchádzajúcich diagramov je zrejmé, že teplota mokrého teplomera je vždy nižšia ako reálna vonkajšia teplota vzduchu. Za hraničnú hodnotu teploty mokrého teplomera, potrebnú na výrobu umelého snehu sa berie $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. [3] Od vlhkosti vzduchu potom závisí, aká musí byť teplota vzduchu pre spoľahlivé umelé zasnežovanie. Pri veľmi nízkej vlhkosti môžu byť snežné delá teoreticky prevádzkované dokonca aj pri jemne plusových teplotách vzduchu, pri veľmi vysokej vlhkosti musia byť zasa teploty vzduchu hlboko v záporných hodnotách. Pre čo najefektívnejšie a najkvalitnejšie zasnežovanie sa v praxi vo vonkajšom prostredí väčšinou uvažuje len s podmienkami v mínusových teplotách, zväčša od $-4/-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Od určitej teploty, zhruba $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, vlhkosť vzduchu prestáva mať vplyv na to, či sa produkuje sneh alebo nie. [9] Úplne ideálne podmienky pre tvorbu kvalitnej pokrývky technického

snehu sú teda nízka teplota na úrovni okolo $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a čo najnižšia vlhkosť vzduchu. Na druhú stranu zasnežovanie pri veľkých mrazoch ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) prináša riziko zamrznutia prívodu vody. Pri prípadnej poruche zariadenia alebo pri zásahu systému a automatickom vypnutí môže dôjsť k rýchlemu zamrznutiu prívodu vody a dýz, čo môže znamenať až trvalé poškodenie zariadenia. Umelému zasnežovaniu teda praje suché a mrazivé počasie.

1.2 Vonkajšie zasnežovanie

Častejšie použitie systému na výrobu umelého snehu je rozhodne vo vonkajšom prostredí. Ako bolo spomenuté vyššie, bude fungovať len vtedy, ak je teplota a vlhkosť okolitého vzduchu priaznivá. Nesmie sa zabúdať ani na vietor. Hlavné využitie nájde na úvod sezóny a potom v priebehu zimných mesiacov na dosneženie svahov pri pretrvávajúcích priaznivých podmienkach. To umožní lyžiarskym strediskám začať sezónu skôr a taktiež ju predĺžiť do jari.

Okrem zariadení, ktoré priamo produkujú sneh, musí byť celý systém vybavený vodnou nádržou, z ktorej sa čerpá voda cez rozvodové potrubia k zasnežovacím zariadeniam. Čerpadlá ako aj snežné delá musia byť samozrejme napojené na elektrinu. Keďže produkcia snehu prebieha v záporných teplotách, je nutné rátať s mrznutím vody v rozvodových potrubiach a tak isto na povrchu vodnej nádrže. Kvôli tomu môže byť manipulácia s vodou komplikovaná. Zamrznutiu sa zamedzuje jednak tým, že čerpadlá berú vodu zo spodných častí vodnej nádrže, kde určite nezamrzne. Ďalej sa izoláciou potrubí musí docieľiť, že voda zostane po celú dobu v kvapalnom stave. Zamrznutie potrubia by totiž celý systém zasnežovania odstavilo a pravdepodobne natrvalo poškodilo. Toto môže predstavovať dosť značný problém, pretože voda sa musí dopravovať často aj na vzdialenosť niekoľkých kilometrov, obzvlášť vo veľkých strediskách. Riešenie spočíva v tom, že sa vodné potrubia zakopú do zeme a tým sa značne obmedzí strata do okolia a riziko zamrznutia rozvodového systému. Problém by mohol nastať pri odstávke sneženia pri zvyšnej vode v potrubiach a aj v hadiciach, trubkách a dýzach zariadení. Súčasťou rozvodovej siete sú rovnomerne rozmiestnené vodné prípojky trčiace zo zeme, častokrát hneď vedľa elektrickej skrine. To umožňuje presúvať zariadenia podľa potreby po svahu. Zariadenie sa jednoducho pomocou ratraku presunie a hadicou sa napojí na rozvod vody a najbližšiu elektrickú skriňu, prípadne na prívod stlačovaného vzduchu. Po úspešnom dopravení vody je konečným procesom samotná výroba snehu. Na výrobu technického snehu sa vo vonkajšom prostredí používajú dva vizuálne dosť odlišné typy zariadení: snehové delá s ventilátorom a tyčové delá.

1.2.1 Ventilátorové snežné delá

Ventilátorové snežné delá sa vyznačujú tým, že studený vzduch je nasávaný zo zadnej časti stroja a je hnaný veľkým axiálnym ventilátorom cez duté valcové teleso dela. Na konci dela sú po obvode valca umiestnené dýzy, v ktorých sa rozprašujú častice vody privádzané vodným potrubím o zvýšenom tlaku. Vo vnútri dela sú takzvané nukleátory, ktoré vypúšťajú zmes vody a vzduchu a ich funkciou je vytvoriť z tejto zmesi zárodoky snehových častíc. Na tieto zárodoky sa následne naviažu častice rozprášenej vody na konci dela. Tlak stlačeného vzduchu do zárodokovej dýzy je zabezpečovaný kompresorom umiestneným pod delom. Všetko to nakoniec zamrza

v prúde studeného vzduchu hnaného elektricky poháňaným ventilátorom. Valcová dutina v tele dela je aerodynamicky prispôsobená v smere prúdenia na dosiahnutie optimálnej rýchlosti prúdenia na výstupe. Ventilátor zabezpečuje relatívne veľký dolet snehových častíc až do niekoľkých metrov, čo šetrí prácu pri následnom rozhŕňaní. Hlavná funkcia ventilátora je zabezpečiť dostatočný čas na naviazanie rozprášenej vody na zárodkové častice a následné zamrznutie častíc vody v prúde studeného vzduchu. Pri dostatočnej sile ventilátora majú čiastočky počas letu dosť času premrznúť a vytvoriť častice snehu, ktoré potom dopadajú na zem. Umiestnenie snežného dela môže byť buď na pevno nad zemou na otočnej plošine na stojane, ktorý môže byť aj výškovo nastaviteľný, alebo na zemi. [4]

Iný variant snehových diel je konštrukcia bez použitia ventilátora. Na prvý pohľad vyzerajú podobne, rozdiel je v tom, že sa do dela privádza okrem vody aj stlačovaný vzduch z kompresorovej stanice. Tento vzduch má za úlohu rozprášiť prúd vody na malé častice a dopraviť ho von z dela do okolitého ovzdušia. Rozpínanie stlačeného vzduchu popri tom spôsobuje jeho ochladzovanie, ktoré spolu s kvapôčkami vody zabezpečuje tvorbu zárodkov snehových častíc. Táto zmes sa následne po vypustení do chladného okolitého vzduchu dochladzuje a tvorí snehové vločky. Výhodou takéhoto riešenia je vynechanie ventilátora, ktorý ako jediná rotujúca časť stroja môže spôsobovať problémy a potrebuje prívod elektriny. Na druhú stranu je však potrebná prípojka z kompresorovej stanice a aj vybudovanie samotnej kompresorovej stanice s rozvodovými potrubiami. Prúd stlačeného vzduchu v takomto konštrukčnom riešení musí mať totiž oveľa väčší prietok ako stlačovaný vzduch do zárodkových dýz pri riešení s ventilátorom. Konštrukcia bez ventilátora dnes už nie je taká častá a stretáme sa s ňou hlavne pri starších zariadeniach. [5]

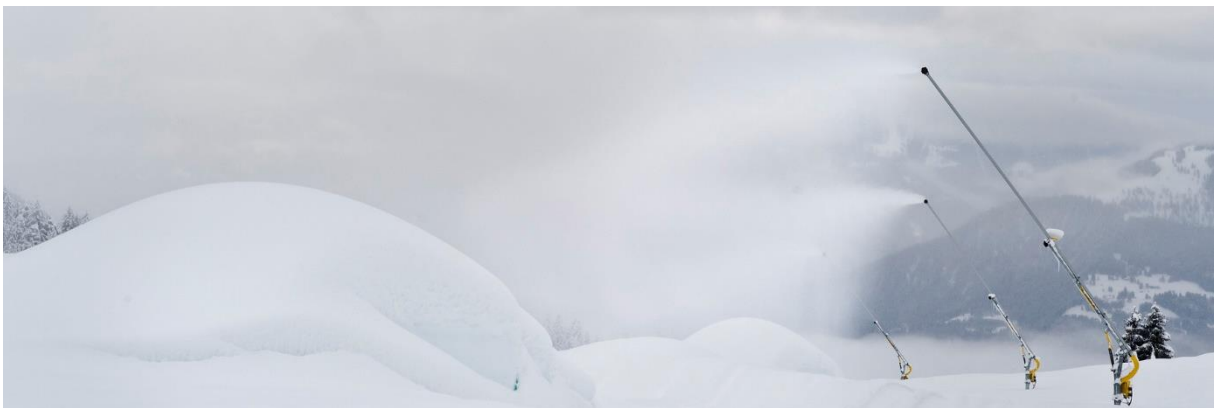


Obrázok 4: Ventilátorové snežné dela v prevádzke [6]

1.2.2 Tyčové snežné dela

Od snežných diel sa výrazne líšia už na prvý pohľad svojou konštrukciou. Telo zariadenia pozostáva z dlhej tyče siahajúcej do výšky niekoľkých metrov, na ktorej konci sú nukleátory a dýzy. Nukleátory majú za úlohu vytvárať zárodky kryštálikov snehu zo zmesi vody a stlačeného vzduchu. Dýzy sa potom starajú o dôkladné

rozprášenie privádzanej vody do miesta zárodkov a okolitého chladného vzduchu. Prašná zmes vody má potom vďaka vysokej výške zariadenia a pomalej rýchlosti padania častíc dostatok času na nadviazanie na zárodky a kvalitné premrznutie pri jej páde na zem. Výhodou oproti ventilátorovým delám je ich energetická efektívnosť a jednoduchšia údržba kvôli absencii rotujúceho ventilátora. Práve chýbajúci ventilátor však znamená značne obmedzený dosah doletu snehových častíc. Rovnako je produkcia snehu presne na zjazdovku náchylnejšia na smer a silu vetra. Tyčové snežné delá vynikajú pri lokálnom zasnežovaní a pri užších zjazdovkách, ak je však potrebné dostať sneh na celú šírku svahu, je nutná väčšia práca ratrakov. Navyše treba mať k snehovým tyčiam vybudovaný rozvod stlačovaného vzduchu na vysoké tlaky z centrálnej kompresorovej stanice. To môže byť energeticky náročnejšie ako riešenie pri ventilátorových snehových delách, kde je jeden kompresor pre každé zariadenie.[7]



Obrázok 5: Tyčové snežné delá v prevádzke [7]

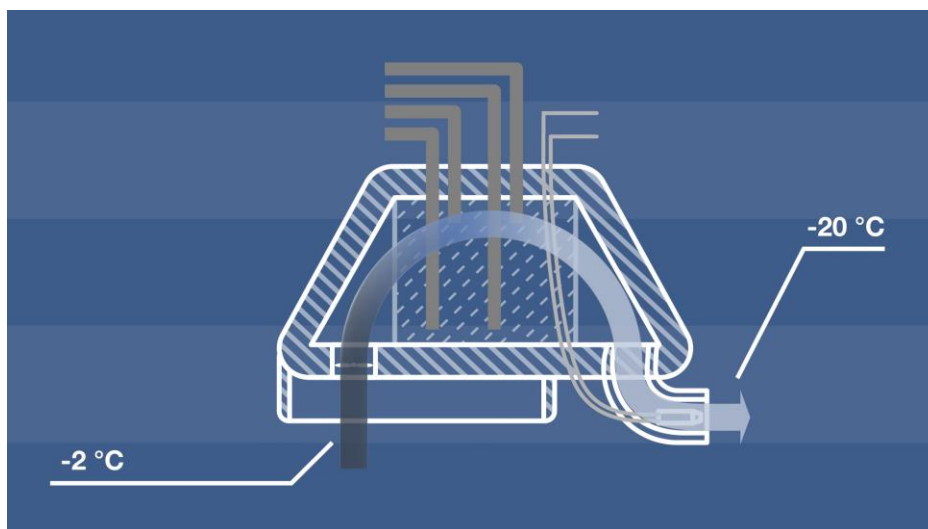
1.3 Vnútorne zasnežovanie

V oblastiach, kde vonkajšie klimatické podmienky nevedia zaručiť funkčnosť vonkajších systémov zasnežovania, prípadne oblasť nemá dostatočné kopce je nutné obe tieto podmienky umelo vytvoriť. Zimné športy sa v tom prípade presúvajú do uzavretých hál, kde zariadenia na výrobu snehu pracujú spolu so zariadeniami na výrobu chladu. Kvôli produkcii snehu a aj kvôli dlhodobému udržaniu jeho kvality sú vytvárané optimálne podmienky ovzdušia. V porovnaní s vonkajšími systémami je preto vnútorná výroba umelého snehu energeticky náročnejšia o energiu spotrebovanú na chladenie haly a pokrytie potreby snehu a chladu vyžaduje výrazne odlišný prístup. Zároveň však nie je nutné vo vnútornom prostredí produkovať veľké objemy snehu, ide hlavne o prvotné zasneženie svahu. Keďže sa v hale drží stále mínusová teplota a nie je nutné bojovať s výkyvmi počasia a sneh sa pri dostatočnom chladení sám od seba vo veľkej miere rozpúšťať nebude.

Po technickej stránke sa zariadenia na výrobu snehu líšia od snehových diel, základné princípy sú však rovnaké. V prvom rade pracujú pri rozdielnych podmienkach teploty a vlhkosti vzduchu, kde na rozdiel od vonkajšieho prostredia sú v hale konštantné podmienky. Sneh produkovaný klasickými snežnými delami je často príliš mokry na vnútorné použitie a negatívne by ovplyvňoval aj stav ovzdušia v hale. Z termomechaniky vlhkého vzduchu, spomenutej v predchádzajúcich kapitolách vyplýva, že aj v uzavretom priestore všetko závisí od teploty mokrého teplomeru. Produkciu umelého snehu je teda možné dosiahnuť dvoma spôsobmi:

podchládzovaním vzduchu alebo znižovaním vlhkosti. Obe zmeny vlastností je však nutné aplikovať na celý objem vzduchu v hale. Energeticky výhodnejšie je samozrejme dosiahnuť zasnežovanie pri čo najvyššej teplote, pretože sa nebude musieť tak drasticky podchládzať vzduch. Aby vznikali z vody a vzduchu snehové častice, musí však byť pri vyššej teplote vzduchu zabezpečená jeho nízka vlhkosť. To je ale v praxi dosť náročné vytvoriť, pretože vlhkosť vzduchu v halách je bežne okolo úrovne 80 %. Táto skutočnosť je častokrát zrejmá z vytvárajúcej sa hmly v halách. Nie je však úplne nemožné dosiahnuť nízku vlhkosť vnútorného vzduchu a existujú haly, v ktorých zasnežovanie funguje na báze neustáleho odvlhčovania vzduchu. To umožní v takýchto realizáciách podchládzať vzduch v hale počas času sneženia len o pár stupňov na teplotu okolo $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a pritom stabilne vytvárať snehovú pokrývku. Druhou a očividnejšou možnosťou na vytvorenie optimálnych vnútorných podmienok na zasnežovanie je zníženie teploty vzduchu. V takomto prípade sa pre zasnežovacie systémy v interiéri vždy vyžaduje výrazné podchladenie prostredia v čase zasnežovania na úroveň okolo $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Takýto postup je veľmi rozšírený, pretože je jednoduchý, aj konštrukčne aj z hľadiska regulácie, aj keď nie úplne energeticky efektívny. [8]

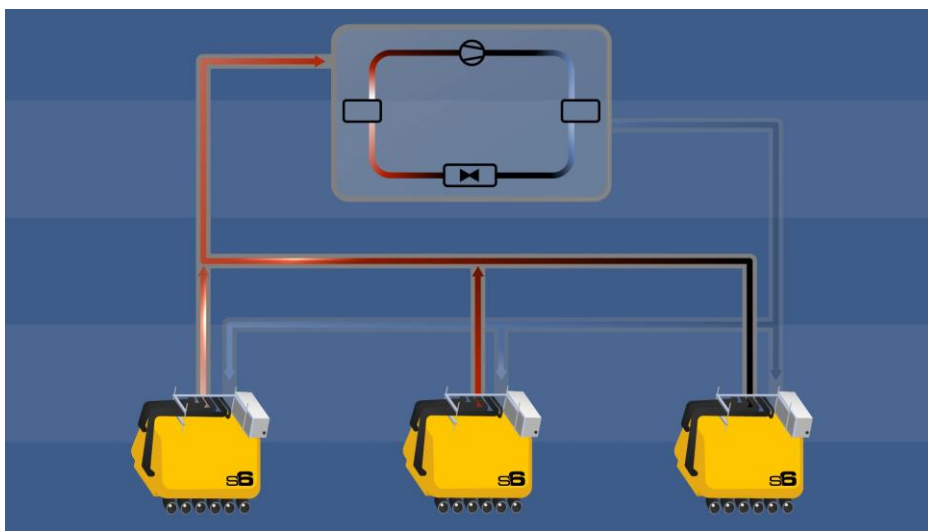
Pre zaujímavosť, pri niektorých moderných vnútorných systémoch na produkciu umelého snehu sa k problému pristupuje odlišne. Princíp spočíva v tom, že sa výrazne znižuje teplota len toho vzduchu, ktorý sa priamo podieľa na výrobe snehových častíc. Zariadenia sú umiestnené na strope haly a nasávajú chladný vzduch z haly, ktorý však nemá dostatočne nízku teplotu a má vysokú vlhkosť. Tento vzduch je následne ochladený na extrémne nízke teploty, až na $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prúd vzduchu je potom vypúšťaný okolo dýz, ktoré rozprašujú vodu na výstupe zo zariadenia. Prúd vzduchu ochladeného na takúto nízku teplotu okamžite reaguje s vodou a spôsobuje spoľahlivú tvorbu snehových častíc. Takýto systém umožňuje produkovať sneh bez ohľadu na vlhkosť nasávaného vzduchu a hraničná teplota na výrobu snehu je len okolo $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bežné systémy by na to potrebovali teplotu $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. [9]



Obrázok 6: Schéma ochladzovania nasávaného vzduchu [9]

Pre klasické vnútorné systémy platí, že pri vysokých vlhkostiach sa môže začať uvažovať o spustení zasnežovania pri teplotách na úrovni $-8/-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Týchto $6\text{ }^{\circ}\text{C}$

spôsobuje značné ušetrenie spotrebovanej energie a zároveň výrazne zvyšuje kvalitu snehu produkovaného vo vnútornom prostredí. Je energeticky oveľa výhodnejšie ochladzovať len malé množstvo vzduchu, aj keď na extrémne teploty, ako držať stabilne nízke teploty v celej hale. Ochladzovanie vzduchu v zariadení je zabezpečované centrálnym uzavretým chladiarskym okruhom veľmi podobne ako samotné chladenie vzduchu v hale. Snežné systémy zároveň prispievajú k udržiavaniu optimálnych teplotných podmienok v hale. Nasávajú totiž teplejší vzduch, ktorý vystúpil do hornej časti haly a vypúšťajú rovnaký objem ochladený o takmer 20 °C. Teplo odoberané vzduchu je odvádzané mimo halu a nijako neovplyvňuje podmienky v hale. Takéto inovatívne riešenie prináša model S6 od spoločnosti Technoalpin. [9] Negatívom oproti obyčajným systémom, ktoré pracujú pri nižších teplotách, je rozhodne komplikovanosť a aj cena takéhoto riešenia. Takéto systémy nájdu využitie hlavne v prípadoch, kedy sa predpokladá pravidelné dosnežovanie veľkého množstva snehu, napríklad pri halách vo veľmi teplých oblastiach, kde by investícia do náročnejších a drahších zariadení v konečnom výsledku priniesla menšie finančné náklady. Väčšina lyžiarskych hál v normálnych klimatických podmienkach si však vystačí s krátkodobým podchladzovaním vzduchu, prípadne s odvlhčováním.



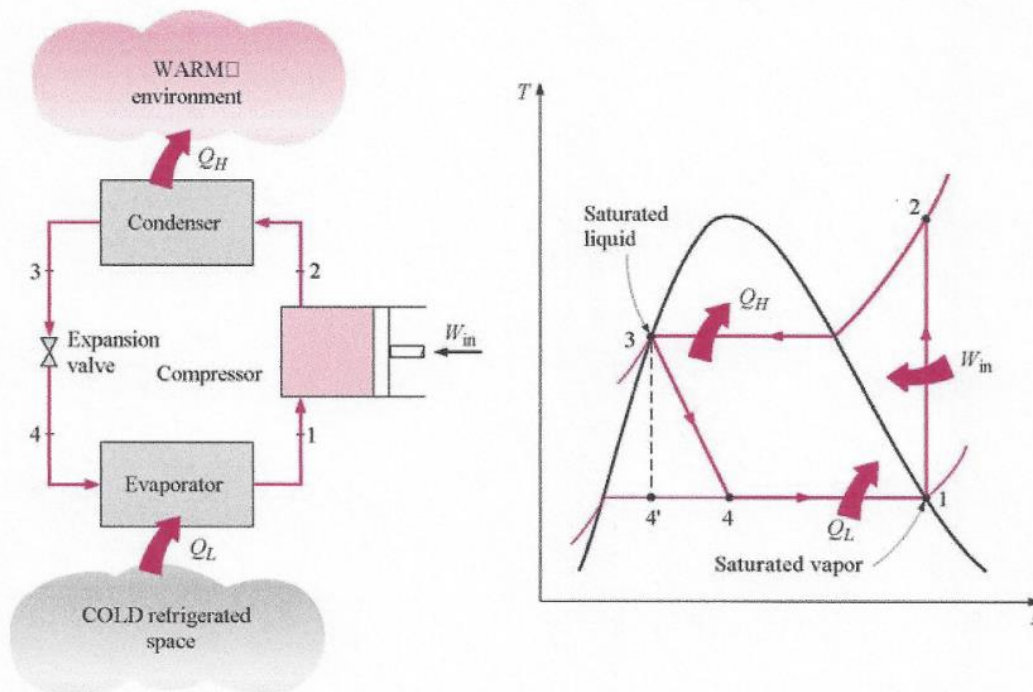
Obrázok 7: Schéma systému centrálného chladenia [9]

2 Chladenie

V predchádzajúcich kapitolách bola spomenutá tvorba umelého snehu v hale. V prvom rade je však nutné vytvoriť a následne udržiavať vhodné teplotné podmienky vo vnútri haly. To je zabezpečené chladiacim systémom, ktorý musí byť neustále v prevádzke. Prirodzeným energetickým tokom je totiž prenos tepla do haly z vonkajšieho teplejšieho prostredia. Rovnako budú teplotu vzduchu zvyšovať všetky vnútorné zdroje tepla. Toto teplo musí byť odvádzané opačným smerom von z haly. Kontinuálne chladenie vnútorného priestoru samozrejme stojí elektrickú energiu, ktorú je potrebné odniekať čerpať. Spotrebovaná elektrická energia bude prevedená na chladiaci výkon, ktorý sa okrem iného odvíja od požadovanej vnútornej teploty vzduchu. Teplota sa stanovuje s cieľom zabrániť zbytočnému topeniu snehovej pokrývky, spravidla sa pohybuje okolo -3/-4 °C. Chladiaci výkon ďalej závisí aj od

prevádzkových podmienok inštalovaného zasnežovacieho zariadenia, kde teplota musí byť nižšia ako pri bežnom chode chladenia a chladiaci systém si s tým musí byť schopný poradiť. Čím nižšia teplota vnútorného vzduchu, tým väčšiu prácu musí vynaložiť chladiaci systém a o to viac energie spotrebuje. Lyžiarska hala by sa dala zjednodušene prirovnať ku chladničke. Základný princíp, čiže využitie varu a kondenzácie chladiva na vychladenie uzavretého priestoru, je rovnaký. Z hľadiska energetických tokov ide pri vychladení haly o kompresorový chladiarenský cyklus, čiže obrátený Rankin-Clausiov obeh. Základnými komponentami cyklu sú výparník, kompresor, kondenzátor a škrtiaci ventil. Schému cyklu a T-S diagram s popisom dejov je možné vidieť na obrázku 8. [11]

- 1-2 Isentropic compression
- 2-3 Constant pressure heat rejection in the condenser
- 3-4 Throttling in an expansion valve
- 4-1 Constant pressure heat addition in the evaporator



Obrázok 8: Schéma a T-S diagram ideálneho chladiarenského cyklu [12]

Chladivo cirkuluje v uzavretom obvode a má funkciu teponosného média. Uzavretý obvod s chladivom by mal byť vo všetkých bodoch cyklu pretlakový. Tlak chladiva by sa nikdy nemal vyrovnáť úrovni atmosférickému tlaku, aby sa zabránilo vniknutiu vzduchu do chladiva. Obeh začína kvapalným chladivom vstupujúcim do výparníku. Z vnútorného teplejšieho priestoru prestupuje teplo do obvodu s chladivom. Predtým kvapalné chladivo sa prijatým teplom vyparuje, preto sa vnútorný výmenník tepla volá výparník. Následne sú pary chladiva stláčané kompresorom na vyšší tlak. Odtiaľ putujú do kondenzátoru, kde predávajú teplo vonkajšiemu prostrediu a zároveň sa chladivo mení z plynnej fázy na kvapalnú. Teplo nemusí byť predávané výhradne do vonkajšieho prostredia, toto inak stratové teplo je možné späť využiť a tým

zefektívniť cyklus chladenia a znížiť celkové energetické náklady. Poslednou fázou cyklu je redukcia tlaku kvapalného chladiva pomocou škrtiaceho ventilu. Tlak sa vráti na pôvodnú hodnotu a cyklus sa znova opakuje. Hlavnou veličinou, ktorá sa pri chladiarenských obehoch sleduje je chladiaci faktor COP_C , z anglického coefficient of performance. Slúži na určenie efektivity daného cyklu, je to vlastne ekvivalent termickej účinnosti. Vypočíta sa ako podiel tepla odobraného vo výparníku Q_o a práce dodanej do kompresoru A. Práca vstupujúca do cyklu by mala byť po správnosti záporná, preto je v menovateli v absolútnej hodnote. [11]

$$COP_C = \frac{Q_o}{|A|} \quad (4)$$

Pri lyžiarskych halách je pre zabránenie topenia snehu nutné brať do úvahy aj teplo z pôdy. Hala je samozrejme izolovaná aj odspodu, ale to úplne nestačí. Problém je vyriešený chladiacim systémom umiestneným pod povrchom svahu, ktorý eliminuje prestup tepla od pôdy. Pozostáva z uzavretého súboru trubiek s chladivom o nízkej teplote, ktoré pohlcuje energiu generovanú zemským povrchom a zároveň drží snehovú pokrývku na teplote okolo $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dalo by sa to prirovnať ku podlahovému kúreniu, akurát s opačnou funkciou. Zabránenie prestupu tepla od pôdy do snehu je pre udržanie snehovej pokrývky kľúčové. Topenie snehu odspodu by totiž znamenalo výrazný pokles kvality snehového podkladu a viedlo by to ku nutnosti častejšie dosnežovať umelý sneh. [13] Kompenzácia tepelných strát, rovnako ako strát objemu snehu, je neustále monitorovaná a systémy automaticky reagujú na každú zmenu v teplote, kvalite a hrúbke snehovej pokrývky.

2.1 Chladivá

Pri chladiacich okruhoch sa používa viac druhov chladív podľa konkrétnej aplikácie. Podľa zloženia sa chladivá delia na tri skupiny:

- anorganické chladivá (vzduch, voda, CO_2 , čpavok)
- uhľovodíky (metán, etán, propán, bután)
- halogénované uhľovodíky (HCF, HCFC, CFC)

Voľba chladiva vychádza z rozdielu teplôt medzi ochladzovaným a okolitým prostredím. Chladivo musí byť schopné preniesť dostatočný tepelný tok na vychladenie priestoru na požadovanú teplotu, čo je charakterizované veličinou nazvanou výparné teplo. Okruh s chladivom je síce uzavretý a utesnený, kvôli vyššiemu tlaku ako atmosférickému ale vždy dochádza k nejakému úniku cez steny obvodu. Tieto objemové straty treba kompenzovať dopĺňaním chladiva do obvodu, čo spôsobuje nemalé náklady. Zároveň majú pary chladív unikajúce do atmosféry negatívny vplyv na ozónovú vrstvu a tým prispievajú ku globálnemu otepľovaniu a ku tvorbe ozónových dier. Obzvlášť sa to týka freónov, ktoré sa práve preto prestali v praxi používať. Vývoj chladív napredoval hlavne kvôli snahe nahradiť ekologicky nebezpečnejšie chladivá prijateľnými alternatívami. Výber chladiva je preto dnes značne obmedzený práve normami a ekologickými limitmi. Len malé množstvo chladív spĺňa ekologické limity a zároveň má dostatočné vlastnosti z hľadiska termomechaniky, ceny a dostupnosti. Používanie mnohých chladív, obzvlášť už spomínaných freónov, bolo v priebehu rokov zakázané.

Okrem veľkého výparného tepla a ceny je nutné pri type chladiva zhodnotiť vlastnosti ako toxicita, agresivita voči materiálom, horľavosť a výbušnosť. Z hľadiska ekológie sú pri vypúšťaní akéhokoľvek plynu do atmosféry dôležité dve vlastnosti: vplyv na úbytok ozónovej vrstvy a skleníkový efekt. Na určenie celkového vplyvu chladiva na životné prostredie sa preto zaviedli dve porovnávacie veličiny, ODP a GWP. Vplyv na ozónovú vrstvu posudzuje hodnota ODP (Ozon Depletion Potential), kde sa ako základ berie chladivo R12 s hodnotou 1. Skleníkový efekt chladív posudzuje veličina GWP (Global Warming Potential), tu sa ako základná hodnota berie CO₂ s hodnotou 1. Pre aplikáciu v chladiacom systéme lyžiarskej haly bude potrebné zvoliť chladivo, ktoré bude mať čo najlepšie termodynamické vlastnosti a zároveň čo najnižšie hodnoty GWP a ODP. Je potrebné vziať do úvahy aj cenu chladiva, keďže vzhľadom na veľkosť chladeného priestoru bude v obehu cirkulovať značné množstvo. Rovnako je nutné posúdiť komplikácie a poruchy, ktoré by mohli vzniknúť, a taktiež riziká, ktoré by mohol spôsobiť únik chladiva do haly alebo do okolia. [14]

2.1.1 Anorganické chladivá

Za najjednoduchšie dostupné chladivo je možné považovať vzduch, v uzavretých obehoch sa však nepoužíva. Hodí sa skôr na chladenie pri prúdení a obtekaní ochladzovaného telesa. Ďalším jednoducho dostupným anorganickým chladivom by mohla byť voda, prípadne vodná para. Pri chladení vodou sme však obmedzení zamrznutím pri záporných teplotách, čo rovnako nevyhovuje akýmkoľvek uzavretým obehom s požiadavkou mínusovej teploty vzduchu v ochladzovanom priestore. Sľubnejšie pre použitie v lyžiarskych halách sa javí CO₂, rovnako bohato zastúpeného v atmosfére. Pre použitie v chladiarenských obehoch je však nutné mať oxid uhličitý v kvapalnej fáze, kde na skvapalnenie sú potrebné veľmi vysoké tlaky až v desiatkach barov. To kladie vysoké nároky na materiály trubiek a tesnenia, čo zvyšuje cenu takýchto zariadení. Dnes má oxid uhličitý hlavné využitie v potravinárskom priemysle pri chladení alebo transporte potravín, pri priemyselnom chladení v kombinácii s iným médiom alebo v tepelných čerpadlách. Kvôli nulovému vplyvu na ozónovú vrstvu ODP=0 a vzťahným GWP=1 a zároveň výbornými termodynamickými vlastnosťami má CO₂ vysoký potenciál v budúcnosti nahradiť chemicky vytvorené škodlivejšie chladivá aj v bežných aplikáciách. [15] Je nutné poznamenať, že CO₂, rovnako ako aj spomenutá vodná para, sú skleníkové plyny a teoreticky majú stále vplyv na globálne otepľovanie, aj keď v prípade ich úniku z chladiarenských obehov je vplyv naozaj minimálny.

Ďalším často využívaným chladivom je amoniak alebo čpavok NH₃. Použitie amoniaku v chladiarenských obehoch je využívané už roky a začalo dokonca ešte pred spopularizovaním freónov. Do budúca má veľký potenciál ako náhrada práve halogénovaných uhľovodíkov v prípadoch, kde je to možné. Najväčšou výhodou amoniaku je absolútne nulový vplyv na životné prostredie, kde ODP a aj GWP sú rovné 0. Z termodynamického hľadiska je veľmi výhodná nízka výparná teplota -33 °C, čo umožňuje použitie pri požiadavke veľmi nízkej teploty. Najbežnejším príkladom použitia chladiarenského systému s amoniakom sú hokejové štadióny, kde sa ľadová plocha chladí na teploty nižšie ako -10 °C. Na druhú stranu je však toxický pre človeka a pri vyšších koncentráciách môže spôsobiť až smrť. Rovnako je agresívny voči medi,

preto nemôžu byť použité medené potrubia. Ďalším negatívom pri chladiarenských obehoch je nutnosť vysokej čistoty amoniaku siahajúcej až na úroveň 99,98 %. Akákoľvek prisávaná voda v obehú zamrzne a môže spôsobiť poruchy potrubí, čo by mohlo viesť k úniku amoniaku do okolia. Iné nečistoty ako napríklad olej znižujú efektivitu chladenia a tým znižujú účinnosť a zbytočne namáhajú komponenty cyklu. [16] Pri amoniaku je kvôli jeho toxicite životne dôležité zamedziť riziku hromadnému úniku z obehú, preto sa kladie veľký dôraz na jeho čistotu. Keby aj k úniku došlo, personál by to mal včas zistiť vďaka výraznému zápachu. Riziko nebezpečného úniku je však dôvodom, prečo sa nehodí na menšie aplikácie do domácností. V prípadoch ako sú klimatizácie alebo chladničky nikdy nebude môcť nahradiť halogénované uhľovodíky aj napriek tomu, že je lacnejší. [17] V prípade lyžiarskej haly však bude použitie amoniaku veľmi výhodné a je jednou z najlepších volieb pre takúto aplikáciu.

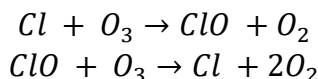
2.1.2 Uhľovodíky

Uhľovodíky sú základné organické zlúčeniny zložené len z uhlíka a vodíka. Najvyužívanejšie uhľovodíky v oblasti chladív sú propán R290, ktorý má veľmi podobné vlastnosti ako freón R22, a izobután R600a, ktorý má zasa podobné vlastnosti ako freón R12. Z hľadiska chladenia aj ekológie sú takmer ideálnymi chladivami, vplyv na ozónovú vrstvu nemajú žiadny a GWP je len na hodnote 3. Ich veľkou nevýhodou je však horľavosť, čím je ich používanie podmienené prísnyimi normami, aby sa zabránilo vznieteniu, prípadne výbuchu. Oproti halogénovaným uhľovodíkom sú lacnejšie a kvôli nižšej hustote zaberajú menší objem. Ich hlavným významom je práve náhrada už spomínaných freónov, pri propáne častokrát aj bez nutnosti úpravy konštrukcie obehú. Izobután má dnes už zhruba polovičné zastúpenie v domácich chladničkách a mrazničkách, kde bude postupne nahrádzať v tejto oblasti dlho najpoužívanejšie chladivo R134a. Jeho horľavosť sa pri malých obehoch dokázala dostať na úroveň, kde už nepredstavuje žiadne riziko. [14]

2.1.3 Halogénované uhľovodíky

Halogénované uhľovodíky vznikajú z uhľovodíkov nahrádzaním atómov vodíka halogénovými prvkami (fluór, chlór, bróm). Podľa zastúpených prvkov rozoznávame tri skupiny halogénovaných uhľovodíkov: CFC, HCFC, HCF. Prvé dve skupiny s dvoma typmi halogénových prvkov sa spoločne nazývajú freóny. Najnebezpečnejším nedostatkom celej tejto skupiny chladív je vplyv na rozpad ozónovej vrstvy. Chlór totiž reaguje s ozónom a rozkladá ho na kyslík. Na túto vlastnosť sa prišlo až neskôr, keď sa už freóny masovo používali ako chladivá alebo ako hnacie plyny v sprejoch a hasiacich prístrojoch. Od vtedy sa vynaložila veľká snaha tieto látky v čo najväčšom množstve nahradiť niečím menej škodlivým. [14] Redukcia ozónovej vrstvy a vznik ozónových dier malo za následok okrem iných zdravotných komplikácií zvýšený počet výskytu rakoviny kože. Princíp ničenia ozónovej vrstvy spočíva v tom, že halogénovaný uhľovodík vystúpi až do stratosféry, kde sa halogénový prvok (chlór Cl) odlúči a okamžite reaguje s molekulou ozónu O_3 , ktorej odoberá jeden atóm kyslíka. Zlúčenina halogénu a kyslíka následne reaguje s ďalšou molekulou ozónu, ktorej znova odoberá jeden atóm kyslíka, vzniká znova osamotený halogén a proces sa opakuje. Reakcia je zrejmá z rovnice 4. Jeden atóm chlóru takto dokáže reťazovo reagovať stále s novou molekulou ozónu, kde zotrúva v stratosfére po dlhú dobu.

Práve fakt, že jeden atóm chlóru je schopný reagovať s tisíckami molekúl ozónu je veľmi nebezpečný.



(5)

Prvou skupinou sú plne halogenované uhľovodíky CFC, kde boli všetky atómy vodíka nahradené buď chlóróm alebo fluórom. Patria sem napríklad už dávno vyradené freóny R12, R13. Druhou skupinou sú freóny HCFC, ktoré obsahujú aspoň jeden atóm vodíka ako veľmi rozšírené chladivo R22. Dnes jedinou použiteľnou formou halogenovaných uhľovodíkových chladív sú chladivá typu HCF, ktoré neobsahujú chlór a tým pádom majú nulové, prípadne minimálne ODP. Ich vplyv na skleníkový efekt je ale aj tak veľmi vysoký, pri mnohých v štvorciferných hodnotách, preto sú dnes v praxi používané len niektoré a aj za tie sa neustále hľadajú náhrady. Dnes asi najviac rozšíreným je R134a hlavne v domácich chladničkách a klimatizáciách.

Názov	Značka	GWP	ODP	Horľavosť	Toxicita
CO ₂	R744	1	0	nie	nie
NH ₃	R717	0	0	áno	áno
Propán	R290	3	0	áno	nie
Izobután	R600a	3	0	áno	nie
CFC-12	R12	10200	1	nie	nie
HCFC-22	R22	1760	0,05	nie	nie
HFC-134a	R134a	1300	0	nie	nie

Tabuľka 1: Vlastnosti najpoužívanejších chladív [14]

Celosvetový trend v oblasti chladív je úplne odísť od halogenovaných uhľovodíkov a hľadať alternatívy inde. Inak to nie je ani v prípade lyžiarskych hál. Bolo by nezodpovedné dnes navrhnúť chladenie s použitím chladiva, ktorého použitie môže byť o pár rokov zakázané. Preto akékoľvek halogenované uhľovodíky nevyhovujú moderným aplikáciám v projektoch ako sú lyžiarske haly. V prípade obyčajných uhľovodíkov je problém v ich horľavosti, v použití s veľkými výkonmi by to vytváralo zbytočné riziko pri prípadnej poruche. Kvôli minimálnemu vplyvu na atmosféru sa ako najperspektívnejšie alternatívy javia prírodné chladivá, oxid uhličitý a amoniak. Obe látky sú úspešne používané v praxi v rôznych prípadoch. [18] Amoniak sa používa vo väčšine lyžiarskych hál ako aj pri chladení iných športovísk, použitie oxidu uhličitého sa vyskytuje menej ale tiež je použitý napríklad v hale v Osle (obrázok 12).

2.2 Izolačné materiály

Ďalším faktorom pri chladení haly je snaha minimalizovať energetické straty, to znamená čo najviac zredukovať prestup tepla z vonkajšieho prostredia do haly. To je zabezpečené izoláciou stien a strechy haly, rovnako tak aj svahu. Materiál použitý na izoláciu musí byť posúdený z hľadiska ceny a tepelnej vodivosti. Tepelné straty sa však nikdy nedajú úplne odstrániť, ľudia musia nejakým spôsobom vstúpiť do haly a taktiež sa tam musí meniť vzduch. Tieto tepelné príspevky však pri neskorších výpočtoch nebudú posudzované pri hodnotení tepelných odporov, ale budú stanovené samostatne. Chladiaci okruh v neustálej prevádzke má za úlohu všetky tieto tepelné

straty kompenzovať a tým udržiavať stabilné teploty v hale. Logicky z toho vyplýva, že čím väčšia hala, tým väčšie budú aj tepelné straty prestupom cez steny haly. Rovnako čím teplejšie vonkajšie prostredie, tým väčší bude teplotný rozdiel medzi vonkajším prostredím a vzduchom v hale a to spôsobí intenzívnejší prestup tepla do haly. Chladiaci systém musí byť preto dimenzovaný podľa toho, v akých klimatických podmienkach sa hala nachádza. Tomu musí byť samozrejme prispôsobená aj hrúbka a použitý materiál izolácie. Hlavnou úlohou izolácie je zabezpečiť dostatočný tepelný odpor a tým zabrániť roztápaniu snehu. Pri miernych vonkajších klimatických podmienkach a pri predpoklade, že steny haly dostatočne tepelne izolujú vnútorný priestor by k rozpúšťaniu snehu dochádzať nemalo. V takom prípade nie je nutné používať neštandardne hrubé vrstvy izolácie. Obzvlášť v extrémnych podmienkach však môže dochádzať ku značnému úbytku snehu každý deň práve kvôli vysokému rozdielu teplôt medzi halou a vonkajším vzduchom. V takomto prípade je potom opodstatnené použiť hrubé, prípadne aj viacvrstvové izolačné vrstvy. Napríklad v prípade lyžiarskej haly v Dubaji sú steny hrubé až 5 metrov. [17]

Steny haly sú bez okien, aby sa zabránilo akýmkoľvek únikom cez netesnosti a zároveň aby do vnútra neprenikali slnečné lúče, ktoré by spôsobovali topenie snehu a zohrievanie prostredia. Takéto riešenie si však vyžaduje inštaláciu umelého osvetlenia, ktoré na druhú stranu spotrebúva elektrickú energiu, v konečnom výsledku je to však energeticky výhodnejšie. Na základe veľkosti haly, hrúbky a materiálu stien a rozdielu požadovanej vnútornej a vonkajšej teploty je možné určiť tepelné straty konkrétnej haly. Z toho potom vychádza dimenzovanie výkonu chladiaceho systému. Čo sa týka izolačného materiálu, v praxi sa najčastejšie používajú tri materiály: minerálna vlna, polystyrén alebo polyuretán. Všetky tri materiály sa používajú vo forme tuhých sendvičovo oplechovaných dosiek a sú rozsiahlo využívané pri aplikáciách tepelnej izolácie veľkých budov.

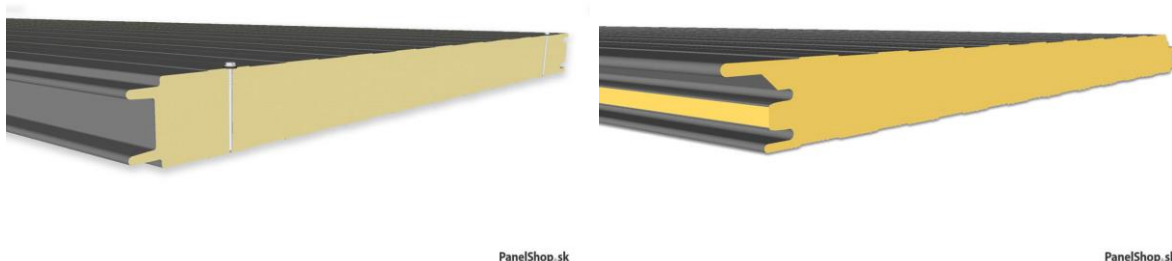
2.2.1 Polyuretán

Ku vynájdeniu polyuretánu ako plastového materiálu došlo pred vyše 80 rokmi, jeho tepelno-izolačný potenciál sa však prejavil až neskôr. Polyuretánové panely, inak nazývané aj PUR panely, v dnešnej dobe postupne nahrádzajú bežnú minerálnu vlnu nie len pri väčších budovách, ale aj v menších aplikáciách ako rodinné domy. Je možné s ním narábať aj v kvapalnej forme na vypenenie drážok, prípadne aj celoplošné vypenenie. Evolúciou tejto technológie vznikli panely PIR, ktoré sú veľmi podobné panelom PUR. Chemickým zložením sú založené na kombinácii polyuretánu a polyisokyanurátu. Hlavnou výhodou takýchto panelov je ich vyššia odolnosť voči ohňu, čo je samozrejme v budovách veľmi žiadúce. [20]

Medzi hlavné výhody izolačných panelov založených na polyuretáne je okrem veľmi nízkej tepelnej vodivosti a odolnosti voči ohňu hlavne ich cena. V porovnaní s minerálnou vlnou je rozdiel minimálny, cena sa líši od výrobcu a od hrúbky požadovaného panelu. Oproti akémukoľvek inému izolačnému materiálu sú PUR/PIR panely oveľa pevnejšie a odolnejšie voči vonkajšiemu poškodeniu. Zároveň sú stále ľahké a jednoducho sa s nimi manipuluje. Okrem toho sú odolné proti biologickému znehodnoteniu napríklad plesňami alebo hlodavcami. Všetky tieto vlastnosti dokopy umožňujú veľmi širokú škálu použitia sendvičových polyuretánových dosiek v stavebníctve. [21]

Výrobcovia ponúkajú pre komerčné využitie rôzne varianty hrúbky panelov od 30 mm až po 200 mm, pre špeciálne prípady je určite možné na objednávku vyrobiť aj hrubšie panely. Okrem hrúbky a rozmerov panelu je možné si pri výrobcach zvoliť aj rôzny profil a hrúbky oplechovania. Štandardná hrúbka plechov z oboch strán ponúkaná výrobcom je do 0,7 mm. Výrobcovia taktiež ponúkajú rôzne varianty spojov, kde si zväčša zákazník môže vybrať medzi spojom viditeľným a skrytým. Skrytý spoj vytvorí jednoliatu stenu bez viditeľného prerušenia, ale za jemne vyššiu cenu. Momentálne sa polyuretán javí ako jeden z najlepších na stavbu akejkoľvek väčšej haly, či už ide o výrobnú halu kde sa musí kúriť, alebo práve o lyžiarsku halu, kde sa musí naopak chladiť.

Steny aj strecha lyžiarskej haly musia byť samozrejme zložené z jedného celistvého panelu kvôli stabilite budovy a zamedzení vzniku akýchkoľvek tepelných netesností. Skladanie stien z viacerých tenších vrstiev montovaných za sebou by spôsobilo zbytočné komplikácie. Na druhej strane pri dokonalom zvládnutí konštrukcie a montáže by bolo možné vytvoriť stenu z dvoch samostatných vrstiev izolačných dosiek, medzi ktorými by bol vzduch. Izolácia by potom fungovala podobne ako napríklad plastové dvojsklové okno, kde vzduch by zaručoval ďalšiu veľmi efektívnu vrstvu izolácie. Pri takomto riešení by sa ušetril izolačný materiál, kde by vrstvy izolačných dosiek mohli byť tenšie a zároveň by si steny zachovali vysoký tepelný odpor. Aby zostavenie stien z dvoch vrstiev izolácie a medzivrstvou vzduchu fungovalo, montáž dosiek by musela byť dokonale tesná. Takéto riešenie by kládlo vyššie nároky a náklady na stavbu a malo by väčší význam pri lokalite haly v oblasti vysokých vonkajších teplôt, kde by sa za normálnych okolností bolo nutné použiť extrémne hrubé izolačné dosky.



Obrázok 9: Sendvičový polyuretánový panel s viditeľným a skrytým spojom [22] [23]

2.2.2 Polystyrén

Polystyrén ako materiál je verejnosti veľmi dobre známy a našiel uplatnenie v širokej škále použití. V stavebníctve našiel hlavné využitie ako tepelne a zvukovo izolačný materiál. Poznáme dva hlavné typy polystyrénu využívaného na tepelnú izoláciu budov a to je expandovaný EPS polystyrén a extrudovaný XPS polystyrén. Tieto materiály sú síce oba nazývané ako polystyrén, majú však mnoho odlišností z ktorých vyplývajú ich rozličné formy použitia. [24]

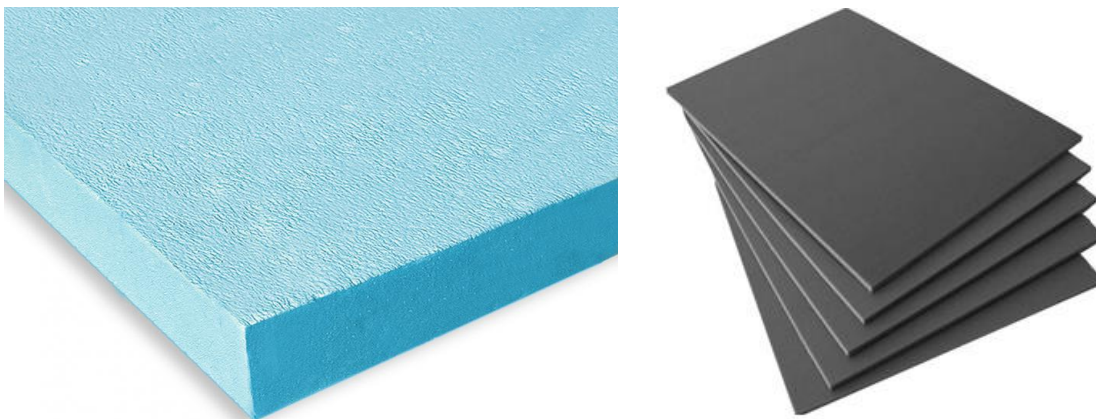
Polystyrén EPS sa často nazýva ako fasádny a je najčastejšie používaný na izoláciu práve fasád budov. Jedná sa o klasický biely polystyrén, ktorý je používaný aj v množstve každodenných aplikácií ako balenie. Vyrába sa procesom polymerizácie, kde sa do granúl styrénu pridáva pentán C_5H_{12} . Styren touto reakciou expanduje a zväčšuje svoj objem až 40 násobne. To má za následok veľké množstvo

vzduchových dutín, čiže vysokú pórovitosť výsledného materiálu. Práve vysoký obsah vzduchu v štruktúre hmoty má za následok výborné tepelno-izolačné vlastnosti polystyrénu EPS. Samotný materiál polystyrénu tvorí len 2 % hmotnosti, zvyšných 98 % tvorí vzduch pevne uzavretý v materiály. Už z postupu výroby je zrejmé, že materiál bude veľmi ľahký ale zároveň veľmi lámavý a krehký. Práve pri rozlomení polystyrénovej dosky sú výborne viditeľné nafúknuté granule pôvodného styrénu, ktoré sa pri reakcii nalepujú na seba. Výrobná chemická reakcia umožňuje jednotlivé bloky polystyrénu tvarovať do rôznych tvarov podľa použitia. Zároveň je veľmi jednoduché materiál narezať na požadované rozmery. Veľkou výhodou EPS dosiek je taktiež cena, keďže oproti doskám XPS je cena za m² zhruba polovičná. Cena EPS polystyrénu sa pohybuje okolo 0,5 €/m² pri doske hrubej 5 cm. Z vyššie spomenutých vlastností vyplýva, že z hľadiska tepelnej izolácie budov je polystyrén EPS výborným a dostupným materiálom. Kvôli nedostatočnej tvrdosti však nie je vhodný na zateplenie plôch s pravidelným tlakovým zaťažovaním ako podlahy a základové dosky. Preto je vhodný hlavne na bočné steny a prípadne ploché strechy, po ktorých sa nebude chodiť. Tepelná vodivosť polystyrénu EPS sa pohybuje na úrovni $\lambda = 0,040 \text{ W/m.K.}$ [25]

Polystyrén XPS, v stavebníctve známy aj ako styrodur, sa od polystyrénu EPS veľmi líši. Už na prvý pohľad má viditeľne hustejšiu štruktúru a väčšinou je aj inak zafarbený. Výrobný proces je od EPS polystyrénu veľmi odlišný. Styren je extrudovaný, čiže vytlačovaný v lise za pôsobenia vysokého tlaku a teploty. Nepochádza ku žiadnemu pridávaniu vzduchu, práve naopak, materiál je stláčaný do veľmi pevnej štruktúry. Počas priebehu výroby sa do styrénu pridávajú rôzne prísady a výsledný materiál je veľmi pevný a odolný. Preto je charakteristickou vlastnosťou extrudovaného XPS polystyrénu jeho vysoká pevnosť v tlaku. [25] Schopnosť odolávať krátkodobému ale aj dlhodobému pôsobeniu tlakovej sily sa pri materiáloch vyjadruje hodnotou napätia v kPa, ktorá je potrebná na 10 percentné stlačenie materiálu. Bežná hodnota tohto zaťaženia pre XPS polystyrén je na úrovni 700 kPa. [26] Pre porovnanie, EPS polystyrén dosahuje maximálne 150 kPa. Ďalšou hlavnou výhodou XPS polystyrénu je minimálna nasiakavosť vlhkosti. Materiál môže byť kľudne použitý ako kontaktná vrstva s pôdou a v niektorých prípadoch slúži zároveň ako hydroizolácia. Práve vysoká pevnosť v tlaku a odolnosť voči vlhkosti predurčujú extrudovaný XPS polystyrén ako ideálny materiál na použitie izolácie plôch, po ktorých sa bude chodiť. To znamená izolácia základových dosiek domov, prípadne podláh. Okrem toho má o niečo lepšie tepelno-izolačné vlastnosti ako EPS polystyrén, kde súčiniteľ tepelnej vodivosti sa pohybuje okolo $\lambda = 0,035 \text{ W/m.K.}$ Tieto všetky výhody však idú ruka v ruke s vyššou cenou, kde doska hrubá 5 cm stojí zhruba 1€/m².

Neustále sprísňovanie noriem na zateplovanie domov a budov a zároveň ciele majiteľov znižovať energetickú náročnosť stavieb viedli ku zvyšovaniu tepelno-izolačných požiadaviek na používané izolačné materiály. Prirodzenou reakciou bolo hľadanie nových spôsobov, ako vytvoriť ešte účinnejšie typy izolácie či už z existujúcich materiálov alebo z úplne nových. Hrúbka materiálu sa nemôže zvyšovať do nekonečna, preto prirodzene snaha smeruje na znižovanie súčiniteľa tepelnej vodivosti. V prípade polystyrénových izolácií výskum viedol ku záverom, že materiály dosahujú výrazne lepšie izolačné vlastnosti pridaním látky, ktorá bude absorbovať infračervené žiarenie. Preto sa do základnej matrice pri výrobnom procese polystyrénových izolácií začali pridávať grafitové častice. Takéto materiály sú ľahko

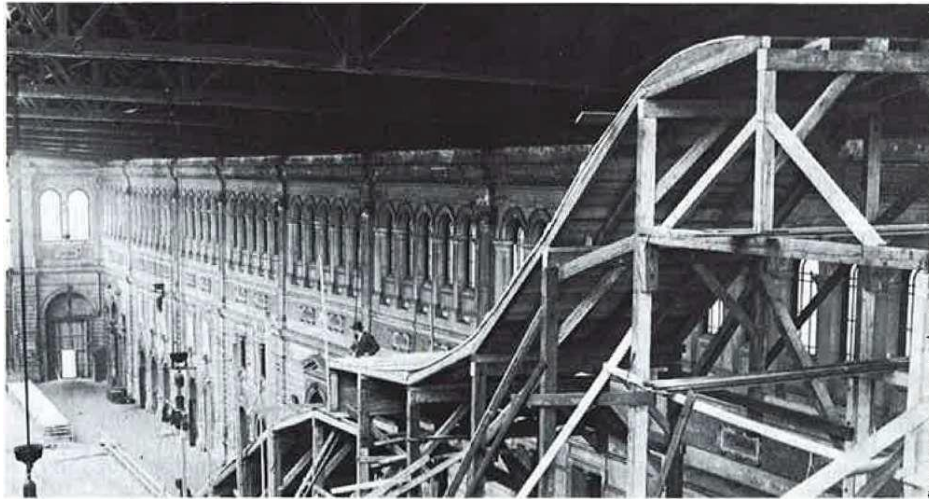
rozoznatelné kvôli sivej farbe spôsobenej práve grafitom. Pridanie grafitu zvyšuje izolačné vlastnosti až o 20 %, to znamená že súčiniteľ tepelnej vodivosti sa pri EPS polystyréne s grafitom posunul na $\lambda = 0,031 \text{ W/m.K}$. [27] Pre aplikáciu lyžiarskej haly sa bude javiť veľmi dobre použitie XPS polystyrénu na izoláciu podlažia kvôli jeho zvýšenej pevnosti. Zaujímavá môže byť aj možnosť použitia grafitového XPS polystyrénu, ktorý síce nie je na trhu taký bežný ale je možné nájsť firmy, ktoré ho ponúkajú.



Obrázok 10: Izolačné dosky z extrudovaného a extrudovaného grafitového polystyrénu [25] [28]

3 Lyžiarske haly

Prvé pokusy o vnútorné lyžovanie prekvapivo siahajú až do 20tych rokov minulého storočia. Za úplne prvý uzavretý lyžiarsky svah sa pokladá nápad prerobiť nefungujúcu železničnú stanicu v Berlíne z roku 1926. Ďalší vážnejší projekt s myšlienkou dlhodobej prevádzky vznikol vo Viedni v roku 1927. Aj tu platí, že hala vznikla na opustenej železničnej stanici. Rovnako pre obe platí, že ako náhrada snehu bola použitá umelo vytvorená zmes rozdrveneň sľudy, kryštálov sódy a pilín. Táto zmes bola potom vtlačaná do kefových rohoží na svahu. Imitácia snehu bola v danej dobe uznaná odborníkmi ako nezávadná, dnes by to asi tak jednoducho neprešlo. Pred takmer sto rokmi samozrejme technológia nič lepšie ako nahradiť sneh niečím iným neumožňovala. Nebolo možné vytvoriť kontinuálne chladenie a dosiahnutie dostatočnej izolácie pre tak veľký priestor a preto sa experimentovalo. Zároveň sa kvalita takejto zmesi po čase zhoršovala a nebola porovnateľná s prírodným snehom. Preto sa aj napriek prvotnému veľkému záujmu verejnosti myšlienka vnútorného lyžovania ďalej nerozvíjala. [29]



Obrázok 11: Prvý pokus o krytý lyžiarsky svah, Viedeň 1927 [29]

Nápad lyžovania vo vnútri sa znova objavil až v 60tych rokoch. Tentokrát pokusy spočívali v navození prírodného snehu na krytý svah. Stále však neboli prítomné žiadne chladiarenské zariadenia na udržiavanie optimálnych podmienok, preto tieto realizácie fungovali len v zime a tým pádom nemali veľký význam. Technologickým pokrokom v oblasti chladenia bolo neskôr možné dostať vzduch v hale do záporných teplôt, stále však nebolo možné sneh priamo vyrobiť. Preto sa znova hľadali náhrady vo forme umelo vytvorených chemických zlúčenín pripomínajúcich sneh, prípadne sa experimentovalo s rozsekávaním ľadu v kombinácii s navázaním prírodného snehu. Takéto riešenia sa začali objavovať koncom 80tych rokov. Netrvalo však dlho a začali sa budovať haly, v ktorých sa sneh vyrábala bez akýchkoľvek chemických prísad len za použitia vody, vzduchu a samozrejme chladu. Prvá lyžiarska hala, v ktorej sa priamo produkoval umelý sneh bola otvorená vo Veľkej Británii v roku 1994. Dá sa povedať, že všetky lyžiarske haly, ktoré sú dnes v prevádzke, fungujú na takomto princípe. Dnešná ekologická doba by rozhodne nepripustila fungovanie haly, ktorá by mohla mať čo i len minimálny negatívny vplyv na životné prostredie.

Práve technologický pokrok v oblasti chladenia spolu s vylepšovaním konštrukcie vnútorných zasnežovacích systémov mali za následok veľký rozmach lyžiarskych hál v posledných rokoch. Za posledných 30 rokov ich po celom svete vyrástlo mnoho, dnes je v prevádzke 109 hál po celom svete. Len v Európe je ich už takmer 40, rovnako tak aj v Číne. Práve v Číne, kde sú podobné projekty výrazne podporované vládou, ich za posledné roky vybudovali najviac. Hneď niekoľko je v prevádzke v Holandsku, na Britských ostrovoch a v Nemecku. Za zmienku stoja projekty v extrémnych podmienkach ako supermoderná hala v Dubaji alebo haly v Madride, v Egypte, alebo v Brazílii. Do budúcnosti sú plánované výstavby hál v zaujímavých lokalitách ako Juhoafrická republika, Thajsko, Turecko ale aj Slovensko. Momentálne pre našich jediná z najbližších hál stojí v Litve. Zaujímavé sú taktiež stavby v Škandinávii, ktoré spájajú lyžiarsky svah spolu s bežkárskou dráhou, prípadne uzavreté tunely určené čisto na bežecké lyžovanie. [30]

Veľký význam krytých hál spočíva okrem komerčného využitia aj na účely tréningu. Pre každého profesionálneho ale aj nádejného zjazdára je veľmi dôležité udržať si kontakt so snehom aj mimo hlavnej sezóny. Možnosti tréningu v lete v rámci

Európy sú však veľmi obmedzené, až na pár alpských ľadovcov si od júna do septembra nezalyžujete. Jedinou alternatívou je potom cesta za snehom na južnú pologuľu, ale nie každý má finančné zdroje na sústredenia na Novom Zélande alebo v Čile. Práve tu by mohli tento problém vyriešiť lyžiarske haly, ktoré by za rozumné peniaze pretekárom priniesli relatívne kvalitné tréningové podmienky. Veľkou nevýhodou je však sklon a nedostatočná dĺžka krytých svahov, preto by sústredenia na krytých svahoch prichádzali do úvahy len pre tréning najtočivejšej disciplíny-slalomu. Akýkoľvek tréning je však lepší ako žiadny a myslím, že práve preto by lyžiarska hala mala svoj význam v akejkoľvek krajine. Zaujímavé by to mohlo byť aj na tréning bežkárov, ktorí by nemuseli byť v lete odkázaní len na kolieskové bežky.



Obrázok 12: SNØ aréna pri nórskom Osle [31]

3.1 Ekonomika

Z hľadiska ekonomiky sa stavba lyžiarskej haly spája s vysokou počiatočnou investíciou až v desiatkach miliónov eur, čo je pri projekte takých rozmerov pochopiteľné. Návratnosť celej investície je preto v rozmedzí niekoľkých rokov, počíta sa však s prevádzkou oveľa dlhšou ako je doba návratnosti. Haly majú potenciál byť ekonomicky veľmi úspešné hlavne kvôli svojej unikátnosti a prakticky nulovej konkurencii v širokom okruhu, obzvlášť v letných mesiacoch. Prevádzkové náklady rozhodne nie sú malé, na druhú stranu sú však relatívne stabilné. Vysoké náklady spojené či už s poruchou alebo s údržbou sa môžu týkať hlavne chladiaceho systému, prípadne ostatného technického vybavenia. Riziko nejakých neočakávaných výdavkov, prípadne legislatívnych zmien však nie je vysoké a preto môžu byť lyžiarske haly považované za vcelku kľudný biznis. Najväčšie prevádzkové náklady sú rozhodne spojené s chladením a s prevádzkou lanoviek a vlekov. Zvyšné náklady na elektrinu idú do počiatočného zasneženia a potom priebežného dosnežovania. Mzdy budú tiež

tvoriť veľkú časť nákladov, pretože chod haly vyžaduje veľké množstvo pracovníkov na rôznych pozíciách.

Všetky tržby haly sa budú odvíjať od počtu návštevníkov a od množstva peňazí, ktoré minú na rôzne služby. Bude žiadúce do haly prilákať čo najviac ľudí a získať si tak pravidelnú klientelu. Čím viac ľudí si nájde cestu do haly, tým skôr sa počiatočná investícia vráti a hala začne byť zisková. Projekt je zväčša navrhovaný s myšlienkou byť v prevádzke 365 dní v roku. Najväčší podiel na celkových tržbách bude mať určite predaj skipassov. Ceny celodenných skipassov sa v európskych halách pohybujú na úrovni 30 €, čo je porovnateľné s väčšími lyžiarskymi strediskami. Značné tržby však určite prinesú aj doplnkové služby ako reštaurácie, hotely, požičovňa lyží, lyžiarska škola a rôzne iné služby ako napríklad wellness.

V rámci energetickej bilancie objektu je veľmi výhodné, že odpadné teplo vzniknuté pri chladení sa môže spätne využiť pri vykurovaní príľahlej infraštruktúry. Zdroj elektrickej energie je výrazne závislý na lokalite haly a možnostiach. Hala jednoznačne musí byť pripojená na stabilný zdroj elektrickej energie, mnohé haly sú však stavané s fotovoltaickými panelmi na streche, čo zníži náklady na dodávanú elektrinu. Pri fotovoltaike sa však musí zväžiť, či sa inštalácia vôbec vyplatí, napríklad pri severnejšie položených halách sa kvôli nevýhodnému sklonu slnka toto riešenie častokrát vynechá.

3.2 Vplyv na životné prostredie

Aj keď to na prvý pohľad nemusí byť zrejmé, lyžiarska hala pri svojej prevádzke nemá žiadny priamy negatívny vplyv na životné prostredie. Jediným vplyvom by mohlo byť odparovanie chladiva pri použití HCF halogenovaných uhľovodíkov, tie sa však v takejto aplikácii nevyskytujú. Okrem toho nedochádza ku žiadnym emisiám ani do vzduchu a ani do pôdy. Aj napriek tomu sa takéto projekty nestretnú vždy s priazňou verejnosti. Samozrejme, značnej časti odporcov môže vadiť energetická náročnosť prevádzky, iný sa môžu sťažovať na hluk kompresorov v chladiacich obehoch. Očividná sťažnosť môže prísť na vizuálnu stránku projektu, obrovská hala samozrejme dosť ťažko splynie s okolím. Všetko sú to však podľa môjho názoru zanedbateľné negatíva ak prihliadneme na to, aký zaujímavý a unikátny projekt môže lyžiarska hala byť.

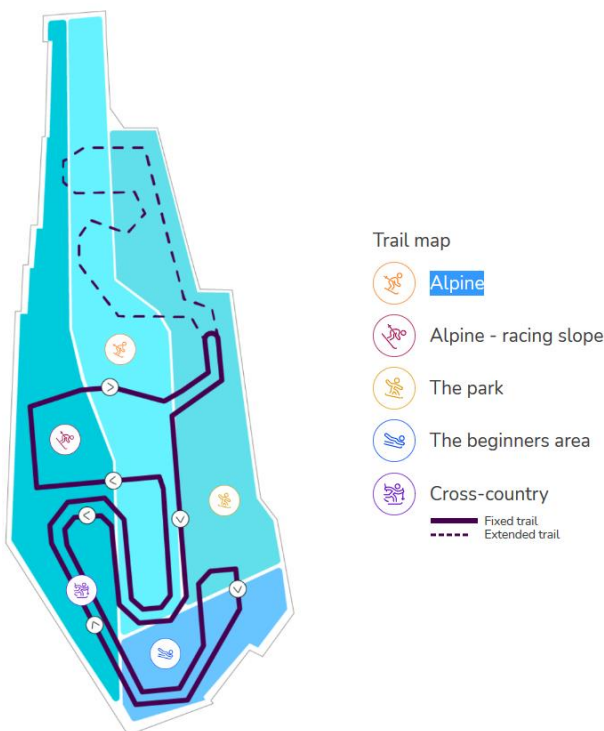
3.3 Štandardy realizácií vo svete

Na trhu pôsobí niekoľko spoločností, ktoré sa venujú systémom na vnútornú výrobu umelého snehu. Mnohé firmy venujúce sa chladiarenským systémom majú v ponuke aj systémy na výrobu snehu. Staršie a jednoduchšie systémy môžu fungovať tak, že sú schopné vyrábať sneh pri teplote maximálne -10°C . K tomu musí byť prispôsobený aj chladiaci systém. Niektoré systémy však túto podmienku šikovne obchádzajú, ako napríklad vyššie spomenutý Technoalpin S6. Efektivita haly výrazne závisí od ceny elektriny v danej oblasti. Hala vo vyhovujúcich lokalitách s dostatočne intenzívnymi slnečnými lúčmi môže časť elektriny vyrábať sama pokrytím strechy fotovoltaickými panelmi. Haly spravidla umožňujú využitie odpadného tepla z chladiacich systémov, ktoré sa spätne využíva na vykurovanie doplnkovej infraštruktúry haly. V prípade chladenia veľmi závisí na konkrétnej hale, rôzne riešenia chladenia sú prispôbované na danú situáciu. Výkon chladiaceho systému sa odvíja

od priemernej teploty v mieste haly a od rozmerov haly. Najdominantnejšími hráčmi na trhu s chladiarenskými systémami sú spoločnosti Carrier, Gea, Danfoss a ďalšie firmy vyrábajúce len určité komponenty. Haly majú vždy okrem hrubej a dôkladne navrhnutej izolácie súbor chladiacich trubiek pod povrchom svahu, ktoré majú za úlohu zabrániť rozpúšťaniu snehu. Z chladív sa najčastejšie využíva amoniak, hlavne pri požiadavke nižšej výparnej teploty. Do popredia sa začínajú dostávať aj systémy využívajúce CO₂, prípadne sa experimentuje s používaním kombinácie týchto dvoch chladív v rôznych pomeroch. [30]

3.3.1 SNØ Arena, Nórsko

Asi najzaujímavejším projektom v Európe, ktorý bol len nedávno uvedený do prevádzky je SNØ aréna pri Osle. Kombinuje 500 metrov dlhú a až 100 metrov širokú zjazdovku pre lyžiarov s prevýšením 90 metrov a 1 kilometer dlhú bežkársku trať umiestnenú nad zjazdovkou. Bežkársku trať je vytvorená ako okruh a v najvyššom bode siaha konštrukcia trate až 20 metrov nad lyžiarsku zjazdovku. Vo vybraných hodinách je bežkársku trať predĺžená o stúpanie po zjazdovke, čo celý okruh predĺži až na 1500 metrov. Ide o unikátny nápad, ktorý ako jediný na svete poskytuje možnosti pre oba tieto zimné športy zároveň. Výstavba takejto haly v Nórsku potvrdzuje fakt, že aj v krajinách s výhodnými klimatickými

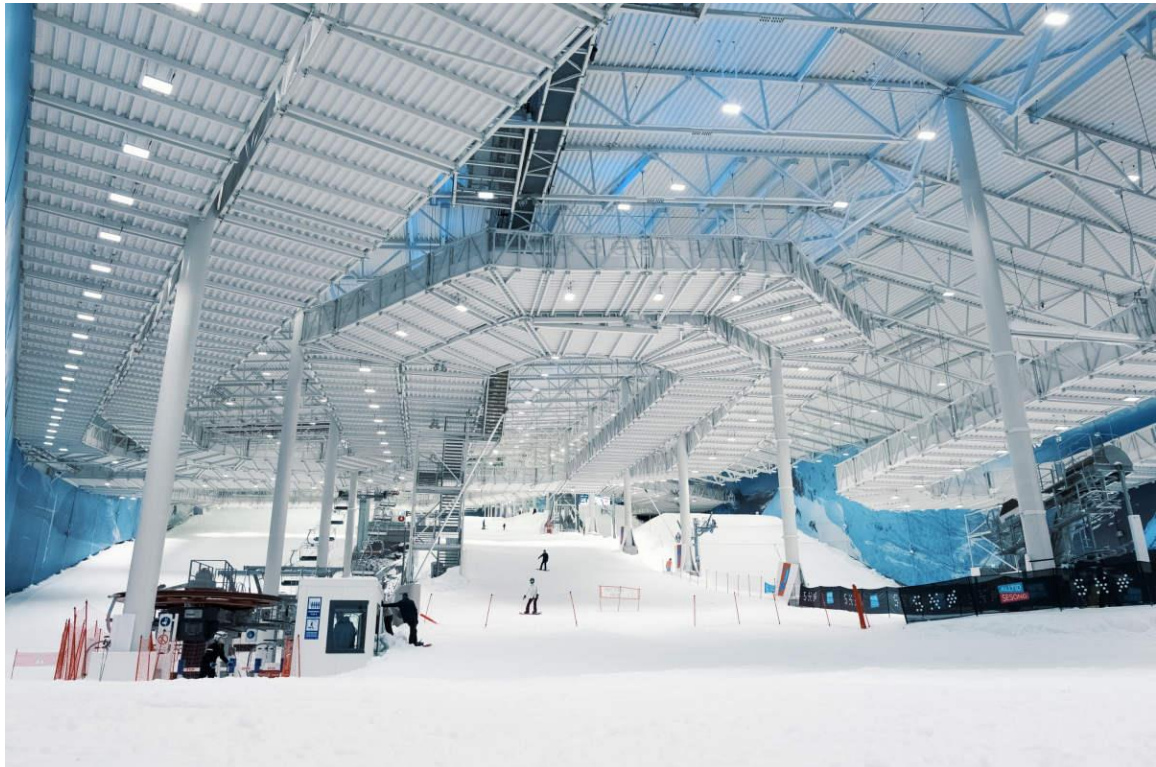


Obrázok 13: Plán zjazdoviek arény SNØ [32]

podmienkami pre zimné športy majú kryté haly zmysel. V krajinách, kde majú zimné športy oveľa viac fanúšikov je aj skupina potencionalných pravidelných zákazníkov oveľa väčšia ako napríklad v teplých krajinách. Hala bola otvorená začiatkom roka 2020 a síce jej doterajšiu prevádzku poznačila svetová pandémia, do budúca má určite potenciál byť jedným z najúspešnejších projektov na svete. [32]

V hale je použitý chladiaci systém spoločnosti Carrier využívajúci ako chladivo prírodný CO₂ získaný z vonkajšieho vzduchu. Inštalované sú tri jednotky modelu PowerCO2OL s kombinovaným výkonom až 3100 kW, kde každá má podľa výrobcu schopnosť ísť na chladiaci výkon 1200 kW. Chladiaci systém ma tiež schopnosť plného využitia všetkého odpadného tepla vznikajúceho pri kondenzácii chladiva. [34] Keďže je ako chladivo v obehu použitý CO₂, tlak vyparovania je až 80 barov. Kompresor stláča plynný oxid uhličité o ďalších 40 barov a kondenzácia chladiva prebieha až pri 120 baroch. Pre stabilnú prevádzku pri tak vysokých tlakoch musí byť konštrukcia celého obehu prispôsobená. Na každej jednotke môže byť použitých maximálne až osem šesťvalcových polohermetických kompresorov. [33] Polohermetická konštrukcia je veľmi výhodná pre procesy chladenia, pretože pri prevádzke zabezpečuje úplnú

izolovanosť od vonkajšieho prostredia. Zároveň umožňuje pri prípadnej poruche kompresor rozobrať a opraviť, čo je z finančného hľadiska veľmi výhodné. Kompresor je totiž najporuchovejšia súčasť chladiaceho obehu a pri nerozoberateľnom dizajne by sa musel pri poruche celý vymeniť. [35] Zvýšený výkon chladiaceho obehu je v tomto prípade zapríčinený okrem dĺžky haly hlavne výškou strechy a nutnosťou zasnežovať aj bežkársku trať.



Obrázok 14: Pohľad zdola na bežkársku trať v aréne SNØ [36]

3.3.1 Alpincenter Bottrop, Nemecko

Najväčšou lyžiarskou halou v Nemecku je hala alpincenter Bottrop. Aj keď bola postavená už v roku 2001, s dĺžkou zjazdovky 640 metrov jej dodnes patrí titul najdlhšej krytej haly na svete. Táto dĺžka bola dosiahnutá unikátnym umiestnením haly do svahu v tvare pripomínajúcom tiahlu zákrutu. Zaujímavé je aj umiestnenie pásu na dopravu ľudí späť na vrch kopca, ktorý kvôli ušetreniu nákladov a aj času na prepravu nekopíruje lyžiarsky svah. Spája totiž vrchnú a spodnú časť svahu najkratšou možnou dráhou vo vlastnom tunely, ktorý je sčasti pod povrchom zeme. Infraštruktúra je už vzhľadom na vek haly v porovnaní s modernými halami značne zastaralá. Obzvlášť absencia klasickej lanovky na sedenie je dosť nekomfortná, cesta hore trvá vyše 5 minút a lyžiar musí celý čas stáť. Aj šírka svahu 30 metrov je už na dnešné štandardy málo. V Nemecku je ale naďalej veľmi obľúbená. Zaujímavé je, že oproti ostatným spomenutým halám má celú strechu pokrytú fotovoltaickými panelmi. [37]



Obrázok 15: Najdlhší krytý lyžiarsky svah na svete, Bottrop, Nemecko[38]

3.3.2 Ski Dubai, Spojené arabské emiráty

Príkladom haly v úplne opačných podmienkach ako je vyššie spomenutá hala v Nórsku je lyžiarska hala v Dubaji. Dokazuje, že pri dostatku finančných prostriedkov je možné vybudovať lyžiarsku halu aj v extrémne teplých podmienkach v krajine bez akejkoľvek histórie zimných športov. Hala bola otvorená v roku 2006 ako prvý obdobný projekt na Blízkom východe a hneď sa zaradila medzi najzaujímavejšie stavby svojho druhu. Snehová plocha 22 500 m² ponúka 5 zjazdoviek kde najdlhšia má 400 metrov. Funkcia haly v takýchto nezvyčajných podmienkach je hlavne ako turistická atrakcia. Cena celodenného skipassu sa pohybuje okolo 70 €, čo je aj oproti moderným európskym halám zhruba dvojnásobok. [39] Rozhodne sa teda nedá hovoriť o nejakej snahe rozšíriť popularitu zimných športov medzi bežným obyvateľstvom v exotických krajinách, cielená je skôr pre bohatšie vrstvy a pre turistov.

Chladienie v hale je riešené systémom 29 vzduchových chladičov (výparníkov) s kombinovaným chladiacim výkonom 2600 kW. Hlavnými komponentami chladiaceho obehu sú tri skrutkové kompresory od spoločnosti GEA. Z viacerých dôvodov bol ako chladiivo pre túto konkrétnu aplikáciu zvolený amoniak. Oproti CO₂ sa s amoniakom jednoduchšie dosahujú nízke teploty. Zasnežovanie v hale je totiž naplánované tak, že každý večer sa hala vychladí až na -10 °C a spustí sa zasnežovanie. Každú noc sa takýmto spôsobom dosneží až 30 ton čerstvého snehu. [18] Takéto riešenie bolo nutné preto, že vonkajšie teploty v Dubaji môžu kľudne presahovať 40 °C a aj napriek predimenzovanej izolácii bude vždy dochádzať ku energetickým stratám a ku topeniu snehu počas dňa. Oproti halám v miernejších podmienkach, kde ku topeniu snehu

bežne nedochádza, je takéto riešenie oveľa viac energeticky náročné. Pri projektovaní lyžiarskeho svahu na púšti sa však určite rátať s vysokými energetickými stratami. Prevádzkové náklady však v konečnom výsledku nemusia byť vyššie ako pri iných projektoch. Cena za kWh elektriny v krajinách Blízkeho východu je totiž menej ako polovičná oproti Európe. [41] Z toho vyplýva aj fakt, že hala nemá na streche fotovoltaické panely, aj keď by v takejto slnečnej oblasti opodstatnenie rozhodne mali.



Obrázok 16: Lyžiarska hala v Dubaji [39]

3.3.3 Snow arena, Litva

Ďalšou zaujímavou stavbou v Európe je hala Snow Arena pri meste Druskininkai v Litve. Je špecifická v tom, že kombinuje okrem 460 metrov dlhého a 50 metrov širokého krytého svahu aj 640 metrov dlhú vonkajšiu zjazdovku, ktorá môže byť v prevádzke v zimných mesiacoch a spolieha sa na prírodný sneh. Obe zjazdovky sú prepojené na hornom a dolnom konci haly. Aby sa zabránilo väčším energetickým stratám cez vstup a výstup na vonkajšiu zjazdovku, teplota vzduchu na otvorenie vonkajšej zjazdovky musí byť aspoň -5°C , čiže nižšia ako v hale, aby nedochádzalo ku vyvetraniu chladu cez vrchné a spodné dvere. Hala s odhadovanou cenou 30 miliónov eur je v prevádzke už 10 rokov a je veľmi obľúbeným miestom aj pre slovenských a českých pretekárov na tréning v letných mesiacoch kvôli jej relatívne blízkej polohe. [42] O udržiavanie nízkej teploty vzduchu v hale sa starajú dva skrutkové kompresory spoločnosti Emerson o spoločnom chladiacom výkone 1350 kW, ktoré zároveň chladia aj svah. Tretí kompresor od rovnakej spoločnosti o výkone 370 kW je vyhradený na produkciu snehu. To znamená, že ako chladenie, tak

aj zasnežovanie budú tvoriť samostatný uzavretý okruh. Celkový chladiaci výkon projektu je teda 1720 kW. [43]



Obrázok 17: Lyžiarska hala s vonkajším svahom v Litve [44]

3.3.4 Lyžiarska hala Donovaly

Veľmi zaujímavý projekt lyžiarskej haly sa rysuje aj na Slovensku v obci Donovaly. Či sa aj zrealizuje je však stále otáznе. Pôvodný návrh projektu sa začal vypracovávať už pred tromi rokmi ale stále sa nezačalo s výstavbou. Informácia o výstavbe lyžiarskej haly sa totiž nestretla s úspechom pri obyvateľoch obce, zväčša víkendových chatároch. Obec Donovaly bola totiž v minulosti kľudná horská dedina s nedotknutou prírodou a s tradíciou zimných športov, špeciálne pretekov psích záprahov. Podľa môjho názoru však toto čaro Donovaly dávno stratili po masovej výstavbe obrovských hotelov v posledných rokoch a lyžiarska hala by už z tohto hľadiska obci nijako neublížila.

Majitelia okolitých nehnuteľností však veľmi aktívne spustili petíciu proti výstavbe, ktorú nakoniec podpísalo až 23 tisíc ľudí. Aj tá dopomohla k tomu, že okresný úrad v Banskej Bystrici zrušil pôvodné územné povolenia obce Donovaly a stavba sa nezačala realizovať. Rovnako zrušil aj pôvodne vydané rozhodnutie posudzovania vplyvov na životné prostredie na výhrady krajskej prokuratúry. Podľa posledných informácií by však predsa mohol okresný úrad vydať k veci súhlasné stanovisko. Zákonnosťou pôvodného povolenia sa navyše momentálne zaoberá krajský súd, keďže celý proces vydávania povolení vzbudzuje viacero otázok. Celá vec sa teda zamotala do kruhu povolení a odvolaní na niekoľkých úradoch. Investor bol dokonca ochotný vyhovieť obyvateľom zmenou projektu, ktorá by síce stavbu

predražila, ale viac by zapadla do okolitej prírody. Momentálne všetko navyiac skomplikovala aj svetová pandémia a projekt je nateraz zastavený. Posledné vyjadrenie developera hovorí o začiatku stavby v roku 2022 a konci o dva roky neskôr. Celý projekt by mal stáť vyše 60 miliónov eur. [45]



Obrázok 18: Pôvodný projekt haly na Donovaloch [46]

Stavba by mala okrem samotnej haly ponúkať štandardnú infraštruktúru v podobe hotela a reštaurácií, požičovne lyží, wellness a obchodov. Svah by mal byť tvorený tromi hlavnými zjazdovkami a ďalšími dvoma vyhradenými pre začiatočníkov. Na prepravu by sa mala využívať sedačková lanovka doplnená o klasické vleky. Súčasťou projektu má byť aj krytý hokejový štadión. Podľa pôvodného projektu mala byť strecha haly pokrytá fotovoltaickými panelmi na výrobu elektriny, v upravenom projekte by však strechu mala pokrývať zeleň. Prebytočná energia vzniknutá pri chladení by mala byť, ako už býva zvykom, využitá na vykurovanie reštaurácií a hotelov. Prebytky elektriny by mali slúžiť aj na nabíjanie elektromobilov vo verejne dostupnej nabíjacej stanici. [47] Konečná podoba haly je však stále len predbežná a môže sa na základe pripomienok príslušných úradov zmeniť. Ak by sa ju predsa podarilo zrealizovať, bola by jedinou v strednej Európe. Celá oblasť by zo zvýšeného cestovného ruchu mohla profitovať po celý rok. Donovaly už majú vybudovanú ubytovaciú a gastronomickú infraštruktúru kvôli klasickému lyžiarskemu stredisku a hala by rozhodne priniesla vyššie vyťaženie týchto kapacít aj v lete. Teraz závisí len na rozhodnutí úradov ale bola by veľká škoda, keby sa takýto unikátny projekt nakoniec nerealizoval.



Obrázok 19: Vizualizácia haly na Donovaloch po úpravách [48]

4 Vlastný návrh lyžiarskej haly

Nasledujúce kapitoly budú venované návrh konkrétnej lyžiarskej haly s danou geometriou a následnému posúdeniu tepelných strát a z toho vyplývajúcej energetickej náročnosti. Postup návrhu bude spočívať z určenia rozmerov svahu a z toho rozmerov celej haly na základe hrúbky použitej izolácie. Následne zhodnotím tepelné straty jednotlivých plôch haly od okolitého vzduchu a tiež od pôdy. Z tohto výpočtu, spolu s určením ďalších tepelných príspevkov, potom bude vychádzať nadimenzovanie chladiaceho systému. Výpočty strát budú vzťahované pre teplotu vonkajšieho vzduchu v najteplejších letných mesiacoch, aby bol zabezpečený dostatočný výkon chladiacich systémov počas celého roka.

Vzhľadom na to, že návrh by som chcel prispôbiť pre naše klimatické podmienky, príde mi ako logické sa v niektorých fázach návrhu bližšie pozrieť na projekt vyššie spomenutej plánovanej haly na Donovaloch. Ako prvé je nutné určiť si základný tvar haly. Okrem dĺžky a šírky svahu je na začiatku veľmi dôležité navrhnúť spôsob, akým sa na krytom svahu dosiahne požadovaný sklon. Ak sú v oblasti vhodné kopce, je určite výhodnejšie využiť na umiestnenie haly prírodný sklon kopca. Slovenská republika a síce v nižšej, ale stále dostatočnej miere aj Česká republika, disponujú dostatkem prírodných kopcov, do ktorých by mohla byť takáto hala zasadená. Tým odpadne nutnosť budovania podpornej konštrukcie pre vrchnú časť svahu, čo by len skomplikovalo stavbu. Určite sa javí ako jednoduchšie urobiť rozsiahlejšie výkopové práce ako nadstavovať umelý svah. Výhodné je to aj z hľadiska chladenia, kde môže byť pod celou plochou svahu rovnaký systém chladiacich trubiek zakopaných do pôdy a pod tým rovnaká vrstva izolácie. Pri dvoch rôznych prostrediach by sa s tým muselo počítať pri návrhu a rátať s vyššími tepelnými stratami cez podlažie haly. Obzvlášť v letných mesiacoch by rozhodne nastal vyšší tepelný tok z vyhriateho

vonkajšieho vzduchu ako z pôdy. Rovnako to zjednoduší určenie tepelných strát od spodnej strany haly, keďže do výpočtu bude vstupovať len pôda a straty by mali byť pod celou plochou lyžiarskeho svahu rovnomerné. Porovnanie spomenutých konštrukčných možností je zrejmé z realizácií haly v Nórsku (obrázok 12) a haly v Dubaji (obrázok 16).

4.1 Základy konštrukcie haly

Stavba lyžiarskej haly sa bude v mnohom podobáť stavbe priemyselných hál a skladov. Veľkým rozdielom však bude množstvo izolácie na stenách a streche haly. Stavba bude začínať rozsiahlymi výkopovými prácami často spojenými s odlesnením kopca. Pri projekte s využitím prirodzeného svahu je totiž nutné okrem základu stavby odizolovať svah od pôdy a zároveň vybudovať priestor pre rozvod trubiek podlahového chladenia pod zasneženou vrstvou. Samotná stavba bude stáť na pevnom betónovom základe, ktorý bude zaliaty do zeme po obvode svahu. Do betónového základu bude zasadená oceľová alebo železobetónová konštrukcia, na ktorú sa budú pripevňovať panely stien s funkciou tepelne izolovať halu od vonkajšieho prostredia. Bočné steny a strecha haly budú tvorené len týmito panelmi. Panely budú mať teda okrem izolačnej funkcie aj funkciu samotných stien a strechy. Preto bude nutné, aby použitý materiál spĺňal požiadavky na odolnosť voči vonkajším vplyvom a iným zdrojom poškodenia. Napríklad panely použité na streche musia navyše poskytovať dostatočnú tesnosť proti zatekaniu pri dažďoch.

Panely sa budú ukladať na seba od zeme až po strechu haly, rovnakým spôsobom bude potom pokrytá aj strecha. Použité izolačné panely budú sendvičového typu, kde izolačný materiál bude z oboch strán oplechovaný aby sa zabránilo jeho poškodeniu a polámaniu. Najspodnejší panel bude montovaný do predpripravenej lišty spojenej s betónovým základom budovy a ďalšie panely budú ukladané na seba smerom hore. Takéto panely sú vyrobené tak, že jeden do druhého zapadajú, čo zabezpečuje výbornú tesnosť na spoji panelov. Rovnako to uľahčuje stavebný proces, ukladanie panelov na seba je jednoduché a rýchle. Kvôli jednoduchej montáži je výhodné použiť horizontálne orientované panely, ktoré budú na oboch stranách priskrutkované o piliere oceľovej konštrukcie. Na bočných stranách panelov vzniknú medzery, ktoré sa však vyplnia penou s rovnakého materiálu. Bočné spoje sa na záver oplechujú a zaručí sa celistvá vrstva izolácie po celej stene haly bez slabých miest, cez ktoré by mohol do haly vnikáť teplý vonkajší vzduch. Celý tento postup názorne vidieť na príklade stavby haly v Litve na obrázku 20.



Obrázok 20: Konštrukcia lyžiarskej haly Druskininkai, Litva [49]

4.2 Geometria haly

Pri určení geometrie haly sa dá tiež odraziť od existujúcich projektov. Rozmery budú samozrejme súvisieť aj od ekonomickej stránky, keďže hala musí byť zisková. Od väčších rozmerov sa priamo odvíjajú vyššie náklady na chladenie a samozrejme aj vyššie náklady na výstavbu. Na druhú stranu, čím väčšia hala, tým väčšie množstvo možných návštevníkov môže krytý svah denne navštevovať. Je preto nutné primerane zhodnotiť, aký potenciál má lokalita haly a hala samotná z hľadiska počtu návštevníkov a podľa toho nájsť najrozumnejšie nadimenzovanie projektu. Investícia do projektu, ktorý výrazne prerastie ekonomický potenciál oblasti, sa nemusí vrátiť.

Základom pre celkový rozmer haly budú rozmery snehom pokrytého svahu. Od dĺžky a šírky svahu sa bude odvíjať dĺžka a šírka celej obálky, keďže hrúbky stien budú po celom obvode haly pre jednoduchosť konštrukcie rovnaké. Dĺžka svahu v intervale medzi 400 a 500 metrov a šírka okolo 50 metrov by sa mohla javiť ako rozumná voľba. Výška vnútorného priestoru bude zasa na uvážení, aby hala nebola príliš vysoká a strop zbytočne nezväčšoval objem chladeného prostredia. Zároveň však strop nemôže byť príliš nízko nad svahom, kde je nutné myslieť na výšku lanovkovej sedačky. Pri štandardnej konštrukcii rozhodne nie je nutné budovať priestor s výškou siahajúcou ku 30tým metrom ako v prípade haly v Nórsku. Výška haly okolo 10 metrov, prípadne o niečo viac, by sa mohla javiť ako vcelku reálna voľba. Celkový geometrický tvar obálky by som volil podľa vzoru haly v Litve alebo na Donovaloch, kde by išlo o symetrický kváder s rovnakou šírkou po celej dĺžke bez zbytočných komplikácií so zúženiami, prípadne zatočenými pasážami. Takýto svah by sa však hlavne pre pokročilejších lyžiarov mohol javiť ako nudný a jednotvárný. Pre zvýšenie zaujímavosti krytého svahu by však bolo možné pri výkopových prácach umelo vytvoriť zmeny

sklonov a tým sa snažiť napodobniť prírodné kopce. To by dodalo svahu atraktivitu aj bez komplikovania konštrukcie haly. Vonkajší tvar haly by takéto pozemné úpravy veľmi neovplyvnili, preto sa budem v mojom návrhu držať tvaru jednoduchého kvádra.

4.3 Izolácia

Hrúbka izolácie bude na uvážení, aká vrstva izolačného materiálu je potrebná pre konkrétnu lokalitu podľa vonkajšej klímy. V mojom prípade rozhodne nebude potrebné použiť niekoľko metrov široké vrstvy izolácie ako napríklad pri hale v Dubaji. Hrúbka stien a strechy okolo 20 cm by mohla byť dostačujúca pre moje použitie. Pri izolácii spodnej plochy svahu od pôdy nebude určite nutné použiť hrubšiu vrstvu ako pri stenách kvôli nižšiemu tepelnému toku od pôdy v porovnaní s vonkajším vzduchom. Hrubšia vrstva izolácie je samozrejme lepšia a pre prevádzkové náklady výhodnejšia, treba však počítať s cenou izolačného materiálu. Pri voľbe hrúbky izolácie je cieľom nájsť kompromis medzi znižovaním energetických strát budovy a znižovaním nákladov na jej výstavbu.

Ako som spomenul vyššie, materiál použitý na steny a strechu haly bude musieť okrem izolačných vlastností spĺňať kritériá na pevnosť a odolnosť voči mechanickému poškodeniu. V neposlednom rade sa s ním musí dobre nárábať pri montáži. Z troch spomenutých materiálov sa preto na steny a strechu javí ako najmenej vhodný polystyrén pre svoju krehkosť a lámavosť. Zo zvyšných dvoch možností sa na základe lepšej izolačnej schopnosti, väčšej pevnosti a približne rovnakej cene viac oplatí použiť polyuretánových dosiek. Súčiniteľ tepelnej vodivosti polyuretánu je na úrovni $\lambda = 0,023 \text{ W/m.K}$, zatiaľ čo bežná minerálna vlna má takmer dvojnásobnú tepelnú vodivosť, $\lambda = 0,040 \text{ W/m.K}$. [50]

Pri rozhodovaní, akým spôsobom sa bude izolovať svah od pôdy bude výber materiálu vychádzať z odlišných požiadaviek. V týchto miestach nie je nutné použiť sendvičové panely a panely použitého materiálu by mohli byť tenšie v dôsledku nižšieho tepelného toku od pôdy. Na materiál budú kladené nároky na odolnosť voči vode a voči rôznym organickým znehodnoteniam ako napríklad plesne. Výber na tejto teplosmennej ploche bude medzi izoláciou z polyuretánu a polystyrénu. Výhodou polyuretánu je jeho lepšia izolačná schopnosť, aj preto bude použitý na obvodové steny a strechu. Tepelný tok od pôdy však bude menší ako od vonkajšieho vzduchu, preto by bolo možné v podloží pod svahom použiť namiesto polyuretánu polystyrénové panely. Hlavnou výhodou polystyrénu je totiž jeho nižšia cena a tvrdý polystyrén XPS by mal byť schopný zvládať váhu, ktorou bude na vrstvu izolácie neustále tlačiť lyžiarsky svah. Tepelná vodivosť XPS polystyrénu sa líši v závislosti od typu, ale pohybuje sa okolo hodnoty $\lambda = 0,035 \text{ W/m.K}$. [50] Do návrhu izolácie spodnej plochy haly bude navyše vstupovať aj od pôdy prenikajúca vlhkosť. S tou sa treba vysporiadať napríklad nejakou hydrofóbnou fóliou. Pri použití XPS by sa teoreticky nemusela použiť hydrofóbná fólia, pretože samotný izolačný materiál má vynikajúce hydrofóbné vlastnosti.

Spolu s izoláciou podložia je potrebné vyriešiť chladiaci systém pod snehovou pokrývkou. Aj keď bude tepelnému toku od pôdy izoláciou kladený značný odpor, stále je potrebné priamo pod svah rozviesť okruh chladiacich trubiek, ktoré budú mať za úlohu udržiavať sneh zamrznutý. Takéto riešenie je štandardné pri všetkých typoch hál. Bez použitia chladienia vyhradeného pre svah by aj za použitia extrémne hrubej

izolácie dochádzalo ku postupnému roztápaniu zasneženej plochy. Tepelný tok od pôdy do snehu by zapríčiňoval, že by sa ako prvé začali topiť vrstvy snehu v hlbších častiach svahu. Povrch svahu by stále mohol zostať pôsobením chladeného vnútorného vzduchu zamrznutý, celý svah by sa však v krátkom čase rozpadol. Na povrchu by vznikla škrupina, postupne by sa však prepadla, pretože pod ňou by bol sneh zmäknutý a plný vody. Systém chladenia je teda nutné umiestniť priamo pod vrstvu umelého snehu aby pohlcovateľ tepelný tok od pôdy.

Čo sa týka práve podložia, je možné ho celé vybetónovať, ako to býva zvykom pri iných veľkých, napríklad priemyselných halách. Je však nutné brať do úvahy sklon kopca a tomu prispôbiť stavebné postupy. Takto je napríklad vytvorené celé podložie haly v Dubaji. V tomto prípade sa však jedná o umelo vytvorený sklon svahu, kde montáž vyvýšenej časti bola veľmi zložitá a vyžadovala si použitie špeciálnej ťažkej techniky. Svah bol totiž vytvorený na zemi a až potom sa vyťahoval do požadovanej výšky, kde sa na pevno montoval ku zvyšnej konštrukcii. Bežné haly v Európe však takýmto spôsobom budované nie sú, pretože je to zbytočne drahé aj na montáž a aj na množstvo použitého materiálu. Vo väčšine prípadov umelo vytvorených svahov je možné stavbu značne zjednodušiť vynechaním rozsiahleho betónovania. Ako príklad môžem uviesť napríklad podklad vyvýšenej časti haly v Litve, ktorá je svojou zložitou v silnom kontraste so spomenutým riešením z Dubaju. Vyvýšená časť haly stojí na ocelevej konštrukcii niekoľko metrov nad zemou a jej podložie je v tomto prípade vytvorené len izolačnými panelmi, ktoré sú pokryté zakrivenými plechmi, kde to všetko drží na priečných častiach ocelevej konštrukcie. Zakrivenie plechov slúži jednak na zabránenie prípadného zosuvu snehu dole svahom a taktiež ako miesto na rozvod chladiacich trubiek. Celá takáto konštrukcia pôsobí jednoducho a je zobrazená z vonku na obrázku 20 a z vnútra na obrázku 21.



Obrázok 21: Zakrivené plechy pod vrstvou snehu, hala v Litve [51]

V mojom prípade, kde je hala zasadená do prírodného svahu, by sa podľa mňa taktiež nemuselo nič betónovať a ako vrstva priamo pod svahom by slúžila vrstva zeminy. V nej by boli zakopané chladiace trubky a pod ňou by bola vrstva izolácie.

Chladienie v týchto miestach bude zabezpečovať, že vrstva zeminy bude premrznutá a veľmi tvrdá, čo okrem chladienia prispeje ku stabilite svahu. Teplo, ktoré do tejto vrstvy prenikne od pôdy bude okruhom spoľahlivo odvádzané. Aby však bolo chladienie efektívne, izolačný materiál musí byť umiestnený pod chladiacim okruhom svahu a zachytávať čo najväčšie množstvo tepla. Hala bude mať vybetónovaný pevný základ po obvode a to by malo zo statického hľadiska stačiť na to, aby sa podložie nikam nepohlo. Chladiaci okruh zakopaný v zemi bude mať ďalšiu výhodu, že v prípade poruchy k nemu bude oveľa jednoduchší prístup ako keby bol zaliaty v betóne. Zároveň je zemina vo vysušenom a prekyprenom stave lepším izolantom ako betón.

4.4 Návrh rozmerov

Na základe informácií z vyššie spomenutých existujúcich hál som sa rozhodol pre krytý svah s rozmermi 450 metrov na dĺžku a 50 metrov na šírku. Zvolené rozmery svahu by mali byť podľa odhadov z iných hál schopné poňať niekoľko stoviek návštevníkov naraz. Takýto svah by mal zabezpečiť dostatok miesta po šírke kopca pre všetkých a zároveň zhruba minútovú jazdu dole kopcom pre pokročilejších lyžiarov. Svah by takouto dĺžkou vyhovoval aj pretekárom na slalomovú trať. Celkový objem haly a tým pádom objem chladeného vzduchu bude daný výškou haly, ktorú volím na 10 metrov. Takáto výška by mala byť akurát, aby hala na návštevníkov nepôsobila stiesnene a aby sa zbytočne nezväčšoval objem chladeného vzduchu. Zároveň bude priestor adekvátny na umiestnenie lanovej sedačky, ktorá musí byť vo výške niekoľko metrov nad svahom ale zároveň nemôže byť úplne blízko strechy. Vo vyšších miestach haly bude dostatok priestoru na namontovanie výparníkov chladiaceho obehu a zasnežovacích zariadení. Určité miesto pod strechou zaberie aj samotná oceľová konštrukcia strechy, ktorá môže zároveň výhodne poslúžiť ako miesto na upevnenie umelého osvetlenia. Vnútorňá výška haly 10 metrov bude rátať so zasneženým svahom, takže bude počítaná od hranice snehu a vzduchu.

Zo zvolených rozmerov haly vyplýva, že dokopy bude plochu zjazdovky tvoriť 22 500 m². Tento priestor bude musieť byť dokonale odizolovaný, zasnežený a chladený. Ako som spomenul vyššie, svah nebude mať konštantný sklon povrchu a bude mať umelo vytvorené zmeny sklonu. Tento fakt pre jednoduchosť výpočtu zanedbám. Výška strechy s plochou svahu bude stanovovať objem chladeného vzduchu v hale, ktorý bude dokopy 225 000 m³. Výškový rozdiel spodného a vrchného konca haly bude 110 metrov, čo by malo zabezpečiť dostatočnú náročnosť lyžiarskeho svahu pre všetky úrovne návštevníkov. Táto hodnota bola zvolená preto, lebo predstavuje spodný limit prevýšenia pre svahy, na ktorých je možné usporiadať lyžiarske preteky pod záštitou lyžiarskej federácie FIS. To by pre krytú halu otvorilo nové možnosti organizovať takéto súťaže v priebehu celého roka. Celkové prevýšenie svahu pri takejto konštrukčnej variante haly, kde svah je vytvorený z existujúceho prírodného kopca, je samozrejme dané sklonom konkrétneho kopca. Prípadné pozemné úpravy na zmenu sklonu nemajú veľký zmysel, pretože v tom prípade je jednoduchšie presunúť celý projekt do vhodnejšej lokality. Prevýšenie môjho návrhu bude teda vychádzať z odhadu a informácií podobných projektov. Zároveň ale bude mojím cieľom pokúsiť sa vytvoriť o niečo strmší kopec ako sú bežné haly vo svete. Tým by sa vyriešil jeden z najväčších nedostatkov z pohľadu pokročilejších lyžiarov, a tým je jednoduchosť a nezaujímavosť krytého kopca. Pri návrhu som sa odrazil od

krytej haly v Litve, kde na 460 metroch zjazdovky svah klesne o 66 výškových metrov. Môj návrh bude teda výrazne strmší ale nebude to nič, čo by sa vymykalo štandardu vo vonkajšom prostredí a svah si naplno užijú aj začiatočníci. Strmší svah by pri správnom naprojektovaní nemal priniesť zvýšené problémy spojené či už s výstavbou alebo s prevádzkou.

S myšlienkou použitia fotovoltaických panelov na streche bude hala vybudovaná na južnom svahu. To zabezpečí dostatok slnečných lúčov dopadajúcich na strechu počas celého roka. Na jednu stranu to spôsobí intenzívnejšie nahrievanie strechy od slnka hlavne v letných mesiacoch, čo bude zvyšovať teplotný rozdiel medzi vonkajším a vnútorným prostredím a tým pádom aj straty haly cez strechu. Na druhú stranu to však umožní využiť dopadajúce slnečné lúče namontovaním fotovoltaiky na získavanie elektrickej energie následne využívanej na chladenie. Pri orientácii haly na severnom svahu by to nebolo možné, respektíve by sa v našich zemepisných šírkach investícia do fotovoltaiky neoplatila. V konečnom dôsledku by takýto návrh mal priniesť do haly viac energie vo forme vyrobenej elektriny. Súhrn všetkých finálnych geometrických parametrov budovy je zhrnutý v tabuľke 2.

Dĺžka [m]	Šírka [m]	Plocha [m ²]	Výška [m]	Objem [m ³]	Prevýšenie [m]	Sklon [°]
450	50	22 500	10	225 000	110	14

Tabuľka 2: Navrhnuté rozmery lyžiarskej haly

4.5 Návrh obálky

4.5.1 Steny a strecha

Čo sa týka izolácie stien a rovnako strechy, použité budú sendvičové polyuretánové PIR panely. Pri voľbe materiálu nebolo veľmi nad čím rozhodovať, prednosti polyuretánových izolačných materiálov a ich rozumná cena sa v takomto type aplikácie nedajú nahradiť. Pri voľbe hrúbky stien a strechy už však bolo potrebné uvažovať nad viacerými faktormi. Hrúbka izolácie bude jeden z najdôležitejších návrhových parametrov, pretože sa od nej budú priamo odvíjať straty celej budovy a tým pádom ekonomická náročnosť prevádzky. Je vhodné si pred stanovením hrúbky izolácie spraviť orientačný výpočet tepelných strát budovy. Ku problému je potrebné pristúpiť s cieľom dosiahnuť dostatočné odizolovanie vnútorného priestoru a zároveň nepredražiť stavbu extrémnym navýšením potrebného množstva izolačného materiálu. Zároveň je však potrebné pozrieť sa na možnosti pri jednotlivých výrobcoch a hrúbku stien a strechy čo najviac založiť na existujúcich produktoch v štandardných hrúbkach. Podľa môjho predbežného odhadu tepelných strát by bolo podľa mňa rozumné použiť panely s hrúbkou 20 cm. Odhad som založil na úvahe, že pokiaľ si situáciu porovnam napríklad s nízkoenergetickým rodinným domom, teplotný rozdiel medzi vonkajším a vnútorným prostredím bude veľmi podobný a hrúbka izolácie viac ako 20 cm býva pri rodinných domoch použitá veľmi zriedka. Zároveň je v porovnaní s bežným použitím polyuretánových panelov pri obyčajných skladových alebo priemyselných halách takáto hrúbka viac ako štandard, čo je však logické. Panely budú mať rozdielnu aplikáciu, kde budú zvýšené nároky na tepelný odpor a očakávaná lepšia izolačná schopnosť. Strešné panely budú v rovnakej hrúbke ako panely na

stenách, aby sa vytvorila súvislá izolačná vrstva na všetkých plochách v kontakte s vonkajším vzduchom.

Teplosmenné plochy bočných stien a strechy budú tie časti haly, ktoré budú v kontakte s vonkajším teplejším vzduchom. Pri výpočtoch tepelných strát budem vychádzať z predpokladu, že výška pôdy vonkajšieho svahu bude rovnaká ako výška zasneženého svahu. To znamená, že za plochu bočných stien beriem steny izolácie po celom obvode pôdorysu haly s výškou 10 metrov. Plocha strechy bude potom zodpovedať ploche zasneženého svahu navýšená o hrúbku izolácie bočných stien na všetkých štyroch stranách. Parametre izolácie použitej na stenách a na streche haly sú zhrnuté v tabuľke 3.

	Izolovaná plocha [m ²]	Materiál	Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W/m·K]	Hrúbka [m]
Bočné steny	10 016	PIR	0,023	0,2
Strecha	22 700	PIR	0,023	0,2

Tabuľka 3: Navrhnuté parametre izolácie v kontakte so vzduchom

4.5.2 Svah

Svah a všetky izolačné vrstvy pod ním budú teda zasadené do kopca pod povrchom. To v praxi znamená, že všetok objem snehu bude ako odspodu, tak aj z bočných strán obklopený len pôdou a z hľadiska tepelných strát nebude na týchto plochách do výpočtu vstupovať vzduch. Takýto návrh jednak zjednoduší výpočty a rovnako dáva zmysel z energetického pohľadu, keďže od pôdy prejde do snehu menšie množstvo tepla ako by prešlo od teplého vonkajšieho vzduchu. Zvyšovanie základnej výšky svahu by nemalo zmysel aj kvôli zbytočnému navyšovaniu výšky celej haly a tým pádom zvyšovaniu teplosmennej plochy s vonkajším vzduchom.

Pod halou bude nutné kvôli stabilite a zarovnaniu svahu urobiť rozsiahle výkopové a pozemné práce. Tvar a profil svahu bude potrebné vykopať a upraviť do potrebnej hĺbky, čo bude pri spočítaní všetkých vrstiev predstavovať 1,2 metra. Najspodnejšou vrstvou pod svahom bude hydrofóbnou fólia, ktorá bude tvorená asfaltovými pásmi hrúbky 4 mm. Jej funkciou bude odspodu chrániť izolačnú vrstvu pred vstupom vlhkosti. Vlhkosť, ktorá by vstúpila do tepelnej izolácie by mala negatívny vplyv na izolačnú schopnosť, keďže voda je výborný vodič tepla. Spomenutá tepelná izolácia bude položená hneď na ňu a jej úlohou bude udržať čo najväčšie množstvo tepla vo vonkajšej pôde. Izolácia bude pokrývať ako spodnú plochu svahu, tak aj bočné plochy od hranice výkopu po povrch snehu. Všetky tieto plochy budú dokopy tvoriť vypočítanú izolovanú plochu od pôdy.

Hrúbka použitého izolačného materiálu bude volená na 20 cm. Za izolačný materiál bude jednoznačne použitý extrudovaný polystyrén XPS. Pevnosť izolačného materiálu musí byť dostatočná, aby dokázala udržať váhu snehovej pokrývky aj vrstvy pôdy priamo pod snehom bez poškodenia. Túto požiadavku najlepšie spĺňa XPS polystyrén, kde je naviac veľmi odolný voči vlhkosti. Izolačná aj hydrofóbná schopnosť budú v takej hĺbke veľmi dôležité. Do úvahy by pripadalo aj použitie grafitového XPS polystyrénu, kvôli nedostatku produktov a taktiež kvôli nedostatku dohľadateľných použití v podobných aplikáciách som ho však vylúčil. Taktiež by bolo na uvážení, či

v týchto miestach má o niečo izolačne lepší ale zároveň drahší materiál význam. Rovnaký tepelný odpor by bolo možné dosiahnuť aj jemným navýšením hrúbky obyčajných XPS. Dôraz pri montáži bude kladený na plošnú dokonalosť a celistvosť izolácie vo všetkých miestach. Funkčnosť izolácie by prípadnými nedokonalosťami značne utrpela. Prípadné dodatočné opravy sú v hlbších miestach pod svahom prakticky nemožné, preto je nutné to spraviť čo najlepšie pred zásypom zeminou.

Na izoláciu sa nasype 50 cm zeminy, ktorá bude miestom pre rozvod chladiacich trubiek a zároveň bude mať aj určitú tepelnoizolačnú schopnosť. Stavby vo vnútri haly, teda spodná a horná stanica lanovky, stĺpy lanovky a prípadná budova reštaurácie budú samozrejme mať svoj betónový základ. Samotný svah však rozsiahle betónovanie nepotrebuje a ušetrí sa tým veľké množstvo peňazí. Najvrchnejšia vrstva pôdy bude musieť byť upravená a vyprofilovaná tak, aby sa eliminovala možnosť prípadných zosuvov snehu dolu kopcom. Zároveň to dáva možnosť vytvoriť variabilitu z hľadiska sklonu svahu a rôznorodý povrch kopca, ktorý nedokonalosťami a nerovnosťami môže pripomínať prírodný vonkajší svah. Vlastnosti jednotlivých vrstiev pod snehom sú zhrnuté v tabuľke 4.

	Izolovaná plocha [m ²]	Materiál	Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W/m·K]	Hrúbka [m]
Podložie	23 900	Asfaltový pás	0,21	0,004
		XPS polystyrén	0,035	0,2
		Vlhká zemina	1,4	0,5

Tabuľka 4: Navrhnuté parametre izolácie v kontakte s pôdou

4.6 Výpočet tepelných odporov povrchov haly

Podľa navrhnutých rozmerov haly, materiálov a hrúbky izolácie budú tepelné odpory určované na troch typoch teplosmenných plôch. Tými sú strecha, obvodové bočné steny a podložie. Na streche budú pre zopakovanie použité polyuretánové PIR panely o hrúbke $\delta = 0,2$ m a s tepelnou vodivosťou $\lambda = 0,023$ W/m.K. Podľa vzťahu na výpočet odporu vedením bude odpor strechy nasledovný:

$$R_{\lambda} = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,2}{0,023} = 8,696 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (6)$$

Tepelný odpor prúdením bude potrebné vypočítať pre obe strany steny, to znamená pre vnútorný aj vonkajší vzduch. Bude závisieť len na hodnote súčiniteľa prestupu tepla α dnu a von, ktorý však nebudem zdĺhavo vypočítavať. Hodnoty odporov prúdením založím na norme ČSN 73 0540-3 zverejnenej na stránkach tzb-info.cz. [52] Norma sa síce týka odporov pri prestupe tepla pri vykurovaných objektoch, to predpokladá smer tepelného toku z vnútra von. Môj prípad bude síce opačný ale po konzultácii bolo zhodnotené, že na výpočet dané hodnoty postačia. Odpor pre vonkajšie prostredie bude stanovený na 0,04 m².K/W, pre vnútorné 0,1 m².K/W. Už z týchto hodnôt vyplýva, že celkový odpor bude tvorený hlavne z vedenia izoláciou, prúdenie bude prispievať len minimálne. Preto nie je nutné počítať presné hodnoty

súčiniteľov prestupu tepla. Výsledný odpor kladený strechou haly bude podľa vzťahu nasledovný:

$$R_{\alpha_{out}} = \frac{1}{\alpha_{out}} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{\alpha_{in}} = \frac{1}{\alpha_{in}} = 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{C_{streacha}} = \sum (R_{\alpha_{out}} + R_{\lambda} + R_{\alpha_{in}}) = 0,04 + 8,696 + 0,1 = 8,836 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (7)$$

Pre obvodové bočné steny bude situácia podobná, keďže bude montovaná z rovnako hrubých polyuretánových dosiek ako strecha. Odpor vedením bude teda vyššie vypočítaných $8,696 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, odpor prúdenia pre vonkajšie prostredie bude rovnakých $0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, vo vnútornom prostredí pre steny to bude $0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Suma tepelných odporov pre bočné steny bude veľmi podobná ako pre strechu haly, hodnota bude podľa nasledovného vzťahu:

$$R_{C_{steny}} = \sum (R_{\alpha_{out}} + R_{\lambda} + R_{\alpha_{in}}) = 0,04 + 8,696 + 0,13 = 8,866 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Situácia tepelného odporu pre podložie haly bude už odlišnejšia. Výpočet sa bude komplikovať hlavne chladiacim okruhom zakopaným vo vrstve zeminy pod snehom. Celkový odpor od vonkajšej pôdy až po vnútorné prostredie bude tvorený vedením hydrofóbnou fóliou, vrstvou izolácie, vrstvou zeminy a vrstvou ľadu a snehu. Do sumy celkového odporu sa započíta aj príspevok odporu prúdením vo vnútornom prostredí. Prúdenie vo vonkajšom prostredí, čiže v pôde mimo haly, samozrejme nebude existovať. Tento celkový odpor sa bude vzťahovať ku vplyvu tepla od pôdy na vnútorný vzduch v hale. Do výpočtu zatiaľ nebude vstupovať chladiaci okruh umiestnený vo vrstve zeminy.

Prvou vrstvou na styku s vonkajšou pôdou bude hydrofóbná fólia, ktorou bude asfaltový pás hrúbky 4 mm. Súčiniteľ tepelnej vodivosti asfaltových pásov je $\lambda = 0,21 \text{ W/m.K}$. Ďalšou vrstvou bude podľa návrhu tvrdý extrudovaný XPS polystyrén hrúbky 20 cm s tepelnou vodivosťou $\lambda = 0,035 \text{ W/m.K}$. Na to sa nasype 50 cm zeminy, ktorej súčiniteľ tepelnej vodivosti sa bude odvíjať okrem iného od vlhkosti. Na zásyp však bude použitá zemina vyťažená priamo zo svahu pri výkopových prácach. Nepredpokladá sa preto výrazná úprava zeminy za cieľom zlepšenia jej tepelneizolačných vlastností. Z toho dôvodu budem počítať s tepelnou vodivosťou pre zeminu s prirodzenou vlhkosťou $\lambda = 1,4 \text{ W/m.K}$. Na zeminu príde vrstva umelo vytvoreného snehu o hrúbke 50 cm. Je nutné si uvedomiť, že táto vrstva nebude tvorená výhradne snehom, práve naopak, väčšiu časť hrúbky bude tvoriť ľad práve kvôli použitiu chladienia pod svahom. Sneh a ľad majú dosť rozdielne hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti, preto je pre čo najpresnejšie hodnoty odporov dôležitá táto skutočnosť zobrať do úvahy. Odhadom môžem povedať, že z 50 cm pokrývky svahu bude 30 cm ľad a zvyšných 20 cm sneh. Tepelná vodivosť ľadu je $\lambda = 2,3 \text{ W/m.K}$, tepelná vodivosť snehu značne závisí na jeho hustote. Čím redší sneh, tým viac vzduchových miest v objeme bude obsahovať a tým menej tepla prevedie. Čerstvo napadnutý sneh sa preto považuje za celkom dobrý tepelný izolant. V mojom prípade bude však snehová pokrývka pravidelne upravovaná ratrakom, preto je predpoklad, že hustota snehu bude vyššia. Hodnotu súčiniteľa tepelnej vodivosti snehu teda volím pre hustý sneh $\lambda = 0,64$

W/m.K. [53] Na záver do vzťahu celkového odporu započítam aj príspevok od odporu prúdením na vnútornej strane haly v miestach svahu. Rovnako ako pri stenách a streche, aj tu použijem hodnotu odporu prúdením podľa normy ako $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. [52] Výpočty jednotlivých príspevkov k celkovému odporu sú v nasledujúcich vzťahoch:

$$R_{\lambda \text{asfalt}} = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,004}{0,21} = 0,019 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{\lambda \text{polystyrén}} = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,2}{0,035} = 5,714 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{\lambda \text{zemina}} = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,5}{1,4} = 0,357 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{\lambda \text{rad}} = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,3}{2,3} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{\lambda \text{sneh}} = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,2}{0,64} = 0,313 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{\alpha \text{in}} = \frac{1}{\alpha \text{in}} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Z výpočtov čiastkových odporov je logické, že hlavný odpor bude tvorený vrstvou polystyrénu. Suma všetkých odporov bude tvoriť celkový tepelný odpor od podlažia podľa vzťahu:

$$R_{\text{Cpodložie}} = \sum (R_{\lambda \text{asfalt}} + R_{\lambda \text{polystyrén}} + R_{\lambda \text{zemina}} + R_{\lambda \text{rad}} + R_{\lambda \text{sneh}} + R_{\alpha \text{in}})$$

$$R_{\text{Cpodložie}} = 0,019 + 5,714 + 0,357 + 0,13 + 0,313 + 0,17 = 6,703 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Vypočítaný celkový odpor následne použijem na určenie tepelného toku do haly. Tepelný tok bude vypočítaný medzi miestami s teplotami vonkajšej pôdy a vnútorného vzduchu.

Vyššie vypočítaný odpor sa však bude viazať ku časti chladiaceho okruhu zodpovednej za chladenie vnútorného vzduchu. K dimenzovaniu časti chladiaceho okruhu pod snehom bude viazaný odpor od podlažia, ktorý nebude počítat' s odporom vrstvy snehu. Alternatívny prístup k vypočítaniu strát cez podlažie haly je vypočítat' odpor medzi vonkajšou pôdou a hranicou, na ktorej začína vrstva snehu. V tomto prípade je nutné rátať s tým, že teplota snehu musí byť $-8 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ak bude teplota vonkajšej pôdy stanovená na $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, s použitím týchto dvoch teplôt, odporu vedením na vrstvách medzi nimi a plochy svahu je možné vypočítat' tepelný tok. Ten bude predstavovať hodnotu strát, ktoré bude nutné kompenzovať časťou chladiaceho okruhu vyhradenou na chladenie svahu. Netreba zabudnúť ani na to, že teplota v hale bude $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, čiže vyššia ako teplota snehu. To zapríčiní smer tepelného toku do snehu od vnútorného vzduchu. S týmto energetickým tokom si bude musieť taktiež poradiť chladenie pod svahom, odhadom však bude minimálny. Jeho prípadné zanedbanie by na výsledok veľký vplyv nemalo.

Všetky spomenuté vrstvy, ktoré kladú odpor tepelnému toku sú vykreslené v reze haly na obrázku 22. Rez je len ilustračný a má funkciu umožniť lepšie si predstaviť zoradenie jednotlivých vrstiev a ich odpory. Rez nie je v mierke, rozmery

stien, strechy a izolácie sú oproti hale zväčšené päťnásobne. Kóty sú v metroch a sú zámerne zakótované všetky rozmery pre väčší prehľad. Žlté plochy predstavujú polyuretánové PIR dosky bočných stien a strechy, biele hrubé čiary predstavujú oplechovanie polyuretánových panelov z oboch strán. Modré plochy pod halou zobrazujú polystyrénové XPS dosky na izoláciu podlážia. Hrubá čierna čiara zodpovedá asfaltovému hydrofóbnemu pásu, ktorý je v priamom kontakte s vonkajšou pôdou. Nad polystyrénovou izoláciou sa nachádza vrstva zeminy (sivá) so zakopanými chladiacimi trúbkami (červená). Poslednou je biela plocha, ktorá samozrejme zodpovedá snehovej pokrývke lyžiarskeho svahu. Oranžové čiary znázorňujú vrchnú hranicu vonkajšej pôdy.



Obrázok 22: Okótovaný rez lyžiarskej haly

5 Dimenzovanie chladiaceho systému

5.1 Stanovenie chladiaceho výkonu

Výsledný tepelný tok do haly bude veľmi závisieť na teplotných podmienkach vonku. Z dôvodu dimenzovania výkonu chladiacich systémov bude tepelný tok počítaný pre najteplejší letný deň, kde za vonkajšiu teplotu vzduchu vezmem $t_{out} = 35$ °C. Tým sa zabezpečí dostatočný výkon chladiaceho zariadenia pre najväčší možný teplotný rozdiel, ktorý môže počas roka nastať. Vnútorá teplota vzduchu, s ktorou budem počítať, bude stanovená na $t_{in} = -4$ °C. Teoreticky by mohla byť aj o jeden/dva stupne vyššia, ale kvôli zabezpečeniu dostatočného chladenia budem radšej voliť vyšší rozdiel teplôt von a dnu. V praxi by bolo možné udržiavať v hale počas prevádzky stabilnú teplotu okolo -2 °C. Pre tepelný tok cez bočné steny teda bude platiť teplotný rozdiel 39 K.

Do úvahy je nutné zobrať aj energiu, ktorá bude na halu dopadať vo forme slnečných lúčov. Na základne navrhnutej orientácie haly na južnom svahu bude strecha v letných mesiacoch značne zohrievaná intenzívnymi slnečnými lúčmi. V jasný slnečný letný deň, s ktorým rátajú výpočty, sa oplechovanie panelov rozhodne nahreje na teplotu o niekoľko stupňov vyššiu ako teplota vzduchu. Slnko bude na halu svietiť

z južnej strany, tým pádom bude zahrievať okrem strechy aj spodnú stenu haly. Po konzultácii budem uvažovať s teplotou, na ktorú sa vyhreje oplechovanie strechy a južnej steny haly na 50 °C. Toto je nutné zakomponovať do výpočtu zmenou teplotného rozdielu pri výpočte tepelného toku danými plochami. Ten bude v tomto prípade až 54 K.

S použitím vyššie vypočítaných obsahov teplosmenných plôch a príslušných celkových odporov je možné zistiť výsledný tepelný tok danými plochami. Ten bude spolu s inými faktormi zodpovedať energetickým stratám. Povrchy všetkých teplosmenných plôch budú počítané na základe vonkajších rozmerov haly, to znamená, že vnútorné rozmery budú zvýšené o príslušné šírky izolácie. Výsledné hodnoty v metroch štvorcových budú následne primerane zaokrúhlené. Plocha strechy bude mať teda povrch $S_{strecha} = 22\,700 \text{ m}^2$ a celkový tepelný odpor $R_{Cstrecha} = 8,836 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Tepelný tok strechou je zrejmy z nasledujúceho vzťahu:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{strecha} &= S_{strecha} \cdot \frac{\Delta T_{plech-vzduch}}{R_{Cstrecha}} \\ \dot{Q}_{strecha} &= 22700 \cdot \frac{54}{8,836} = 138728 \text{ W} = 138,728 \text{ kW} \end{aligned} \quad (8)$$

Tepelný tok obvodovými stenami sa vypočíta obdobne s použitím celkovej plochy stien. Rovnako aj tu však bude nutné zobrať do úvahy zahrievanie južnej spodnej steny od slnka. Plocha tejto steny bude $S_{stenaJ} = 504 \text{ m}^2$ a budem rátať s teplotným rozdielom 54 K. Pre zvyšné tri obvodové steny bude platiť plocha $S_{stenyZSV} = 9512 \text{ m}^2$ a príslušný teplotný rozdiel bude medzi vzduchom von a dnu, čiže 39 K. Tepelný odpor cez všetky obvodové steny bude rovnaký, $R_{Csteny} = 8,866 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Výsledný tepelný tok cez obvodové steny bude potom súčtom týchto dvoch hodnôt.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{steny} &= \left(S_{stenyZSV} \cdot \frac{\Delta T_{vzduch-vzduch}}{R_{Csteny}} \right) + \left(S_{stenyJ} \cdot \frac{\Delta T_{plech-vzduch}}{R_{Csteny}} \right) \\ \dot{Q}_{steny} &= \left(9512 \cdot \frac{39}{8,866} \right) + \left(504 \cdot \frac{54}{8,866} \right) = 44911 \text{ W} = 44,911 \text{ kW} \end{aligned} \quad (9)$$

Situácia pri tepelnom toku od podlažia sa bude zasa mierne líšiť od strechy a stien. Teplota vonkajšieho prostredia bude oveľa nižšia aj pri extrémne teplých letných dňoch, keďže ide o pôdu v hĺbke vyše metra. Po konzultácii som teplotu pôdy v priestore mimo haly stanovil na 5 °C, čo by mala byť reálna hodnota v takej hĺbke aj v letnom období. Ak totiž vezmem do úvahy 20cm izolácie, 50 cm zeminy a 50 cm snehu, výkop bude hlboký zhruba 1,2 metra. Aj v tomto prípade budem počítat s teplotou vzduchu v hale -4 °C. To dáva dokopy hodnotu teplotného rozdielu medzi vonkajším podlažím a vnútorným vzduchom v hale 9 K. Čo sa týka teplosmenných plôch, tvoriť ju bude plocha svahu zväčšená o plochy po bokoch výkopu po obvode haly. Pre jednoduchosť budem počítat s rovnakými teplotnými podmienkami v celom objeme vonkajšej pôdy a s výškou bočných teplosmenných plôch zodpovedajúcou hĺbke výkopu, to znamená 1,2 metra. Z toho mi vyjde celková teplosmenná plocha podlažia po zaokrúhlení $S_{podlažie} = 23\,900 \text{ m}^2$. Celkový tepelný odpor od podlažia

predstavuje vyššie vypočítaných $R_{Cpodložie} = 6,703 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. Príspevok ku tepelnému toku haly od podložia bude potom:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{podložie} &= S_{podložie} \cdot \frac{\Delta T_{pôda-vzduch}}{R_{Cpodložie}} \\ \dot{Q}_{podložie} &= 23900 \cdot \frac{9}{6,703} = 32090,11 \text{ W} = 32,090 \text{ kW}\end{aligned}\quad (10)$$

Pre určenie energetických strát od podložia bude mať však väčšiu výpovednú hodnotu tepelný tok medzi vonkajšou pôdou a hranicou snehu a zeminy, keďže práve táto plocha bude chladená. Cieľom je totiž zistiť celkový potrebný chladiaci výkon pre chladenie vzduchu aj snehu dohromady, keďže bude zabezpečované spoločným chladiacim obehom. V tomto prípade prejde rovnakou teplosmennou plochou ako v predchádzajúcom výpočte viac tepla, pretože teplotný rozdiel bude 13 K a tepelný odpor sa zníži o príspevok snehu a prúdenia nad svahom. Vo výpočte bude teda použitý odpor $R_{Cpodložie} = 6,09 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. Výsledný tepelný tok od podložia bude nasledovný:

$$\dot{Q}_{podložie} = 23900 \cdot \frac{13}{6,09} = 51018 \text{ W} = 51,018 \text{ kW}\quad (11)$$

Celkový tepelný tok do haly bude súčtom vyššie vypočítaných hodnôt tepelného toku od strechy, obvodových stien a podložia. Táto hodnota bude predstavovať energetické straty medzi vnútorným a vonkajším prostredím cez obálku haly.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{straty} &= \dot{Q}_{strecha} + \dot{Q}_{steny} + \dot{Q}_{podložie} \\ \dot{Q}_{straty} &= 138,728 + 44,911 + 51,018 = 234,657 \text{ kW}\end{aligned}\quad (12)$$

Z vypočítaných tepelných tokov vyplýva, že takmer dve tretiny (59 %) z celkového tepla vnikne do haly cez strechu a len zhruba pätina (19 %) cez bočné steny. Od pôdy do haly prenikne 22 % z celkovej energie. Rozdiel medzi tepelným tokom cez strechu a cez bočné steny vychádza čisto z veľkosti kontaktného povrchu s vonkajším prostredím a taktiež z príspevku pôsobenia slnečných lúčov na ohrievanie povrchov, keďže obe vrstvy sú rovnako hrubé a z rovnakého materiálu. Aj keď by bolo z hľadiska statiky žiadúce použiť na strechu tenšiu a tým pádom ľahšiu vrstvu izolácie, z energetického hľadiska by to výhodné určite nebolo. Aj napriek tomu, že teplosmenná plocha od pôdy je väčšia ako plocha strechy, teplotný rozdiel vnútorného vzduchu a vonkajšej pôdy nebude ani zďaleka taký veľký ako v prípade vonkajšieho vzduchu. Strecha svojou plochou a faktom, že je v kontakte s teplým vonkajším vzduchom, pričom je ešte navyše zahrievaná slnkom, prispieva ku celkovým stratám najviac. Umiestnenie chladiacich zariadení zodpovedá výsledkom tepelných tokov, keďže príspevok od pôdy má za úlohu pokryť chladenie pod svahom a príspevok cez strechu pokryje hlavné chladenie vzduchu, ktorého vnútorné výparníky sú umiestnené v horných častiach haly.

5.1.1 Tepelné mosty

Miesta, v ktorých je tepelný tok výrazne vyšší než v okolitých častiach sa nazývajú tepelné mosty. Sú to miesta s lokálne nižším tepelným odporom ako priľahlé plochy, preto nepriaznivo znižujú celkovú izolačnú schopnosť akejkoľvek stavby. Pri návrhu je vždy cieľom ich počet a vplyv čo najviac eliminovať. Vznikajú väčšinou na miestach prerušenia prípadne zmeny hrúbky izolácie alebo na rohoch miestností a budov. V mojom prípade bude vrstva izolácie relatívne bez prerušenia a v rovnakej hrúbke po celej ploche haly, tepelné mosty však budú určite vznikať v rohoch haly a na hranách spojov strechy a obvodových stien. Okrem toho môžu vznikať na miestach ako napríklad vstupné dvere alebo presklené okenné časti. Aj keď návrh neráta s veľkým presklením haly, nejaké okná v kontakte s teplým prostredím na druhej strane sa určite vyskytnú. Ako príklad to budú napríklad okná pri vstupe do haly a okná z vykurovanej reštaurácie s výhľadom na svah. Po uvážení spomenutých faktorov a po konzultácii ohľadom vplyvov tepelných mostov som prišiel k záveru, že celkové tepelné straty haly by sa mohli vplyvom tepelných mostov zvýšiť o 30 %. To dáva dokopy vyše 300 kW energie, ktorá vnikne do haly z vonkajšieho prostredia.

$$\dot{Q}_{straty} = 234,657 \cdot 1,3 = 305,054 \text{ kW} \quad (13)$$

5.1.2 Iné zdroje tepla

Teplotu v hale budú rozhodne ovplyvňovať viaceré faktory ako len tepelný tok cez povrchové vrstvy. Čo sa týka ďalších tepelných príspevkov, teplotu v hale bude ovplyvňovať aj množstvo lyžiarov na svahu. Ľudské telo produkuje v pokoji priemerne niečo cez 100 W energie, pri športovej aktivite to je odhadom dva až trikrát viac. S touto energiou vzniknutou vo vnútri je treba tiež počítať, obzvlášť pri väčšom počte ľudí. [54] Hodnotu tepla od jedného človeka môžem odhadom stanoviť na 200W. Ak zoberiem do úvahy to, že pri rekreačnom lyžovaní sa človek nedostáva na pokraj svojich síl a že nie všetci návštevníci budú lyžovať zároveň, javí sa mi to ako rozumné číslo. Maximálna kapacita haly s navrhnutými rozmermi môže byť podľa iných hál podobných rozmerov až 1000 ľudí. To dáva dohromady 200 kW tepla v hale pri kapacite na 100 %. Tento príspevok síce zodpovedá extrému z hľadiska návštevnosti, ktorý veľmi pravdepodobne nikdy nenastane, určenie potrebného chladiaceho výkonu sa však musí zakladať práve na takýchto extrémoch.

Ďalším faktorom ovplyvňujúcim teplotu v hale budú vykurované priestory priľahlej infraštruktúry, ktorá bude vo vnútri haly. Prirodzene na toaletách a v reštaurácii pri svahu rozhodne nebude -4°C , ako tomu bude na svahu. Tieto priestory budú síce s najväčšou pravdepodobnosťou vykurované formou spätného využitia odpadného tepla chladiaceho obehu, ku zvyšovaniu teploty vnútorného vzduchu však budú určite prispievať a chladiaci obeh toto teplo taktiež musí byť schopný vykompenzovať. Príspevok od vykurovaných objektov stanovím na základe odhadu vykurovanej plochy a z predpokladu, že všetko toto teplo by mohlo uniknúť do haly. V týchto priestoroch budem rátať s prirodzenou komfortnou teplotou 20°C . Ak má byť v hale maximálne 1000 návštevníkov, reštaurácia aj toalety musia mať značnú rozlohu na pokrytie tejto kapacity. Odhadom môžem povedať, že pre 350 m^2 plochy

vykurovanej infraštruktúry bude potrebný vykurovací výkon 30 kW, ktorý sa pridá ku celkovej tepelnej energii v hale.

Ďalší príspevok tepla bude od strojov, ktoré budú v prevádzke vo vnútri haly. Svah bude nutné pravidelne upravovať, a aj keď ratrak nebude v prevádzke stále, rozhodne je nutné s odpadným teplom, ktoré vyprodukuje jeho motor počítať. Výfukové plyny z ratrakov budú jednak zvyšovať teplotu v hale a zároveň zvyšovať aj nároky na vetranie, keďže všetky tieto plyny sa musia čo najskôr dostať von z haly. Pohon ratrakov ako aj množstva iných ťažkých strojov zabezpečuje väčšinou spaľovací naftový agregát, emisie škodlivín tým pádom určite nebudú zanedbateľné. Do úvahy vezmem výkon vznetového motora 250 kW s účinnosťou 40 %. Tento výkon bude predstavovať množstvo chemickej energie paliva premenené na mechanickú prácu, zvyšok energie bude tepelná energia odvedená do okolia či už vo forme spalín alebo inak. V takomto prípade by to predstavovalo až 375 kW, je nutné však zobrať do úvahy fakt, že ratrak bude kvôli bezpečnosti v prevádzke výhradne v čase, keď bude hala zatvorená, to znamená bez ľudí. To zredukuje príspevok tepla od spaľovania paliva ratraku na zhruba polovicu.

Lanová sedačka bude poháňaná elektromotorom, ktorý bude tiež produkovať nejaké teplo do okolia. Účinnosť elektromotorov je zhruba na úrovni až 95 %, čo znamená, že len 5 % privedenej energie bude odvádzaných vo forme tepla. Výkon pohonu lanovky môžem na základe podobných lanových dráh odhadnúť na 150 kW. [55] Teplo odvedené do okolia bude pri tak vysokej účinnosti elektromotora tým pádom len zhruba 10 kW. Rovnako bude nejaké teplo produkovať aj osvetlenie v hale, tento príspevok môžem tiež odhadom stanoviť na 10 kW.

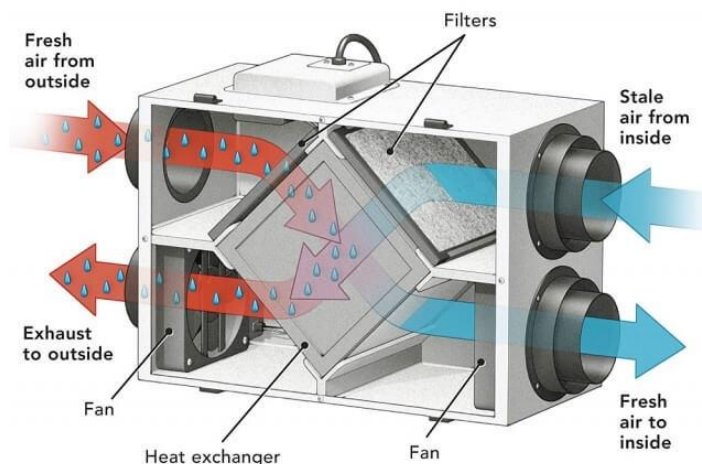
5.1.3 Vetranie

V hale musí byť samozrejme zabezpečená pravidelná výmena vzduchu. Bez prítomnosti okien musí byť vetranie zabezpečené vzduchotechnikou montovanou pri strope haly. Pri vetraní chladených priestorov je však nutné zaistiť čo najmenšie energetické straty pri odvode starého vzduchu a prívode čerstvého vzduchu. Pri vetraní ide len o výmenu vzduchu, energia vo forme chladu by mala v čo najväčšej miere zostávať v hale. Toho sa docieli len vtedy, ak sa bude do haly privádzať vzduch ideálne s rovnakou teplotou ako vzduch odvádzaný. Vyrovnanie teplôt dvoch médií bude dosiahnuté tepelným tokom medzi médiami. Výmena energie bude prebiehať pomocou rekuperačných výmenníkov, ktoré budú nasávaný čerstvý vzduch ochladzovať vzduchom vypúšťaným. Ideálne vetranie by bolo bez tepelných strát, reálne však majú rekuperačné výmenníky účinnosť maximálne 80 %.

Výdych privádzaného čerstvého vzduchu bude určite zabezpečený viacerými jednotkami, ktoré si rozdelia celkový prietok privádzaného vzduchu a zaručia jeho dobrú distribúciu do celého objemu haly. Rekuperácia tepla môže potom prebiehať buď v centrálnom výmenníku alebo decentralizovanými jednotkami rovnomerne rozmiestnenými po streche haly. Centrálny systém by si vyžadoval rozsiahlejšie vedenie vzduchotechniky a mal by horšiu schopnosť regulácie. Decentralizovaný systém, kde každá jednotka bude mať svoj výmenník, svoje ventilátory a bude priamo nasávať a vypúšťať obe médiá je výhodnejšia aj z hľadiska prípadnej poruchy.

Spôsob spätného získavania tepla doskovým rekuperačným výmenníkom je zrejmy z obrázku 23. V prípade lyžiarskej haly by stálo za uváženie použitie trubkových

rekuperačních výměníků, pri ktorých je menšia náchylnosť na upchanie zamfzaním vlhkosti, ale za cenu väčších rozmerov a váhy a nižšej účinnosti.



Obrázok 23: Rekuperačný doskový výmenník [56]

V mojom prípade je z energetického hľadiska reálny odhad, že len 50 % z energie vetraného vzduchu sa dokáže udržať v hale. Do haly a aj z haly totiž musí každý jeden návštevník prejsť cez dvere, ktoré sa tým pádom budú často otvárať. Cez vstupné dvere sa môže pri veľkom počte lyžiarov vyvetrať značné množstvo vzduchu, tento objem bude však čisto stratový. Namiesto toho, aby som odhadoval, koľko vzduchu sa vyvetrá cez dvere som po konzultácii uvážil, že upravím účinnosť rekuperácie chladu na 50 %. Z toho vyplýva, že 50% z energie vyvetraného vzduchu taktiež prispeje ku celkovým tepelným stratám haly.

Vetrание je navrhované a upravované podľa prostredia a podľa kvality vzduchu. Tá je hodnotená na základe obsahu škodlivín, najbežnejšie podľa obsahu CO₂, keďže ho ľudia vydychujú a je najčastejšou nežiadúcou látkou v ovzduší. Obsah CO₂ v ovzduší je hodnotený v jednotkách ppm, čo vyjadruje počet častíc danej látky na milión častíc. Vonkajší vzduch dosahuje v priemere hodnoty CO₂ 400 ppm. Pre vnútorné prostredie s ľuďmi sa ako hraničná hodnota vydýchanosti vzduchu považuje obsah CO₂ 1500 ppm, niektoré zdroje uvádzajú len hranicu 1000 ppm. Množstvo vetraného vzduchu bude závisieť na produkcii škodlivín, v mojom prípade na počte ľudí v uzavretom priestore a na množstve vydychovaného CO₂ každého z nich. Objem vzduchu, ktorý sa musí vymeniť každú hodinu závisí od typu budovy a definuje ho norma. Podľa noriem na vetranie priestorov sa pre sedavú prácu berie 25 m³/h na osobu, pre fyzicky namáhavú prácu by sa malo na osobu priviesť 90 m³ čerstvého vzduchu každú hodinu. [57] Môj návrh a výpočet bude vychádzať z informácií na portály tzb-info.cz týkajúcich sa vetrania športovej haly, kde sa štandardne uvažuje s prívod čerstvého vzduchu v množstve 60 m³ na športovca a 20 m³ na diváka. [58] Môj návrh počíta s kapacitou haly 1000 ľudí, a ak budem všetkých brať za športovcov, vyplýva z toho pre celú halu 60 000 m³ čerstvého vzduchu za hodinu. Podľa rozmerov haly bude mať vnútorný priestor objem 225 000 m³. Ak vezmem do úvahy prípadné iné zdroje znečistenia a zdroje ako vyššie spomenutý ratrak, triezvy predpoklad je nutnosť vymeniť tretinu z celého objemu vzduchu každú hodinu.

Keď už poznám objemový prietok privádzaného vzduchu, bude možné dopočítať množstvo tepla, ktoré ventiláciou vnikne do haly. Objemový prietok vzduchu si najskôr prevediem do sekúnd, aby sa mi s ním lepšie pracovalo. Následne ho s použitím hustoty vzduchu, kde $\rho_{\text{vzduch}} = 1,31 \text{ kg/m}^3$ [59], prepočítam na hmotnostný tok vzduchu za jednu sekundu:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{vzduch}} &= \frac{60\,000}{3600} = 16,67 \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{m}_{\text{vzduch}} &= \rho_{\text{vzduch}} \cdot \dot{V}_{\text{vzduch}} \\ \dot{m}_{\text{vzduch}} &= 1,31 \cdot 16,67 = 21,84 \text{ kg/s}\end{aligned}\tag{14}$$

Následne použitím rovnice tepelnej bilancie určím tepelný tok potrebný na ochladenie vonkajšieho vzduchu na teplotu vnútorného prostredia. Najskôr budem uvažovať s ideálnym výmenníkom, kde teplota nasávaného vnútorného vzduchu sa bude rovnať teplote vypúšťaného čerstvého vzduchu, čiže $-4 \text{ }^\circ\text{C}$. Rovnako potom teplota špinavého vypúšťaného vzduchu a čistého nasávaného vzduchu bude rovnaká, $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Výpočtom zistím, aký tepelný tok musí nastať medzi médiami, aby sa čerstvý vzduch ochladil o požadovaných $39 \text{ }^\circ\text{C}$. Merná tepelná kapacita vzduchu je $c_p = 1010 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$. Výpočet je zrejmý z nasledujúcich vzťahov:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{vetranie}} &= \dot{m}_{\text{vzduch}} \cdot c_{p_{\text{vzduch}}} \cdot \Delta T \\ \dot{Q}_{\text{vetranie}} &= 21,84 \cdot 1010 \cdot 39 = 860,278 \text{ kW}\end{aligned}\tag{15}$$

V ďalšom kroku bude do výpočtu zahrnutá účinnosť, keďže výmenník nebude ani zďaleka ideálny. Po konzultácii bolo zhodnotené, že sa zrekuperuje asi 50 % energie. Z toho vyplýva, že zvyšných 50 % bude musieť čerstvému vzduchu odobrať chladiaci systém. Táto hodnota tepelného toku bude predstavovať teplo dodané do haly ventiláciou, ktoré bude musieť pokryť chladiaci výkon obehu.

$$\dot{Q}_{\text{vetranie}} = 860,278 \cdot 0,5 = 430,139 \text{ kW}\tag{16}$$

5.1.4 Podchladenie pri zasnežovaní

Ďalším príspevkom ku celkovému potrebnému chladiacemu výkonu bude množstvo tepla, ktoré bude nutné odobrať vnútornému vzduchu pri podchladzovaní na teplotu vhodnú k zasnežovaniu. K problematike vytvorenia vhodného prostredia na zasnežovanie je možné pristupovať dvoma spôsobmi. Buď sa objem vnútorného vzduchu podchladí na teplotu výrazne nižšiu ako pri bežnej prevádzke, alebo sa musí vzduch v hale kontinuálne zbavovať vlhkosti. Odvlhčovanie na nízke vlhkosti by podľa môjho názoru pri tak značnej výmene vzduchu zbytočne skomplikovalo celý systém vetrania a chladenia. Privádzaný čistý vzduch by sa totiž okrem rekuperačného ochladzovania musel zbavovať veľkej časti vlhkosti. Na základe predpokladu, že sneženie v mojom prípade nebude musieť bežať každý deň a preto nemá význam ho komplikovať bude môj návrh počítať s priamočiarejším prístupom ku vytvoreniu optimálnych podmienok na zasnežovanie. Chladiaci systém teda bude zabezpečovať vychladenie celého objemu vzduchu v hale na $-12 \text{ }^\circ\text{C}$, pri ktorej sa stabilne budú tvoriť snehové častice bez ohľadu na vlhkosť vzduchu.

Výpočet množstva energie, ktoré bude nutné odviezť z haly pred spustením zasnežovacích systémov bude vychádzať z predpokladu, že celý objem vzduchu v hale bude nutné ochladiť o ďalších 8 °C. Z rozmerov haly vyplýva, že vnútorný objem vzduchu bude 225 000 m³, hustota vzduchu bude už použitých $\rho_{vzduch} = 1,31 \text{ kg/m}^3$. Hmotnosť všetkého vzduchu v hale bude potom:

$$\begin{aligned} m_{vzduch} &= \rho_{vzduch} \cdot V_{vzduch} \\ m_{vzduch} &= 1,31 \cdot 225\,000 = 294\,750 \text{ kg} \end{aligned} \quad (17)$$

S použitím tejto hmotnosti a teplotnej diferencie vzduchu pri normálnej prevádzke a pri zasnežovaní zistím množstvo tepla, ktoré bude nutné tomuto objemu vzduchu odobrať na zmenu teploty:

$$\begin{aligned} Q_{snezenie} &= m_{vzduch} \cdot c_{p_{vzduch}} \cdot \Delta T_{snezenie} \\ Q_{snezenie} &= 294\,750 \cdot 1010 \cdot 8 = 2\,381\,580 \text{ kJ} \end{aligned} \quad (18)$$

Odobranie takéhoto množstva tepla samozrejme nebude okamžité, vychladzovanie haly bude trvať nejaký čas. Keďže zasnežovanie bude prebiehať počas noci, nebudú tu veľké nároky na extrémne rýchlu odozvu chladiaceho systému. Podľa môjho odhadu by bolo reálne očakávať od chladiaceho systému, že vychladí celú halu za dobu jednej hodiny $t_{vychladenie} = 3600 \text{ s}$. Tým pádom vypočítané teplo podelím navrhnutou dobou vychladzovania v sekundách a zistím chladiaci výkon v kilowattoch potrebný na zníženie teploty v celej hale o 8 °C:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{snezenie} &= \frac{Q_{snezenie}}{t_{vychladenie}} \\ \dot{Q}_{snezenie} &= \frac{2\,381\,580}{3600} = 661,55 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 661,55 \text{ kW} \end{aligned} \quad (19)$$

Do potrebného chladiaceho výkonu počas sneženia určite vstupuje aj energia nutná na fázovú premenu privádzanej vody na sneh. Množstvo privádzanej vody a energia, ktorá by jej musela byť odobraná na tvorbu snehu by závisela na prietoku vody a na rozdiel entalpií vody privádzanej a vody zamrznutej. Prietok privádzanej vody z vonkajšej nádrže by závisel od množstva snehu, ktorý bude v hale odbúdať. To je však v praxi náročné odhadnúť, pretože sneh by sa sám od seba nemal topiť a väčšie množstvo sa skôr bude odstraňovať s cieľom udržať kvalitu podkladu. Podľa mňa úbytok snehu nebude natoľko intenzívny, aby bolo nutné púšťať každý deň zasnežovacie systémy. Moja predstava je taká, že sneženie bude skôr prebiehať nárazovo po odbudnutí určitého množstva napríklad raz týždenne, kedy sa delá pustia na niekoľko hodín. Dôležitým faktorom však je, že sneženie bude prebiehať výhradne v nočných hodinách, kde vypadávajú mnohé iné tepelné príspevky. Okrem toho na udržiavanie teploty -12 °C počas sneženia nebude potrebný taký vysoký výkon, ako na samotné podchladzovanie haly. Tým pádom nebude nutné chladiaci výkon navyšovať a energia fázovej premeny vody na sneh už bude zakomponovaná v celkovom chladiacom výkone.

Výsledný chladiaci výkon, potrebný na prevádzku haly, bude sumou všetkých vyššie spočítaných tepelných príspevkov. Chladiaci systém bude mať za úlohu pokryť straty objektu, stratu ventiláciou, vnútorné zdroje tepla a podchladzovanie vzduchu

pred zasnežovaním. Po sčítaní všetkých príspevkov na nároky chladiaceho systému dostanem celkový potrebný chladiaci výkon:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{chladienie}} &= \dot{Q}_{\text{straty}} + \dot{Q}_{\text{vetranie}} + \dot{Q}_{\text{sneženie}} + \dot{Q}_{\text{iné}} \\ \dot{Q}_{\text{chladienie}} &= 305,054 + 430,139 + 661,55 + 415 = 1811,743 \text{ kW}\end{aligned}\tag{20}$$

Z výpočtu chladiaceho výkonu vyplýva, že najväčší príspevok ku vzniku potreby chladu v hale bude mať vetranie a podchladzovanie pri zasnežovaní. Straty budovy rozhodne nebudú zanedbateľné, nebudú však ani hlavným zdrojom otepľovania vnútorného vzduchu, preto nemá až taký význam navyšovať hrúbku stien haly. Pri vetraní sa stratí viac energie ako prechodom cez obálku haly. Najväčší vplyv na výkon chladiaceho obehu bude mať krátkodobá potreba vychladiť celý objem vzduchu pred zasnežovaním. To je výhodné z hľadiska dimenzovania chladiaceho obehu, kde vypočítaný celkový výkon 1,8 MW bude predstavovať hranicu extrému, ktorá veľmi pravdepodobne nikdy nenastane. Tým pádom chladiaci obeh s takýmto výkonom bude mať aj počas veľmi teplých letných dní výkonovú rezervu a kompresory nebudú dlhodobo namáhané chodom na maximálny výkon. To zabezpečí stabilnejšiu prevádzku s dlhšou životnosťou komponentov chladienia.

5.2 Výpočet chladiaceho cyklu

S celkovým chladiacim výkonom 1,8 MW budú zhruba 2/3 potrebné pre pokrytie maximálnych energetických nárokov pri bežnej prevádzke, to znamená udržiavanie vnútorného vzduchu na stabilnej teplote $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a zároveň chladienie svahu na teplotu snehu $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zvyšná zhruba tretina výkonu bude potrebná na zasnežovanie. V praxi by to teda mohlo fungovať tak, že chladiaci výkon by bol docielený prácou viacerých kompresorov zároveň, ktoré by si rozdelili záťaž. V takom prípade by nemuseli pracovať všetky naraz, niektoré by sa zapájali len pri špičkách, napríklad pred spustením zasnežovania. Použitie viacerých kompresorov bude výhodné z hľadiska regulácie a aj životnosti. Systém by mohol byť tvorený napríklad dvoma kompresormi s rovnakým výkonom, alebo jedným silnejším a jedným slabším vo výkonovom pomere 2 ku 1. Voľba konkrétnych zariadení by samozrejme závisela od ponuky dostupných kompresorov na trhu. Podľa mňa by sa však veľmi výhodne mohla javiť možnosť s tromi rovnakými kompresormi, kde každý bude disponovať chladiacim výkonom 600 kW. Takýto pomer výkonov by bol výhodný preto, že okruh bude mať dostatok výkonu na zabezpečenie potrieb chladu v akomkoľvek ročnom období a podľa potreby chladu bude regulovať, koľko zariadení súčasne bude v prevádzke. Zároveň bude vytvorená výkonová rezerva aj v prípade extrémnych potrieb chladu. Pri zníženej potrebe chladu, napríklad počas zimy, by malo byť dostatočné zapájať len jeden kompresor. Zároveň by príspevok jedného kompresora s takýmto výkonom mal byť postačujúci na podchladzovanie vzduchu pred snežením. Ďalšou výhodou viacerých zariadení je, že pri prípadnej odstávke alebo poruche jedného by nemuselo dôjsť k uzavretiu haly. Takáto sústava by mala zabezpečiť dostatočnú variabilitu chladienia a možnosť regulácie podľa okamžitých potrieb. Vo výpočtoch ale pre zjednodušenie budem počítať s celkovým chladiacim výkonom, z ktorého mi vyplynie

hodnota celkového príkonu potrebného na funkciu kompresorov. Výsledné hodnoty by sa potom mohli pomerne rozdeliť medzi jednotlivé stroje.

Použitým chladivom bude amoniak, v podobných aplikáciách veľmi rozšírený. Z hľadiska chladiacich a ekologických vlastností by mu mohol konkurovať len CO₂, voľba však padla na amoniak hlavne kvôli tomu, že sa používa vo veľkej väčšine podobných projektov. Amoniak je aj u nás úspešne a spoľahlivo používaný v mnohých aplikáciách veľkopriestorového chladenia, preto bude najrozumnejšou a najjednoduchšou voľbou.

Na základe vypočítanej potreby chladiaceho výkonu, ktorá bude predstavovať teplo prijaté výparníkom Q_o , je možné ďalej určiť ostatné parametre obehu ako prietok chladiva m_{ch} , teploty v cykle T_o a T_k chladiaci faktor COP_C . Výpočet začína pri návrhu pracovných teplôt cyklu. Kvôli zachovaniu správneho tepelného toku musí byť logicky teplota vo výparníku nižšia ako teplota vo vnútri haly a teplota kondenzácie zasa vyššia ako teplota vonkajšieho prostredia. Teplota vyparovania sa určuje v rozmedzí $t_{in} - 5 \text{ K}$ až -10 K , kondenzačná teplota častokrát $t_{out} + 10 \text{ K}$. [60] Ja budem počítať s výparnou teplotou $t_o = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ a kondenzačnou teplotou $t_k = 45 \text{ }^\circ\text{C}$, keďže výpočet bude aj naďalej stavaný na podmienky maximálnej vonkajšej teploty.

Na základe navrhutej výparnej a kondenzačnej teploty je možné z týchto teplôt vypočítať chladiaci faktor Carnotovho obehu COP_{Carnot} , ktorý bude predstavovať maximálny možný, ale v praxi nereálny chladiaci faktor pre daný teplotný rozdiel. Chladiaci faktor reálneho cyklu COP_C ako bezrozmerná veličina bude vypočítaný ako pomer tepla odobraného do výparníku a práce dodanej do kompresora. Tieto dva chladiace faktory je následne možné porovnať, čím sa určí takzvaná porovnávacia účinnosť, ktorá vyjadruje mieru dokonalosti chladiva a jej hodnota bude vždy menšia ako 1. Všetky spomenuté vzťahy sú vypísané nižšie [60]:

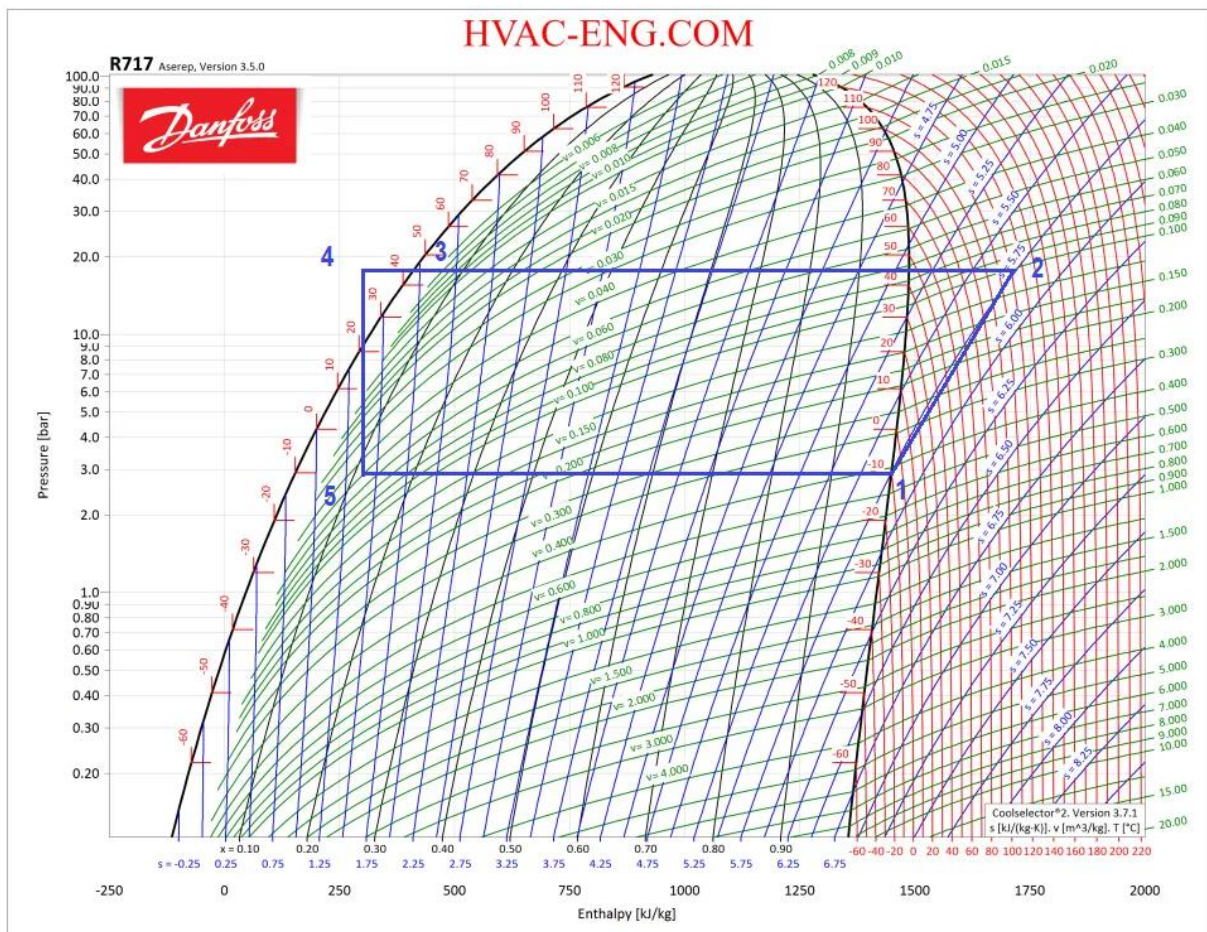
$$COP_{Carnot} = \frac{T_o}{T_k - T_o} = \frac{263,15}{318,15 - 263,15} = 4,78$$

$$COP_C = \frac{Q_o}{A}$$

$$\eta_{C-R} = \frac{COP_C}{COP_{Carnot}} \quad (21)$$

Cyklus chladiaceho obehu je vykreslený v p-h diagrame amoniaku na obrázku 24. Cyklus je značne idealizovaný a počíta s izobarickým vyparovaním (5-1) a kondenzáciou (2-3) a s jednostupňovou izoentropickou kompresiou (1-2). Výhodné z energetického hľadiska bude izobaricky podchladzovať sýtu kvapalinu po kondenzácii na nižšie teploty (3-4). Tým sa dosiahne vyššie výparné teplo pri rovnakom príkone kompresora, z čoho v praxi vyplynie menší prietok chladiva a tým pádom nižšia práca kompresora. Rovnako dôjde ku navýšeniu chladiaceho faktoru. Toto teplo sa bude môcť spätne využívať rovnako ako aj teplo z kondenzátora, napríklad na ohrev teplej úžitkovej vody vo výmenníku voda-voda. Aby však spätne využitie ohrevom vody dávalo význam, podchladzovanie chladiva musí byť do teploty o niečo vyššej ako teplota privádzaného chladiaceho média. Ak zoberiem do úvahy prívod vody s teplotou $20 \text{ }^\circ\text{C}$, kondenzát chladiva bude podchladzovaný na teplotu

$t_4 = 23 \text{ } ^\circ\text{C}$. Škrtenie z podchladenej kvapaliny do mokrej pary bude prebiehať izoentálpicky, to znamená, že $h_4 = h_5$.



Obrázok 24: Chladiaci cyklus v p-h diagrame amoniaku (R717) [61]

S použitím tabuliek amoniaku a s pomocou výpočtových aplikácií viem z tlakov a teplôt zistiť hodnoty entalpie chladiva v jednotlivých bodoch cyklu. Správnosť hodnôt si môžem overiť v Mollierovom p-h diagrame amoniaku (obrázok 24). Podľa tabuliek amoniaku zodpovedá pre výparnú teplotu $-10 \text{ } ^\circ\text{C}$ tlak $p_0 = 2,91 \text{ bar}$ a pre kondenzačnú teplotu $45 \text{ } ^\circ\text{C}$ tlak $p_k = 17,82 \text{ bar}$. Hodnoty teplôt, tlakov a im prislúchajúcich merných entalpií sú zhrnuté v tabuľke 5:

	Teplota [$^\circ\text{C}$]	Tlak [bar]	Entalpia [KJ/kg]
1	-10	2,91	1451
2	120	17,82	1711
3	45	17,82	415,5
4	23	17,82	308,5
5	-10	2,91	308,5

Tabuľka 5: Hodnoty veličín v konkrétnych bodoch cyklu

S použitím požadovaného odvedeného tepla Q_0 je potom možné určiť prietok chladiva výmenníkmi a následne kondenzačné teplo a príkon kompresora. Prietok chladiva vypočítam zo vzťahu:

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_{ch} \cdot (h_1 - h_5)$$

$$\dot{m}_{ch} = \frac{\dot{Q}_o}{(h_1 - h_5)} = \frac{1812}{(1451 - 305,5)} = 1,58 \text{ kg/s}$$
(22)

Na základe kompresného pomeru $(p_k/p_o) = 6,12$ volím jednostupňovú kompresiu, použitý bude skrutkový kompresor. Práca kompresora A vyjadrujúca elektrický príkon P_k bude okrem prietoku chladiva závisieť od stavov entalpie plynného chladiva pred a po kompresii. Stav entalpie po kompresii v bode 2 bude nutné zistiť ako priesečník priamky kondenzačného tlaku $p_k = 17,82$ bar a entropie $s_1 = s_2 = 5,75$ kJ/(kg.K). Z diagramu vyplýva hodnota teploty $t_2 = 120$ °C, čomu zodpovedá entalpia $h_2 = 1711$ kJ/kg. Elektrický príkon kompresora následne vypočítam vzťahom:

$$P_k = \dot{m}_{ch} \cdot (h_2 - h_1)$$

$$P_k = 1,58 \cdot (1711 - 1451) = 410,8 \text{ kW}$$
(23)

Analogicky potom postupujem aj pri určení kondenzačného tepla Q_k a tepla podchladzovania Q_d .

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_{ch} \cdot (h_2 - h_3) = 1,58 \cdot (1711 - 415,5) = 2046,9 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_d = \dot{m}_{ch} \cdot (h_3 - h_4) = 1,58 \cdot (415,5 - 308,5) = 169,1 \text{ kW}$$
(24)

Pri prevádzke na nižší než maximálny výkon sa zníži potreba odvádzaného tepla, tým pádom sa zníži aj príkon kompresora a tlak s teplotou kondenzácie chladiva. Takýto stav nastane hlavne pri miernejších vonkajších teplotách a znižovanie teploty kondenzácie bude kvôli zachovaniu tepelného toku limitované vonkajšou teplotou vzduchu. Veľká časť kondenzačného tepla by sa však v ideálnom prípade spätne využívala na vykurovanie a ohrev teplej úžitkovej vody pre príslušnú infraštruktúru. Časť tepla sa môže výhodne akumulovať do nádrže s teplou vodou, aby pokryla nárazové potreby teplej vody pre sprchy, kuchyňu prípadne hotel s wellness.

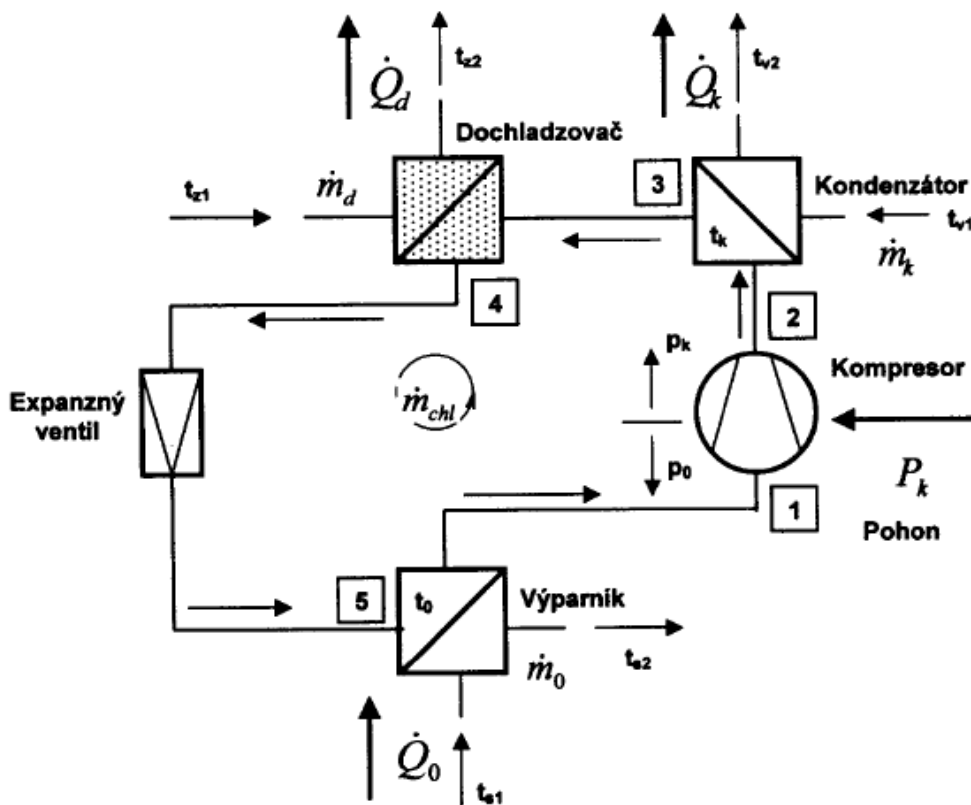
V reálnom cykle nemôže kompresor pracovať ideálne bez straty energie, preto bude nutné uvažovať s jeho účinnosťou. Kompresia tým pádom nebude izoentropická a pracovný bod 2 by sa v diagrame posunul viac doprava. Tento fakt zahrniem do výpočtu tak, že pomer výparného tepla a príkonu kompresora vyjadrujúci reálny chladiaci faktor prenášobím hodnotou účinnosti kompresora, ktorú po konzultácii volím na $\eta = 0,85$.

Výparné teplo Q_o [kW]	Kondenzačné teplo Q_k [kW]	Teplo podchladenia kondenzátu Q_d [kW]	Príkon kompresora P_k [kW]	Prietok chladiva \dot{m}_{ch} [kg/s]	Chladiaci faktor COP_c [-]
1811,7	2046,9	169,1	410,8	1,58	3,75

Tabuľka 6: Výsledné hodnoty energií v chladiacom cykle pri maximálnej teplote

Z tepelných výpočtov vyplýva, že cyklus bude pracovať s relatívne dobrým chladiacim faktorom 3,75, ktorý bude ale samozrejme platiť pre situáciu maximálneho možného teplotného rozdielu medzi vnútorným a vonkajším prostredím. Pomerom

reálneho a Carnotovho chladiaceho faktoru bola stanovená porovnávacia účinnosť cyklu $\eta_{C-R} = 0,7845$. Popri chladení bude zároveň na teplej strane obehu vznikajú dokopy 2216 kW tepla, ktoré bude môcť byť spätne využité. Schéma celého chladiaceho obehu so všetkými komponentami a dôležitými veličinami aj s použitím dochladzovača kondenzátu je zobrazená na obrázku 25.



Obrázok 25: Schéma chladiaceho cyklu [60]

6 Stanovenie energetických nárokov

V priebehu roka sa prevádzkové náklady haly, obzvlášť straty budovy, budú meniť na základe klimatických podmienok. Určenie potrieb energie na chladenie sa bude odvíjať od priemernej vonkajšej teploty stanovenej pre konkrétnu lokalitu haly. Za lokalitu haly vezmem oblasť stredného Slovenska, ktorá z hľadiska teplôt dobre charakterizuje normálne podmienky v rámci Slovenska a Česka. Zároveň má dostatok kopcov, na ktorých by mohla byť hala postavená. Priemerné denné teploty budú určené na základe údajov z SHMÚ, zachytených na meteorologickej stanici Sliač počas roka 2020. [62]

6.1 Energetická bilancia haly v priebehu roka

Potreba chladiaceho výkonu počas roka bude výrazne kolísať, rovnako ako aj potreba tepla do ostatných častí haly. Napríklad v zimných mesiacoch sa počas väčšiny dní nebude musieť vzduch chladiť vôbec a privádzaný čerstvý vzduch bude priamo vedený do haly. Zároveň sa však bude musieť kúriť oveľa viac ako v zvyšných mesiacoch roka. Potreba tepla pri nízkych vonkajších teplotách, to znamená pri

nečinnosti chladiaceho obehu, bude musieť byť pokrytá nejakým externým zdrojom, keďže vykurovanie príľahlých priestorov je priamo naviazané na chladenie haly. Najjednoduchšie by bolo na zálohu zimného vykurovania použiť elektrický kotol. Na druhú stranu, v lete bude tepla prebytok, pretože bude potrebné len na ohrev teplej úžitkovej vody. Všetky tieto faktory je vcelku náročné predpokladať v presných číslach, preto budú hodnoty potreby tepla počas roka odhadnuté s čo najväčšou presnosťou v závislosti na priemernej teplote vzduchu v danom mesiaci a s prihliadnutím na ostatné potreby energie v celom komplexe haly. Samozrejme hodnoty potrebného chladiaceho výkonu bude možné úpravou teplotného rozdielu vypočítať. Ako som určil vo výpočte celkového chladiaceho výkonu, teplo tvorené v hale bude spočívať zo štyroch hlavných zdrojov: prechod tepla cez obálku haly, ventilácia, podchlazovanie vzduchu pred zasnežovaním a iné zdroje tepla. Určite môžem predpokladať s tým, že príspevky ku potrebe chladiaceho výkonu na podchladzovanie a na iné zdroje tepla zostanú počas roka nemenné. Chladiaci výkon pokrývajúci straty budovy a straty ventiláciou už bude závisieť od teploty vonkajšieho vzduchu, tým pádom bude pre každý mesiac odlišný. Tieto hodnoty vypočítam s použitím priemernej teploty v danom mesiaci a navýšim o stabilnú potrebu odvádzaného tepla 1046 kW, čo bude dokopy tvoriť priemerný chladiaci výkon potrebný v konkrétnom mesiaci.

Potrebu tepla budem na rozdiel od chladenia odhadovať na základe predpokladov pre stanovenú vykurovanú plochu. Tvorená bude teplom na vykurovanie a teplom na ohrev teplej úžitkovej vody. Potreba teplej úžitkovej vody zostane počas roka konštantná, rozdiely budú tvorené odhadom, koľko sa v ktorej fáze roka bude kúriť. Po konzultácii bolo odhadom stanovené, že vykurovanie príľahlých objektov ako vstupná hala, šatne, prípadne nejaké hotelové a kongresové priestory spotrebuje počas zimnej sezóny 200 kW energie. Túto hodnotu stanovím na mesiace od októbra do marca, prechodné obdobie v mesiacoch apríl a september stanovím na 100 kW. V letných mesiacoch sa samozrejme kúriť nebude, počas celého roka však potreba tepla musí byť navýšená o vykurovanie priestorov reštaurácie a toaliet priamo v hale, čo bude už skôr určených 30 kW.

Odhad množstva potrebnej teplej úžitkovej vody môžem založiť na predpokladanom počte návštevníkov a na technickej norme množstva teplej vody na osobu na deň. V množstve vody na osobu bude zahrnuté sprchovanie, rovnako ako aj spotreba v kuchyni. Ak bude predpokladaná ročná návštevnosť haly 200 000 ľudí [47] a na každého pripadá 45 litrov teplej vody [63], ročne sa v objekte spotrebuje 9 000 m³ teplej úžitkovej vody. Keďže je kondenzačná teplota chladenia stanovená na 45 °C, nemôžem čisto s použitím kondenzačného tepla ohriať TUV na teplotu vyššiu. Z predpokladanej návštevnosti v priemere navštívi halu 550 ľudí denne, z čoho vyplýva denná spotreba 24,75 m³. To zodpovedá 24 750 kg vody. Budem počítať s ohrevom vody z 10 °C na 45 °C pri mernej tepelnej kapacite vody 4180 J/(kg.K). Po zaokrúhlení mi z týchto hodnôt vyjde tepelný výkon potrebný na ohrev úžitkovej vody zhruba 40 kW. To znamená, že ku celkovej potrebe tepla v jednotlivých mesiacoch bude ku každému mesiacu pripočítaných 40 kW na TUV a 30 kW na vnútornú reštauráciu.

Od potreby chladu a tepla sa bude odvíjať aj celková spotreba elektrickej energie haly. Hlavným spotrebičom elektriny bude kompresor, ktorého potrebný výkon bude v priebehu roka tiež premenlivý na základe potreby chladu. S tým sa bude meniť

kondenzačná teplota a zároveň aj chladiaci faktor obehu, ktorý sa bude líšiť v závislosti na zmene rozdielu medzi výparnou a kondenzačnou teplotou. Výparná teplota pre prepočet v priebehu roka zostane nezmenených $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, kondenzačnú teplotu upravím pre každý mesiac ako priemernú teplotu vzduchu zvýšenú o $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzťahom na výpočet Carnotovho chladiaceho faktoru s použitím teplôt následne stanovím COP pre každý mesiac zvlášť. Tento pomer ešte musí byť vynásobený porovnávacou účinnosťou obehu 0,7845, v ktorej bude obsiahnutá účinnosť kompresora a reálnosť obehu. Príkion dodávaný do kompresora pre daný mesiac bude teda pomerom potrebného chladiaceho výkonu a upraveného chladiaceho faktoru. Z toho potom v ďalšej kapitole dostanem priemernú potrebu elektrickej energie pre kompresor, odlišnú pre všetky mesiace v roku. Všetky spomenuté výkony sú v priemerných hodnotách pre jednotlivé mesiace stanovené v tabuľke 7.

Mesiac	Priemerná teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Teplo cez obálku [kW]	Teplo cez vetranie [kW]	Chladienie [kW]	Kúrenie [kW]	COP [-]	Príkion kompresora [kW]
1.	-2	18,89	22,06	1086,95	270	11,47	94,77
2.	3	66,11	77,20	1189,31	270	8,98	132,50
3.	5	80,27	93,75	1220,02	270	8,43	144,79
4.	10	127,49	148,89	1322,38	170	7,00	188,97
5.	13	155,82	181,98	1383,80	70	6,35	217,85
6.	19	212,48	248,16	1506,64	70	5,36	280,98
7.	20	226,65	264,70	1537,35	70	5,16	297,88
8.	21	231,37	270,22	1547,58	70	5,10	303,61
9.	16	188,87	220,58	1455,46	170	5,73	253,81
10.	10	132,21	154,41	1332,62	270	6,88	193,66
11.	3	66,11	77,20	1189,31	270	8,98	132,50
12.	3	61,38	71,69	1179,07	270	9,18	128,51

Tabuľka 7: Súhrn potrebných výkonov počas roka

Z tabuľky je zrejmé, že chladiaci obeh by mohol byť schopný pokryť potreby tepla v príľahlej infraštruktúre aj počas zimných mesiacov, keďže najnižší chladiaci výkon je stále cez 1 MW a na kúrenie sa spotrebuje do 300 kW. Tu však treba brať do úvahy fakt, že len nárazové podchladienie vzduchu má vyhradený výkon 660 kW, pre potrebu pokrytia odvodu tepla z haly pri bežnej prevádzke bude vyhradených len zvyšných zhruba 400 kW. Tieto čísla sú však len vypočítaným predpokladaným priemerom a celý systém bude regulovaný na základe okamžitých podmienok vonku. Počasie je veľmi nevyspytateľné a môže nastať situácia, že sa v aj v zime bude musieť púšťať chladiaci obeh pri dlhodobých vonkajších teplotách vzduchu nad nulou. Na druhú stranu môže nastať aj situácia, kde sa nebude okrem občasného sneženia využívať chladiaci výkon vôbec, pretože vonku budú silné mrazy. Kúrenie teda nemožno založiť výhradne na spätnom získavaní kondenzačného tepla, ale bude nutné mať na vykurovanie a ohrev vody nejaký záložný zdroj. Najjednoduchšou možnosťou by bol elektrický kotol, ktorý by sa využíval pri vypnutom, respektíve nedostatočnom výkone chladienia. Ďalšou možnosťou by bolo zavedenie spôsobu

akumulácie tepla napríklad vo forme akumuláčnych nádrží s teplou vodou. Taktiež sa ponúka možnosť použitia záložnej kogeneračnej jednotky, ktorá by mohla byť s rýchlym nástupom spúšťaná v prípade nedostatku tepla.

Opačný problém nastane v lete, kde potreba tepla bude minimálna ale produkcia kondenzačného tepla z chladiaceho systému bude maximálna. Bolo by veľmi efektívne, keby sa našiel spôsob, ako toto odpadné teplo využívať v čo najväčšej miere, prípadne odvádzať do inej prevádzky. Najlepší spôsobom využitia by bola vlastná spotreba, tá sa však ani zďaleka nepriblíži množstvu vyprodukovaného tepla. Maximálny výkon kondenzačného tepla bude podľa výsledkov z tabuľky 6 presahovať 2200 kW, bude tu teda vznikať veľký prebytok tepelnej energie. Jednou možnosťou spätného využitia by bolo toto teplo použiť na centrálny ohrev teplej vody, kde by sa takto ohriata TUV mohla distribuovať do okolitých domácností. Samozrejme by sa s ním mohli v zimných mesiacoch rovnakým spôsobom vykurovať blízke objekty. V ideálnom prípade by si to však žiadalo zazmluvnený pravidelný odvod tepla ku veľkoodoberateľovi, napríklad do nejakej priemyselnej alebo chemickej výroby. Ak sa na teplo nenájde využitie, prebytočná energia by sa musela mariť. To by bol pravdepodobný scenár počas letných mesiacov. Na odvádzanie takýchto tepelných výkonov potom musí byť prispôbosený kondenzátor na vonkajšej strane obehu. Toto teplo by však napríklad práve v lete bolo možné v spojení s absorbným obehom využiť na veľkoplošné chladenie napríklad blízkeho nákupného centra, hotelov alebo skladov.

Celková spotreba elektrickej energie za mesiac bude navýšená o príspevky od ostatných strojov, konkrétne od snežných diel, lanovky, osvetlenia a ventilátorov chladenia a rekuperačných výmenníkov ventilácie. Stanovenie hodnoty ostatných spotrebičov bude dôležité pre celkovú spotrebu elektriny v danom mesiaci. Čo je však dôležité, hodnota tejto potreby bude v priebehu roka stabilná pre všetky mesiace. Potreba elektrického príkonu na chladenie bude naopak premenná a bude ju samozrejme tvoriť príkon kompresoru vypočítaný v tabuľke 7.

6.2 Spotreba elektrickej energie

Hlavnou hodnotou, ktorá bude ovplyvňovať celkové prevádzkové náklady bude cena za kWh elektrickej energie. Keďže ide o veľkoodoberateľa, cena pri reálnej prevádzke by bola stanovená individuálne podľa zmluvu prevádzkovateľa haly s poskytovateľom elektrickej energie. Takéto zmluvy samozrejme nie sú verejne prístupné, preto bude po konzultácii cena za kWh odhadnutá ako 60 % z vyššieho tarifu pre domácnosti. Ak vezmem za tarif pre domácnosť 0,18 € za kWh [64], pre lyžiarsku halu môžem cenu stanoviť na 0,10 €/kWh.

Na základe potrebného príkonu jednotlivých spotrebičov a doby ich prevádzky viem vypočítať počet spotrebovaných kilowatthodín pre každý jeden typ spotrebiča za mesiac. Príkon ostatných spotrebičov bude určený na základe technických údajov podobných strojov. Pre elektromotor lanovky stanovím príkon 150 kW na základe technických parametrov porovnateľných zariadení. [55] Pre snežné delá, ktoré budú fungovať na princípe tyčových diel, kde sneh bude zamŕzať počas dopadania na svah od strechy cez objem studeného vnútorného vzduchu, stanovím príkon 4 kW na jedno delo [65]. Pri odhade, že pri jednom snežení pribudne 5 cm snehu po celej ploche svahu a sneženie bude trvať 3 hodiny, stanovím počet diel v hale na 40. V takomto

případe budú delá umiestnené zhruba každých 20 metrov v dvoch radoch, čo by malo pokryť požadovanú produkciu snehu a zároveň zabezpečiť dobré rozloženie nového snehu už pri zasnežovaní, čo zníži potrebnú prácu ratraku. Z toho vyplýva celkový príkon na snežné delá 160 kW. Príkon sa môže zdať nižší z toho dôvodu, že pri tyčových systémoch odpadá nutnosť ventilátora a teda všetok príkon spotrebuje výhradne kompresor.

Ďalším elektrickým spotrebičom v hale bude osvetlenie svahu. Kvôli šetreniu energie volím úsporné LED žiarovky. Osvetlenie bude montované na strechu v rozumných rozstupoch, ktoré zvolím podľa parametrov žiarovky s cieľom zabezpečiť osvetlenie celého svahu. Zvolím priemyselné svietidlá s príkonom 150 W, kde na základe uhlu osvetlenia 90° a výšky umiestnenia svetla zhruba vypočítam, že na osvetlenie celej plochy haly bude potrebných 23 radov svetiel po 3 svetlá v každom rade. To dáva dokopy 69 svietidiel, z čoho vyplýva ich celkový príkon zaokrúhlene 10 kW. [66]

Vzhľadom na to, že v hale musí byť zaručená intenzívna ventilácia, ventilátory zabezpečujúce výmenu vzduchu spotrebujú nezanedbateľné množstvo energie. Pri požadovanom prietoku vzduchu $60\,000\text{ m}^3/\text{h}$ je nutné myslieť na fakt, že toto množstvo musí byť hnané ako z haly tak aj do haly. Pri zariadení s prietokom $1000\text{ m}^3/\text{h}$ a elektrickým príkonom 110 W [67] budem takýchto zariadení potrebovať 60 na vnútornú stranu a 60 na vonkajšiu stranu. Z toho vyplýva, že spolu budú mať ventilátory príkon zhruba 13 kW.

Spotreba elektriny bude samozrejme závisieť aj na počte hodín prevádzky jednotlivých spotrebičov počas mesiaca. Pre technické spotrebiče vymenované vyššie môžem odhadom určiť, že ak hala bude otvorená 12 hodín denne, všetky systémy infraštruktúry ako lanovka alebo osvetlenie budú v prevádzke 360 hodín mesačne. Rovnako ventilácia nemusí bežať počas noci, tým pádom bude rovnako v prevádzke len polovicu hodín v mesiaci. Sneženie bude v prevádzke raz za týždeň, kde snežné delá sa budú púšťať na 3 hodiny, z čoho vyplýva 12 hodín prevádzky diel každý mesiac. Počet návštevníkov bude taktiež určitou mierou vplývať na spotrebu elektriny, je však náročné odhadnúť presné čísla. V konečnom dôsledku bude počet ľudí ovplyvňovať spotrebu elektriny len v malej miere v porovnaní s ostatnými spotrebičmi, pretože hlavné spotrebiče budú musieť v otváracích hodinách bežať bez ohľadu na to, či je hala plná alebo prázdna. Hodnotou elektrického príkonu 50 kW zohľadním navyše príspevok ďalších spotrebičov používaných v komplexe haly počas prevádzky. V tabuľke 8 je vypočítaná mesačná spotreba elektrickej energie spotrebičov, ktorých spotreba sa v priebehu roka nebude výrazne meniť.

Spotrebiče	Príkon [kW]	Doba prevádzky za mesiac [h]	Spotreba elektriny za mesiac [kWh]
Lanovka	150	360	54 000
Snežné delá	160	12	1 920
Osvetlenie	10	360	3 600
Ventilácia	13	360	4 680
Ďalšie spotrebiče	50	360	18 000
Suma	383	-	82 200

Tabuľka 8: Mesačná spotreba ostatných technických spotrebičov

Hlavný spotrebič, kompresor chladiaceho obehu, bude vo väčšej časti roka samozrejme v prevádzke bez prestávky počas celého mesiaca, pretože pre zachovanie snehovej pokrývky sa musí držať stabilná teplota v hale aj počas noci. To dáva dokopy mesačne 720 prevádzkových hodín chladiaceho systému od apríla do októbra. V prechodnom období v novembri a marci počítam s mrazmi počas noci a tým pádom prevádzku chladenia 12 hodín denne, z čoho vyplýva 360 prevádzkových hodín mesačne. V zimných mesiacoch budem počítat s prevádzkou len 3 hodiny denne, kde cieľom je nejakým spôsobom zahrnúť spotrebu na vychladzovanie haly pred umelým zasnežovaním. Počty prevádzkových hodín pre jednotlivé mesiace som stanovil odhadom na základe priemernej vonkajšej teploty. Podľa môjho názoru bolo nutné zahrnúť dobu prevádzky chladenia na zohľadnenie zníženej spotreby elektrickej energie kompresora počas zimných mesiacov. Celková spotreba elektrickej energie na chladenie v každom mesiaci sa už potom jednoducho dá vypočítat, kde náklady na chladenie sa následne prepočítajú podľa zvoleného tarifu 0,10 €/kWh. Ročnú spotrebu kompresora spolu s nákladmi na chladenie pre každý mesiac v roku zhrňa tabuľka 9.

Mesiac	Príkion kompresora [kW]	Doba prevádzky kompresora [h]	Spotreba kompresora [kWh]	Cena za chladenie [€]
1.	94,77	90	8 529,56	852,96
2.	132,50	90	11 925,29	1 192,53
3.	144,79	360	52 124,13	5 212,41
4.	188,97	720	136 055,28	13 605,53
5.	217,85	720	156 853,16	15 685,32
6.	280,98	720	202 304,65	20 230,46
7.	297,88	720	214 470,80	21 447,08
8.	303,61	720	218 597,58	21 859,76
9.	253,81	720	182 741,76	18 274,18
10.	193,66	720	139 432,34	13 943,23
11.	132,50	360	47 701,16	4 770,12
12.	128,51	90	11 565,64	1 156,56
Suma			1 382 301,34	138 230,13

Tabuľka 9: Spotreba a náklady na elektrinu pre chladiaci systém počas roka

Výsledná spotreba elektrickej energie celej haly bude ešte navyše oproti nákladom na chladenie z tabuľky 9 každý mesiac zvýšená o stabilnú spotrebu ostatných spotrebičov z tabuľky 8. Podľa ceny za kilowatthodinu sa rovnako prepočíta celková spotreba, z čoho vzniknú finálne hodnoty finančných nákladov na prevádzku haly v priebehu roka. Dôležitou hodnotou bude suma týchto nákladov, podľa ktorej sa bude dať zhodnotiť návratnosť celej investície do projektu lyžiarskej haly. Všetko je to zhrnuté v tabuľke 10.

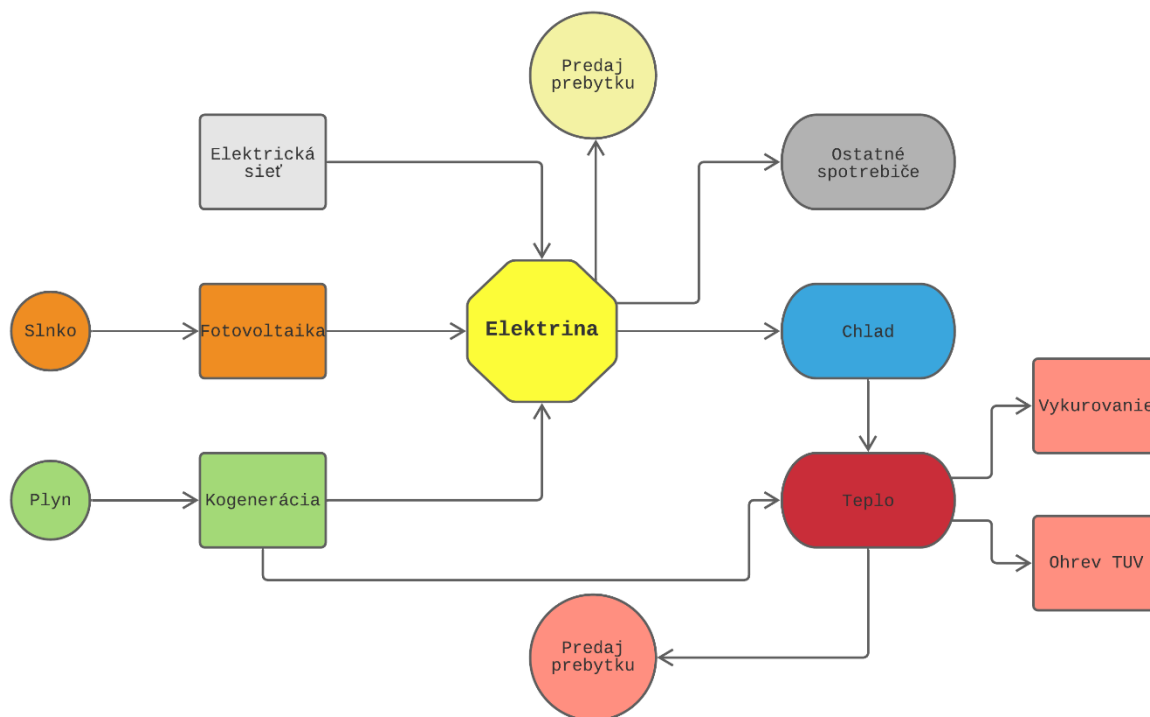
Mesiac	Celkový príkon [kW]	Celková spotreba [kWh]	Cena za elektrinu [€]
1.	477,77	90 729,56	9 072,96
2.	515,50	94 125,29	9 412,53
3.	527,79	134 324,13	13 432,41
4.	571,97	218 255,28	21 825,53
5.	600,85	239 053,16	23 905,32
6.	663,98	284 504,65	28 450,46
7.	680,88	296 670,80	29 667,08
8.	686,61	300 797,58	30 079,76
9.	636,81	264 941,76	26 494,18
10.	576,66	221 632,34	22 163,23
11.	515,50	129 901,16	12 990,12
12.	511,51	93 765,64	9 376,56
Suma		2 368 701,34	236 870,13

Tabuľka 10: Celková spotreba a náklady na elektrinu na prevádzku haly počas roka

Ak by som zhrnul výsledky finančných nákladov, ročné finančné náklady na elektrickú energiu vo výške necelých 250 000 € mi prídu ako relatívne reálna hodnota. Keď uvážim situáciu, že hala by mala 50 zamestnancov s priemerným platom 800 € mesačne, na mzdy sa ročne minie zhruba 500 000 €. Sumu ročných nákladov s ohľadom na ďalšie výdavky navýším odhadom na 1 milión eur ročne. Ak uvážim predpokladanú ročnú návštevnosť 200 000 ľudí a odhadnem, že každý návštevník minie v hale v priemere 30 € za lístok, občerstvenie, prípadne požičanie a servis lyží, tak ročne do kasy pribudne 6 miliónov eur. Pri predpokladanej cene stavby 30 miliónov eur by sa takáto investícia s profitom zhruba 5 miliónov eur ročne zaplatila po šiestich rokoch prevádzky. Pri odhadovanej dobe prevádzky v rozmedzí 25 až 30 rokov by bol takýto projekt po niekoľkých rokoch veľmi ziskový. Tieto úvahy sú však samozrejme len v hypotetickej rovine, kde bolo zanedbané veľké množstvo faktorov. Záver je však taký, že lyžiarske haly rozhodne môžu byť vysoko výnosné investície, aj keď sa rovnako ako väčšina energetických projektov začnú vyplácať až po niekoľkých rokoch.

7 Spôsoby zaistenia energetických požiadaviek lyžiarskej haly

Nasledujúca kapitola bude venovaná posúdeniu možností zabezpečenia elektrickej energie pre chod lyžiarskej haly. Ako bolo stanovené v predchádzajúcich kapitolách, elektrina sa v komplexe haly bude spotrebúvať na chladenie a na chod ostatných spotrebičov. Zo systému chladenia bude zároveň vznikať teplo, ktoré sa následne použije na vykurovanie a ohrev TUV. Tieto energetické toky však musia byť doplnené o možnosti zabezpečenia potrebného množstva elektrickej energie. Návrhy sa budú odrážať od predošlých výpočtov spotreby elektriny haly počas roka a finančných nákladov na jej chod. Porovnávané budú tri situácie pokrývania potreby elektrickej energie. V prvom variante budem počítať s kúpou všetkej elektrickej energie zo siete, v druhej bude hala časť elektriny vyrábať fotovoltaickými panelmi a v tretej bude ku chodu haly prispievať kogeneračná jednotka. Schéma energetickej bilancie zobrazujúca všetky energetické toky do haly a z haly je na obrázku 26.



Obrázok 26: Schéma energetickej bilancie lyžiarskej haly

7.1 Elektrina zo siete

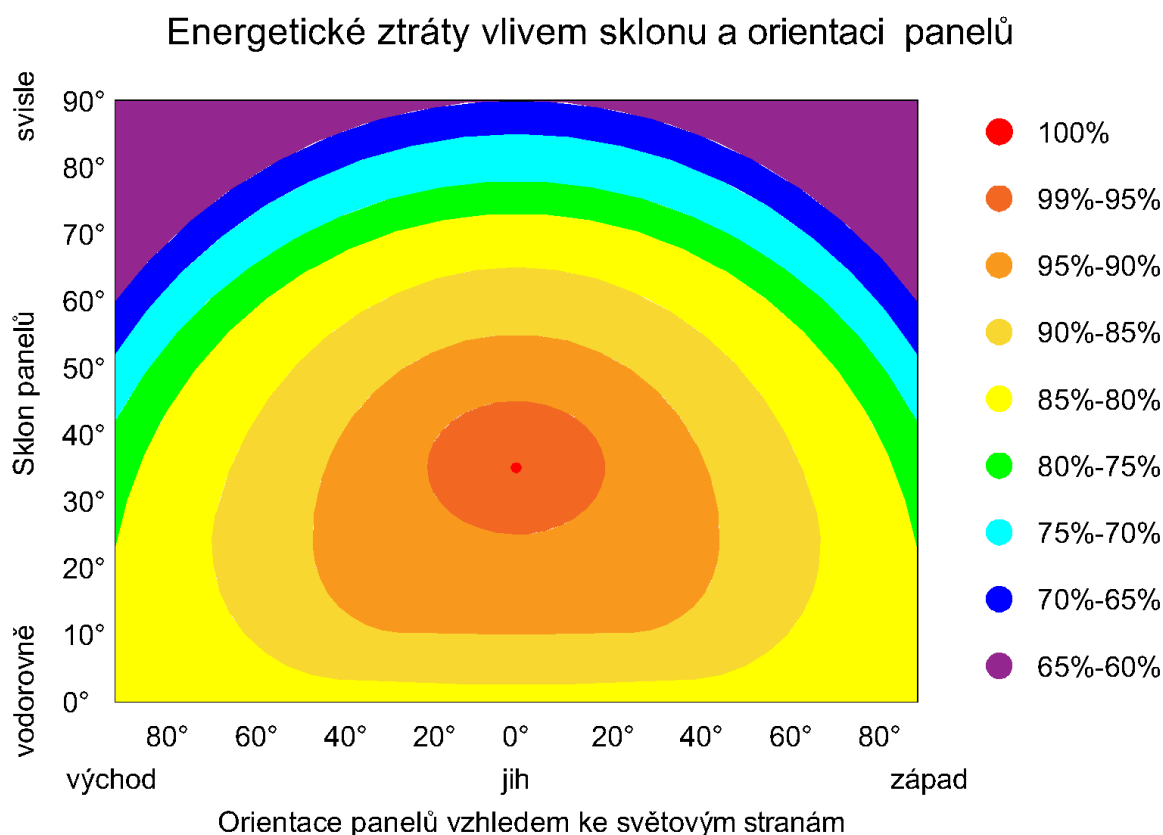
V prípade, že všetka elektrina sa kupuje od poskytovateľa elektrickej energie, prevádzkové náklady haly budú prirodzene najvyššie. Tento prípad zodpovedá výsledkom z tabuľky 10, kde bola celková ročná spotreba elektrickej energie haly stanovená na takmer 2400 megawatthodín. Všetka táto energia by musela byť odoberaná zo siete, kde pri cene 0,10 eur/kWh by to stálo takmer 240 000 eur ročne. Ďalšie varianty sa budú snažiť túto sumu čo najviac znížiť.

7.2 Fotovoltaika

Druhý variant pokrytia potreby elektriny počas roka je investícia do fotovoltaických panelov. Týmto spôsobom sa bude vyrábať energia zo slnečných lúčov bez potreby obsluhy. Použitie fotovoltaiky bude veľmi výhodné aj preto, že najviac elektriny vyrobí v lete, čiže v období, kedy je aj najväčšia spotreba. Rovinná plocha strechy zabezpečí jednoduchú montáž panelov. Stanovenie vyrobenej elektriny bude závisieť od viacerých faktorov. Prvým z nich je tepelný tok od slnka, ktorý prejde atmosférou na povrch zeme. Závisí na dobe slnečného svitu, na znečistení atmosféry, na nadmorskej výške a na sklone a azimute plochy, na ktorú slnečné lúče dopadajú. Na plochu 1 m² dopadne v našich zemepisných šírkach maximálny tepelný tok 1 kW, čo zodpovedá situácií maximálnej výšky slnka nad obzorom, azimutu natočenia priamo na juh (0°) a pri úplne jasnej oblohe. Orientačne sa uvažuje, že na 1 m² dopadne každý rok zhruba 1 MWh tepelnej energie.

Pri problematike určenia množstva dopadajúceho slnečného žiarenia na zemský povrch rozlišujeme viaceré veličiny. Okrem slnečnej konštanty vyjadrujúcej množstvo dopadajúceho žiarenia na vrchné časti atmosféry rozlišujeme priame

žiarenie DNI, difúzne žiarenie DHI a celkové (horizontálne) žiarenie GHI. Celkové horizontálne žiarenie vyjadruje žiarenie dopadajúce na horizontálnu plochu na povrchu zeme a je dané súčtom difúzneho a priameho, kde sa do úvahy berie aj poloha slnka. V praxi je však dôležitejšia hodnota celkového žiarenia dopadajúceho na naklonenú plochu GTI (tilted). Táto hodnota bude spravidla vyššia, pretože zmena sklonu je výhodnejšia z hľadiska zachyteného množstva energie. Optimálny sklon závisí od polohy slnka, čiže sa líši od miesta na zemi a od ročného obdobia. V našich zemepisných šírkach sa za optimálny sklon považuje celoročne 30° až 45°, mnoho výrobcov však uvádza minimálne rozdiely pri použití o niečo vyššieho alebo nižšieho sklonu. Tento vplyv je zrejmý z obrázku 27.

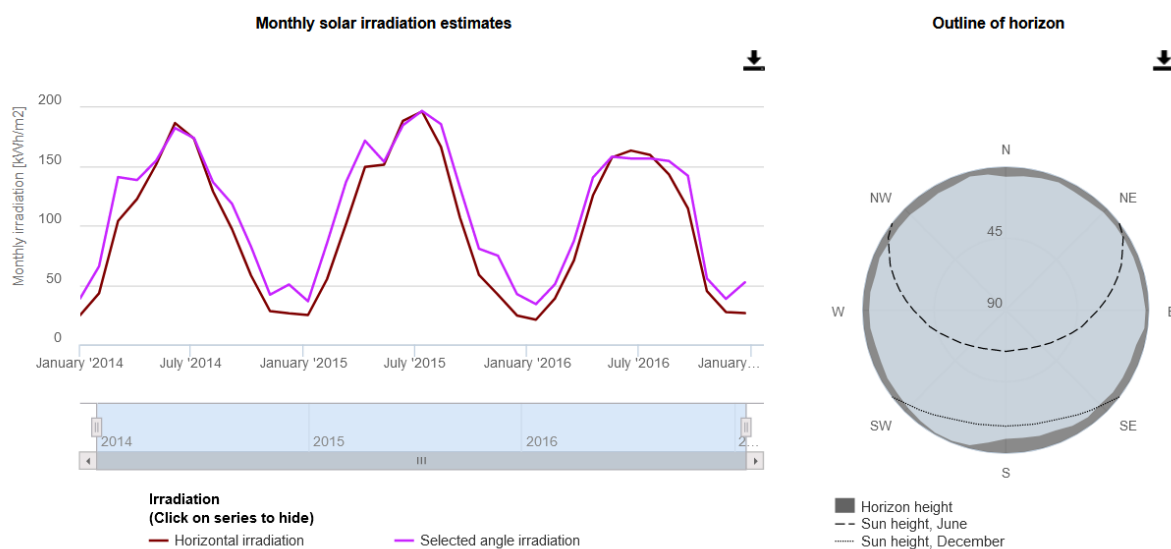


Obrázok 27: Vplyv sklonu a orientácie solárnych panelov na straty [68]

Výpočet efektivity inštalácie fotovoltaiky bude spočívať z viacerých krokov. V prvom rade bude mať použitý typ panelu rozmery 1740 mm na šírku a 1030 mm na výšku, podľa čoho bude jeden panel pokrývať plochu 1,8 m². To bude znamenať, že pri celkovej ploche strechy 22 700 m² sa pri pokrytí plochy strechy na zhruba 80 % zmestí a strechu 10 tisíc takýchto panelov. Jeden panel má výrobcom udávaný maximálny výkon 350 Wp, čo dáva dokopy 3500 kWp inštalovaného výkonu. [69] Strecha haly bude mať sklon 14°, panely budú ešte vyvýšené na dosiahnutie celkového optimálneho sklonu 35°. Natočenie panelov bude samozrejme závisieť od orientácie haly, v realite bude obmedzené možnosťami na konkrétnom svahu. V mojom výpočte budem vychádzať z návrhu stavby, kde som pre jednoduchosť stanovil orientáciu priamo na juh. Výrobcom uvádzaná maximálna účinnosť 19,5 % pri

monokryštalickom paneli je dosť vysoká. V priebehu životnosti však solárne panely strácajú možný výkon, preto budem vo výpočtoch používať konzervatívnejšiu hodnotu účinnosti 15 %. Odhadovaná doba životnosti takýchto panelov je 25 až 30 rokov. Výrobca garantuje maximálne 15 percentný pokles nominálneho výkonu po 25 rokoch používania. [69]

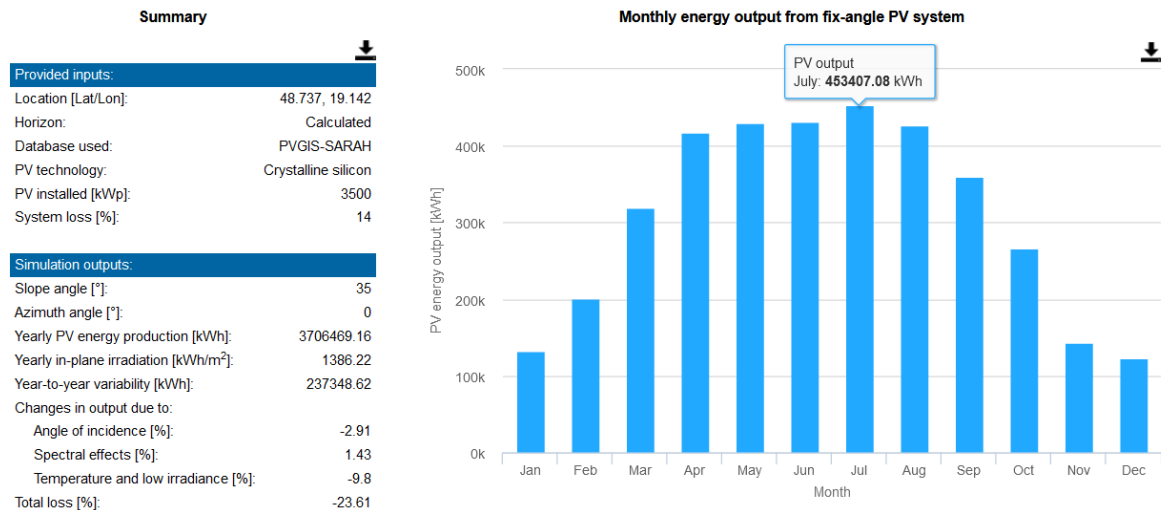
Na určenie vyrobenej elektrickej energie počas roka použijem dva postupy, ktoré následne porovnam kvôli kontrole správnosti hodnôt. Pri oboch budem používať údaje z nástroja PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) dostupného na stránkach Európskej komisie. [70] Pri prvom postupe svoj výpočet založím na odhade priemeru množstva energie dopadajúcej na 1 m² panelu počas každého mesiaca v kWh/m², ktorú následne vynásobím účinnosťou panela a celkovou plochou panelov. Je nutné tu však zobrať do úvahy fakt, že aj keď sa výška slnka nad obzorom a doba slnečného svitu z roka na rok nemenia, hodnoty priemeru dopadajúceho slnečného žiarenia sa medzi rokmi značne líšia. Spôsobené je to hlavne premenlivým pomerom jasných a zamračených dní. S cieľom dosiahnuť čo najpresnejšie výsledky som preto mesačné hodnoty slnečného žiarenia dopadajúceho na naklonenú plochu GTI vypočítal ako priemery troch rokov. Všetky hodnoty vo výpočtoch boli stanovené pre uhol sklonu 35°, kde hodnoty pre tento uhol sa takmer zhodovali s hodnotami pre optimálny sklon panelov. V grafe na obrázku 28 je možné porovnať tieto hodnoty s celkovým horizontálnym žiarením GHI. Na pravej strane je ďalej zobrazená výška obzoru pre moju konkrétnu oblasť a zdanlivá dráha slnka po oblohe spolu s jeho výškou nad obzorom.



Obrázok 28: Priebeh zmeny dopadajúceho slnečného žiarenia v priebehu troch rokov [70]

Druhý postup stanovenia celkovej ročnej výroby elektriny bude vychádzať z inštalovaného výkonu. Znova bude použitá rovnaká geografická poloha, rovnaký azimut a aj sklon panelov. Na základe určeného celkového výkonu, lokality a sklonu panelov bola podľa nástroja PVGIS na simuláciu vyrobenej energie z dopadajúceho žiarenia na fixný panel stanovená ročná produkcia celého systému na 3 706,47 MWh, čo je len o niečo viac, ako bolo určené výpočtom podľa množstva dopadajúceho žiarenia a podľa plochy a účinnosti fotovoltaických panelov. Tento rozdiel bude

spôsobený odchýlkami v predpokladoch rôznych parametrov, keďže obe hodnoty sa zakladajú na simulácii. Výsledky simulácie vyrobenej elektriny v priebehu mesiacov sú zrejmé z obrázku 29.



Obrázok 29: Priebeh výroby elektriny celého fotovoltaického systému počas roka [70]

V ďalších výpočtoch som použil hodnoty získané zo simulácie, teda z druhého postupu, keďže budú pravdepodobne o niečo presnejšie. Pre jednoduchosť budem uvažovať rovnakú cenu predávanej a kupovanej elektriny. Z toho dostanem pri cene elektriny 0,10 €/kWh čiastku, ktorú fotovoltaika zarobí v priebehu každého mesiaca. Od tejto hodnoty následne odčítam celkovú spotrebu elektriny v každom mesiaci vypočítanú v predchádzajúcej kapitole. Výsledkom toho bude saldo toku elektrickej energie do a zo siete. Zaujímavé je, že fotovoltaické panely v takomto rozsahu budú vo všetkých fázach roka produkovať viac elektriny, ako hala spotrebuje. Tieto hodnoty sú ale založené na predpoklade, že všetka vyrobená elektrická energia sa spotrebuje na chod haly. V praxi to však nebude také jednoduché, keďže fotovoltaika bude vyrábať energiu len počas dňa a produkcia a spotreba na sebe nebudú nijako závislé, preto bude okamžité saldo značne kolísať. Tieto výkyvy by sa dali vyriešiť inštaláciou akumuláčnych batérií, ktoré by sa nabíjali pri vyššej produkcii a vybíjali pri vyššej spotrebe, napríklad pri nočnom zasnežovaní. Ďalšou možnosťou by bolo s poskytovateľom elektriny uzavrieť dohodu o takzvanej virtuálnej baterke, kde by v čase prebytku energia tiekla do siete a v čase potreby by sa toto množstvo vracalo. V nasledujúcej tabuľke 11 je vidieť množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia na panely, porovnanie vypočítanej a nasimulovanej hodnoty výroby elektriny v každom mesiaci a ďalej aj cena vyrobenej energie a výsledné saldo vyjadrujúce rozdiel výroby a vlastnej spotreby.

Mesiac	GTI [kWh/m ²]	Vypočítaná výroba [kWh]	Simulovaná výroba [kWh]	Cena vyrobenej elektriny [€]	Saldo [€]
1.	36,36	98 163	132 803,98	13 280	4 207,44
2.	67,24	181 557	201 412,38	20 141	10 728,71
3.	121,53	328 122	318 709,59	31 871	18 438,55
4.	150,06	405 162	418 116,52	41 812	19 986,12
5.	155,42	419 643	430 335,97	43 034	19 128,28
6.	174,35	470 736	432 179,72	43 218	14 767,51
7.	175,52	473 904	453 407,08	45 341	15 673,63
8.	158,74	428 589	427 083,06	42 708	12 628,55
9.	130,78	353 097	359 423,36	35 942	9 448,16
10.	72,84	196 659	265 998,46	26 600	4 436,61
11.	51,65	139 455	143 986,32	14 399	1 408,52
12.	48,41	130 698	123 012,72	12 301	2 924,71
Suma	1 342,88	3 625 785	3 706 469,16	370 646,92	133 776,78

Tabuľka 11: Potenciálna výroba fotovoltaiky

Z výsledkov v tabuľke 11 je zrejmé, že pri tak rozsiahlej inštalácii fotovoltaiky si hala sama vytvorí dostatok elektriny na svoju prevádzku. Treba však zobrať do úvahy prvotnú investíciu do takého množstva panelov. Ak jeden panel stojí 180 €, za 10 000 panelov by investor musel zaplatiť 1,8 milióna eur. Ak budem uvažovať rovnaké zárobky v každom roku, pri ročnom zárobku na elektrine okolo 370 tisíc eur by sa táto investícia zaplatila približne po piatich rokoch prevádzky. Vzniknuté teoretické výsledky sú však značne optimistické a realita by sa mohla pohybovať výrazne nižšie. Ďalšou vecou, ktorú by bolo nutné brať do úvahy je váha samotných panelov, keďže jeden panel má 20 kg, čo bude dokopy 200 ton váhy rozmiestnenej rovnomerne po streche haly. Tento fakt by musel byť ošetrený pri statickom návrhu haly, kde nosná oceľová konštrukcia by musela byť výrazne posilnená, čo by tiež zvýšilo náklady na stavbu. Prípadne by muselo dôjsť k redukcii počtu inštalovaných panelov.

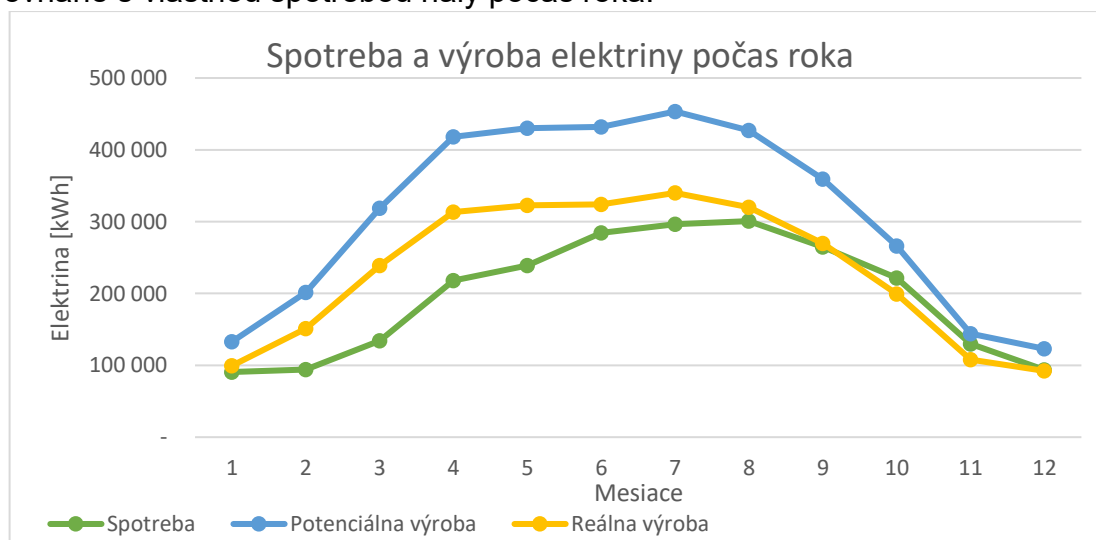
Ďalším problémom pri reálnej inštalácii bude tienenie panelov. Obzvlášť pri nižšej polohe Slnka na oblohe by sa panely navzájom zatieňovali, čo by značne obmedzovalo ich funkčnosť. Nemalo by totiž význam inštalovať panely, ktoré by boli hlavne v zime z väčšej časti skryté v tieni predchádzajúceho radu. Rozostupy medzi panelmi by preto museli byť väčšie a tým by sa ich celkový počet výrazne zredukoval. Po orientačnom geometrickom výpočte na základe uhla slnka nad obzorom v decembri, sklonu strechy a sklonu panela som stanovil, akú plochu bude zaberáť tieň jedného panela. Z tejto hodnoty sa bude odvíjať reálne množstvo inštalovaných panelov. Z výpočtu vyplýva, že na zabezpečenie dostatočných rozostupov a eliminovanie tienenia bude plocha strechy pokrytá panelmi len z 60 %. Tým by počet panelov klesol na 7500 kusov, čo bude zodpovedať celkovému inštalovanému výkonu 2625 kWp. Pre tento výkon bude rovnako ako v predchádzajúcom prípade podľa nástroja PVGIS stanovený odhad výroby elektriny v priebehu roka. Výsledky budú viac zodpovedať realite a spolu s výslednou bilanciou spotreby a produkcie elektriny sú porovnané v tabuľke 12.

Mesiac	Reálna výroba [kWh]	Reálna cena vyrobenej elektriny [€]	Reálne saldo [€]
1.	99 602,99	9 960,30	887,34
2.	151 059,28	15 105,93	5 693,40
3.	239 032,19	23 903,22	10 470,81
4.	313 587,39	31 358,74	9 533,21
5.	322 751,98	32 275,20	8 369,88
6.	324 134,79	32 413,48	3 963,01
7.	340 055,31	3 4005,53	4 338,45
8.	320 312,3	32 031,23	1 951,47
9.	269 567,52	26 956,75	462,58
10.	199 498,85	19 949,89	- 2 213,35
11.	107 989,74	10 798,97	- 2 191,14
12.	92 259,53	9 225,95	- 150,61
Suma	2 779 851,87	277 985,19	41 115,05

Tabuľka 12: Reálna výroba fotovoltaiky

Z výsledkov vyplýva, že ak sa do úvahy vezme tienenie panelov a zníži sa ich počet, v niektorých mesiacoch to spôsobí nedostatočnú produkciu elektriny. Vzniknuté nedostatky na jeseň a v zime by sa museli vyrovnávať nákupom elektriny zo siete, prípadne v ďalšej kapitole spomenutou záložnou kogeneračnou jednotkou. Napriek výrazne nižšej produkcii ako v predchádzajúcom prípade by množstvo vyrobenej elektriny vo väčšej časti roka stále postačovalo na pokrytie vlastnej spotreby. Reálna ročná bilancia výroby a spotreby elektriny sa síce drasticky zníži, fotovoltaika však stále zostane v pluse. Pri takomto počte panelov by investícia predstavovala 1,35 milióna eur, čo by sa pri predpoklade stabilnej produkcie vrátilo rovnako ako predchádzajúca možnosť v priebehu piatich rokov. Z toho vyplýva, že investícia do väčšieho počtu panelov by ani pri neuvažovaní tienenia nemala opodstatnenie a hala si vystačí so 60 percentným pokrytím strechy.

Na záver sú v grafe 1 porovnané priebehy výroby elektriny v priebehu roka pre potencionálny a aj reálny prípad pokrytia strechy solárnymi panelmi a oba prípady sú porovnané s vlastnou spotrebou haly počas roka.



Graf 1: spotreba a výroba elektriny počas roka

7.3 Kogeneračná jednotka

Tretou možnosťou pokrytia spotreby elektriny v hale je použitie kogeneračnej jednotky, ktorej funkcia spočíva z výroby elektriny a tepla spaľovaním zemného plynu. Z predchádzajúcich výpočtov je zrejmé, že potreba elektriny v priebehu roka bude neporovnateľne vyššia ako potreba tepla. Kogeneračné jednotky majú väčšinou pomer výkonu opačný, to znamená, že vyprodukujú viacej tepla ako elektriny, čo je v prípade môjho návrhu nevýhodné. Ďalším problémom bude, že samotný chladiaci cyklus bude počas prevádzky produkovať veľké množstvo odpadného tepla, ktorého 100 percentné spätné využitie bude náročné zaistiť. Kogeneračná jednotka by k tomu produkovala ďalšie teplo navyše, ktoré by veľmi pravdepodobne nemalo priame využitie v komplexe haly. Použitie kogeneračnej jednotky by malo väčší význam, ak by bol zaistený stály odber veľkého množstva tepla napríklad do blízkej priemyselnej výroby, prípadne na ohrev TUV v okolitých domácnostiach.

Uvažovať o investícii do kogeneračnej jednotky sa však vyplatí pri zaistovaní záložného zdroja. V prípade dlhodobého výpadku elektriny by totiž mohla nastať situácia, že by výpadkom chladiaceho obehu došlo k veľkým energetickým stratám a aj ku roztopeniu snehu. V takomto prípade by bola odstavená aj záloha na kúrenie v podobe elektrického kotla, tým pádom by sa v priestoroch ani nekúrilo a ani nehriala voda. Kogeneračná jednotka by vyriešila oba tieto problémy, navyše s rýchlym nábehom na maximálny výkon. V situácii, že by nešla ani elektrina ani plyn by už asi nebola cesta si nejako pomôcť, takáto možnosť je však dosť nepravdepodobná. Nezávislosť na prívode elektriny je však za cenu zabezpečenia prívodu zemného plynu. Prvým problémom by mohlo byť, že nie všetky lokality disponujú takouto možnosťou. Druhý problém bude odkázanosť na neprerušovaný tok paliva, tretím by bola efektívnosť prevádzky závislá na momentálnych cenách paliva. Ďalším negatívom by bola produkcia emisií zo spaľovania, ktorá bude napríklad pri fotovoltaike samozrejme nulová.

Výkon jednotky budem voliť na základe vypočítanej hodnoty maximálneho potrebného elektrického príkonu pre kompresor z tabuľky 6 zvýšenej o príkon stabilných spotrebičov z tabuľky 8. Ak si odrátam výkon potrebný na podchladzovanie pred snežením, pri maximálne teplých letných dňoch budem potrebovať zhruba 800 kW elektrického príkonu. Podľa priemerných teplôt by však táto potreba klesla v najteplejšom mesiaci na 686 kW, z toho len na chladenie bude potrebných zhruba 300 kW. Pri redukovaní vnútorných zdrojov tepla by bolo možné tieto hodnoty krátkodobo znížiť. Pri výbere konkrétneho zariadenia by teda bolo možné uplatniť dva postupy. Jednou možnosťou je namontovať jednotku, ktorá by pracovala čisto ako záloha a zabezpečovala by aspoň chladenie na udržanie snehu a zároveň by produkovala využiteľné množstvo tepla. Z ponuky firmy Engul by tejto požiadavke vyhovovalo zariadenie o výkone 210 kW_{el} a 266 kW_{th}, čo by pokrývalo potrebu tepla v zime a zároveň by okrem letných mesiacov stačilo na poháňanie kompresoru chladenia. [71] Keďže by v tomto prípade išlo len o záložný zdroj, spotrebu plynu a finančné náklady by bolo náročné stanoviť kvôli nepredvídateľnej dobe prevádzky. Tento lacnejší variant by sa mohol javiť ako prijateľnejší v kombinácii s fotovoltaikou, rovnako by mohol nahradiť záložný elektrický kotol na vykurovanie počas zimy.

Druhou možnosťou by bola investícia do vysokovýkonnej jednotky na pokrytie všetkých nákladov na potrebu elektriny aj počas leta. Napríklad z rovnakého katalógu

ponuky firmy Engul by vyhovovala kogeneračná jednotka s parametrami elektrického výkonu $800 \text{ kW}_{\text{el}}$ a tepelného výkonu $873 \text{ kW}_{\text{th}}$. [71] To by bolo z hľadiska potreby elektriny dostačujúce pre celoročný chod haly aj v letných extrémoch pri vonkajšej teplote $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Kogeneračná jednotka by teda v takomto prípade fungovala ako hlavný zdroj energie. Na druhú stranu je však nutné brať do úvahy aj vzniknuté teplo, kde týchto 873 kW by sa aj pri odmyslení kondenzačného tepla v rámci haly pri bežnej prevádzke nespotrebovalo nikdy. Prevádzkový elektrický výkon by teda bol výrazne obmedzovaný využitelným tepelným výkonom. Takáto realizácia by si preto pre svoju efektivitu žiadala buď zabezpečenie vysokého odberu tepla mimo haly alebo použitie absorbčného obehu, inak by sa pre zbytočne veľké množstvo odpadného tepla prevádzka neoplatila.

Teoreticky veľmi výhodnou možnosťou sa môže javiť trigenerácia, to znamená cez spomenutý absorbčný obeh efektívne využiť prebytočné teplo vyprodukované kogeneračnou jednotkou na výrobu chladu. V takomto prípade bude spaľovaním zemného plynu vyrábaná elektrina, teplo a nepriamo aj chlad. Takéto riešenie by nahrádzalo skrutkový kompresor sústavou absorbéru, čerpadla a desorbéru. Funkciu chladiva by naďalej plnil čpavok a funkciu absorbéru by plnila voda. Tá bude v kvapalnej fáze za vzniku tepla absorbovať pary čpavku prichádzajúceho z výparníku. Zmes sa následne preženie čerpadlom, ktoré zvýši tlak oveľa efektívnejšie ako kompresor, pretože bude pracovať s kvapalným roztokom na rozdiel od plynného chladiva. Prebytočné teplo z kogeneračnej jednotky bude mať potom funkciu desorbčného tepla, ktoré zabezpečí oddelenie chladiva a absorbentu. Zvyšné komponenty, čiže kondenzátor, škrtiaci ventil a výparník, by pracovali rovnako ako pri kompresorovom obeh. Hlavným problémom takéhoto usporiadania však bude výparná teplota. Keďže zariadenie bude pracovať s vodou, takáto sústava bude limitovaná bodom mrazu. Väčšina absorbčných obehov nájde hlavné uplatnenie v aplikáciách, kde nie je nutné dosahovať záporné teploty vo výparníku. S kombináciou čpavok voda je možné dosiahnuť výparnej teploty okolo $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. [72] To je však bohužiaľ pre potreby chladenia vzduchu na $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ málo, samozrejme by nebolo možné ani podchladzovanie haly na vnútornú teplotu $-12 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Dostatočne nízke výparné teploty by nedokázali byť zabezpečené ani inou v praxi používanou dvojicou chladiva a absorbentu. Toto bol hlavný dôvod, prečo som s chladiacim okruhom za použitia absorbčného obehu neuvažoval a z hľadiska funkčnosti a spoľahlivosti som radšej zvolil obyčajný kompresorový obeh.

Spotreba kogeneračnej jednotky sa bude odvíjať od jej okamžitého výkonu, nominálna spotreba je daná výrobcom. Pre jednoduchosť nasledujúcich výpočtov budem uvažovať, že sa nespotrebované teplo vyprodukované kogeneračnou jednotkou odvedie mimo haly, kde bude rovnako ako v prípade kondenzačného tepla z chladiaceho obehu zabezpečené jeho externé využitie. Pri prevádzke na maximálny elektrický výkon 800 kW a maximálny tepelný výkon 873 kW stanovuje výrobca spotrebu zemného plynu $187 \text{ m}^3/\text{h}$ pri celkovej účinnosti $90,7 \%$. Na základe potrebného elektrického príkonu v priebehu roka, ktorý bude predstavovať elektrický výkon kogeneračnej jednotky, určím mesačnú spotrebu plynu. Zároveň z dodaného príkonu v plyne pri zachovaní elektrickej a termickej účinnosti zariadenia vypočítam sprievodný tepelný výkon. Z týchto údajov potom dostanem spotrebu plynu v každom mesiaci a cenu takéhoto objemu. Výhrevnosť plynu bola stanovená na $35,5 \text{ MJ}/\text{m}^3$.

Keďže cena plynu sa stanovuje v jednotkách €/kWh, prepočítam dodaný príkon v plyne na kWh a prenasobím ho cenou za kWh. Podľa cenníka SPP je cena plynu pre domácnosti s najvyšším odberom 0,0386 €/kWh. [73] Keďže v mojom prípade sa bude jednať o veľkoodoberateľa a tarif pre takúto spotrebu nebýva verejný, po konzultácii znížim cenu plynu na 60 % z tejto hodnoty, čo bude predstavovať 0,0232 €/kWh. Výsledky výpočtu mesačnej spotreby zemného plynu a následných nákladov na palivo sú zrejmé z tabuľky 13.

Mesiac	Elektrický výkon [kW]	Príkon v plyne [kW]	Mesačná spotreba [m ³]	Energia dodaná v plyne [kWh]	Cena plynu [€]
1.	477,77	1 100,86	80 378,22	792 618,57	18 388,75
2.	515,50	1 187,80	86 725,80	855 212,73	19 840,94
3.	527,79	1 216,10	88 792,74	875 595,06	20 313,81
4.	571,97	1 317,89	96 224,77	948 883,14	22 014,09
5.	600,85	1 384,45	101 084,40	996 804,51	23 125,86
6.	663,98	1 529,90	111 704,60	1 101 531,45	25 555,53
7.	680,88	1 568,84	114 547,34	1 129 564,05	26 205,89
8.	686,61	1 582,05	115 511,61	1 139 072,78	26 426,49
9.	636,81	1 467,30	107 133,53	1 056 455,66	24 509,77
10.	576,66	1 328,70	97 013,85	956 664,38	22 194,61
11.	515,50	1 187,80	86 725,80	855 212,73	19 840,94
12.	511,51	1 178,59	86 053,50	848 583,14	19 687,13
Suma			1 171 896,15	11 556 198,19	268 103,80

Tabuľka 13: Spotreba zemného plynu počas roka

V ďalšej tabuľke 14 bude zhodnotené množstvo tepla vzniknuté pri chode kogeneračnej jednotky. Tepelný výkon kogeneračnej jednotky bude znížený o výkon potrebný na vlastnú spotrebu haly z tabuľky 7 a bude predstavovať tepelný výkon prebytočného tepla. Ďalej sa bude predpokladať 100 percentný predaj všetkého prebytočného tepla. Cena tepla na základe informácií z Úradu pre reguláciu sieťových odvetví o celkovej cene tepla zahrňujúca variabilnú a fixnú časť je stanovená na 0,0756 €/kWh. [74] Po konzultácii bolo určené, že reálna cena tepla bude kvôli jeho neustálemu prebytku a tým pádom nutnosti ho predávať za akýchkoľvek okolností oveľa nižšia. Stanovil som, že cena predávanej tepelnej energie bude 1 kč/kWh, čo pri aktuálnom kurze predstavuje 0,0393 €/kWh. Z toho som určil sumu, ktorú bude možné každý mesiac zarobiť predajom nepotrebného tepla. Následne som zisk z predaného prebytočného tepla porovnal s nákladmi na nákup zemného plynu. Výsledkom je ekonomická bilancia ročnej prevádzky kogeneračnej jednotky na vykrytie spotreby elektriny lyžiarskej haly a potreby tepla v príľahlej infraštruktúre.

Mesiac	Tepelný výkon [kW]	Množstvo tepla [kWh]	Cena predaného tepla [€]	Bilancia kogenerácie [€]
1.	250,71	180 508,59	7 093,99	-11 294,76
2.	291,83	210 115,62	8 257,54	-11 583,39
3.	305,22	219 756,46	8 636,43	-11 677,38
4.	453,36	326 421,73	12 828,37	-9 185,72
5.	584,85	421 088,54	16 548,78	-6 577,09
6.	653,64	470 624,37	18 495,54	-7 059,99
7.	672,06	483 883,80	19 016,63	-7 189,25
8.	678,31	488 381,42	19 193,39	-7 233,10
9.	524,03	377 303,53	14 828,03	-9 681,74
10.	358,48	258 102,25	10 143,42	-12 051,20
11.	291,83	210 115,62	8 257,54	-11 583,39
12.	287,47	206 979,82	8 134,31	-11 552,82
Suma			151 433,97	-116 669,83

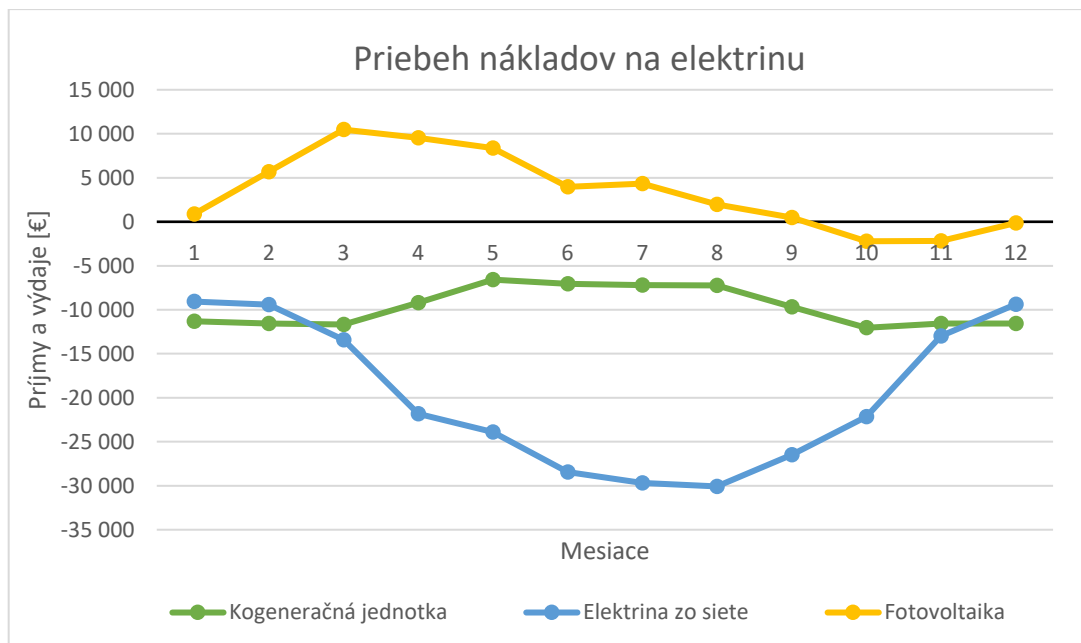
Tabuľka 14: Predaj tepla zo spaľovania plynu počas roka

Výsledné ročné zhodnotenie kogeneračnej jednotky vychádza negatívne aj za predpokladu úplného pokrytia vlastnej spotreby tepla. Ročná bilancia prevádzky vychádza so stratou takmer 120 tisíc eur, čo je výrazne horšie ako bilancia fotovoltaiiky, ale vykazuje ušetrenie približne 120 tisíc eur ročne oproti nákupu elektriny priamo zo siete. Tento odhad je veľmi optimistický vzhľadom na to, že nebola braná do úvahy cena zariadenia a ani cena rozvodových potrubí prebytkového tepla. Tak isto predpoklad predaja všetkého nevyužitého tepla je značne optimistický. Podľa môjho názoru by sa takéto riešenie vyplatilo len v prípade, že by bola v okolí haly potreba ďalšieho chladu, kde by však neboli nutné záporné teploty. Tým pádom sa nevyužité teplo môže pustiť cez absorbočný obeh a vychladiť ďalšie prostredie, najlepšou kombináciou by mohla byť veľkoplošná klimatizácia budov. Z tohto dôvodu sa mnohé lyžiarske haly, obzvlášť v teplých oblastiach, kombinujú s obrovskými nákupnými centrami a hotelmi, kde je stála potreba ďalšieho chladu.

7.4 Zhodnotenie výsledkov

Výsledky z výpočtov naznačujú, že prevádzka lyžiarskej haly bude každoročne spotrebávať veľké množstvo energie, zároveň však existujú možnosti, ako túto energiu efektívne pokryť. V oblasti, kde sú stabilne nízke ceny elektriny by z dlhodobého hľadiska nebol problém spoľahnúť sa na nákup elektriny zo siete. V lokalitách s dostatočným množstvom dopadajúcich slnečných lúčov by sa zasa ako veľmi výhodná alternatíva javila inštalácia fotovoltaiických panelov. V takomto prípade by hala dokonca na elektrine zarábala a investícia do fotovoltaiiky by sa v rozmedzí niekoľkých rokov vrátila. Ďalším veľkým pozitívom by bola ekologická stránka, keďže by hala počas prevádzky produkovala nulové emisie. Horšie už vyšiel model s použitím kogeneračnej jednotky na spaľovanie zemného plynu, hlavne kvôli nedostatočnej vlastnej spotrebe vyprodukovaného tepla. Aj v situácii zaisteného veľkého externého odberu tepla by takéto možnosť vychádzala v celkovej bilancii ziskov a nákladov ako stratová. Straty by však boli menšie ako pri kúpe všetkej

elektriny zo siete, preto by v oblasti s vybudovanými rozvodmi plynu a tepla prichádzala do úvahy. Najväčšie opodstatnenie by kogeneračná jednotka mala v kombinácii s absorbčným obehom, kde by sa dodávaním prebytočného tepla zo spaľovania vyrábala chlad. Ako bolo spomenuté, obmedzujúcim faktorom v takomto použití je výparná teplota v absorbčnom obehu, ktorá je vyššia ako v kompresorovom obehu. Preto by kogeneračná jednotka s absorbčným obehom bola ideálnou kombináciou pri veľkoplšnej klimatizácii napríklad hotelov alebo nákupných centier. Z nasledujúceho grafu 2 je zrejmé porovnanie všetkých troch spôsobov pokrytia potrieb elektriny počas roka z ekonomického hľadiska, kde sú pre každý mesiac určené náklady na produkciu elektriny, v prípade fotovoltaiky aj príjmy z jej predaja.



Graf 2: Porovnanie spôsobov pokrytia elektriny v priebehu roka

Záver

Diplomová práca mala tieto hlavné ciele: urobiť rešerš problematiky lyžiarskych hál z hľadiska energetiky, navrhnúť lyžiarsku halu s konkrétnymi parametrami, stanoviť všetky súvisiace energetické toky, vypočítať potrebu chladu na prevádzku a s tým spojenú spotrebu elektrickej energie a v závere navrhnúť a bilančne zhodnotiť pokrytie energetických nárokov lyžiarskej haly.

V časti vlastného návrhu práce bolo cieľom stanoviť energetické požiadavky na prevádzku lyžiarskej haly a navrhnúť spôsoby ich pokrytia. Výsledkom zo stanovenia energetických tokov vyplynulo, že straty cez obálku nebudú tvoriť hlavný zdroj vnikania tepla do haly. Väčší tepelný tok bude cez ventiláciu a ešte viac chladiaceho výkonu bude potrebné na podchladenie celého objemu vzduchu pred zasnežovaním. Z toho dôvodu nebolo nutné použiť neštandardne hrubé vrstvy izolácie a vonkajšia obálka haly mohla byť navrhnutá relatívne jednoducho.

Z hľadiska chladenia nebolo nutné obeh komplikovať a dobre navrhnutý kompresorový cyklus s použitím čpavku by spĺňal všetky potrebné vlastnosti. Z hľadiska pokrytia spotreby elektriny by v našich podmienkach bolo najlepším variantom použitie fotovoltaiky, ktorá by dokázala vyrobiť veľké množstvo elektrickej energie a úplne pokryť spotrebu haly počas celého roka. Nevyužitá elektrina by sa následne predávala do siete alebo akumulovala, čo by zvyšovalo príjmy haly a znižovalo dobu návratnosti celého projektu.

Výsledný variant pokrytia energie by podľa môjho názoru závisel od konkrétneho projektu. V oblasti, kde je elektrina lacná by nebolo nutné stavbu komplikovať a nákup elektriny by sa javil ako výhodná možnosť. V oblasti, kde nie je dostatok slnečných lúčov by zasa nedávala zmysel fotovoltaika. Pri rozsiahlom chladení ďalších priestorov by zasa dával zmysel absorbčný obeh. Ak sa akákoľvek možnosť navrhne správne, v konečnom dôsledku môže byť vysoko výnosná.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] Vlhký vzduch-stavové veličiny. *tzb.fsv.cvut.cz* [online]. [cit. 2020-10-23]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/14/vlhky-vzduch.pdf>
- [2] Teorie vlhkého vzduchu. *vetrani.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2020-10-23]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>
- [3] Výroba technického snehu ako základ zimných športov. *technoalpin.com* [online]. [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <https://www.technoalpin.com/sk/vyroba-snehu.html>
- [4] Snežné delá na veľkoplošné zasnežovanie. *technoalpin.com* [online]. [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <https://www.technoalpin.com/sk/vyroba-snehu/turbinove-snezne-dela.html>
- [5] How Snow Makers Work. *howstuffworks.com* [online]. [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <https://adventure.howstuffworks.com/outdoor-activities/snow-sports/snow-maker2.htm>
- [6] Super PoleCat. *snowmakers.com* [online]. [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: <https://www.snowmakers.com/super-polecat-snowmaker.html>
- [7] Tyčové snežné delá na cielené technické zasnežovanie. *technoalpin.com* [online]. [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: <https://www.technoalpin.com/sk/vyroba-snehu/stoziarove-snezne-dela.html>
- [8] Indoor Experience by TechnoAlpin. *technoalpin.com* [online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://www.technoalpin.com/en/news/indoor-experience-by-technoalpin.html>
- [9] S6: Snow for Indoor Skiing and Winter Sports. *technoalpin.com* [online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://indoor.technoalpin.com/en/products/s6.html>
- [10] An Indoor Ski Resort of Superlatives. *cp.de* [online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://www.cp.de/en/solutions/clients/client-projects/ski-dubai>
- [11] PETRÁK, Miroslav. *Chladicí technika a tepelná čerpadla pro inteligentní budovy*. Vyd. 1. Praha: CVUT Praha, 2012. ISBN 978-80-010-5341-6.
- [12] An Ideal Vapor-Compression Refrigeration Cycle. *chegg.com* [online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/2-ideal-vapor-compression-refrigeration-cycle-rankine-cycle-operated-backwards-uses-refrig-q28803176>

- [13] What is Indoor Skiing?. *snowsunsee.com* [online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://snowsunsee.com/indoor-skiing/>
- [14] *HAVELSKÝ, Václav. a spol. Chladivá – Ekologické a technické požiadavky na zber a náhrady chladív. Učebné texty SZ CHKT, Rovinka, 2000. ISBN 978-80-968-0580-8*
- [15] Refrigerants and energy efficiency. *danfoss.com* [online]. [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/cooling/refrigerants-and-energy-efficiency/refrigerants-for-lowering-the-gwp/carbon-dioxide-co2/>
- [16] Ammonia Refrigeration eTool. *osha.gov* [online]. [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: https://www.osha.gov/SLTC/etools/ammonia_refrigeration/ammonia/
- [17] Ammonia As a Refrigerant: Pros and Cons. *goodway.com* [online]. [cit. 2021-01-04] Dostupné z: <https://www.goodway.com/hvac-blog/2009/08/ammonia-as-a-refrigerant-pros-and-cons/>
- [18] Refrigeration technology for sports and leisure facilities. *grasso-adearest.com* [online]. [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: https://grasso-adearest.com/attachments/article/26/Ap_Leisure_150dpi_USsize.indd_295791.pdf
- [20] PUR vs. PIR: Know the Difference. *kingspan.com* [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://www.kingspan.com/us/en-us/about-kingspan/kingspan-insulated-panels/blog-news/imprint-blog/pur-vs-pir>
- [21] Polyuretán - budúcnosť stavebníctva. *balex.eu* [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://balex.eu/sk/baza-znalosti/aktuality/poliuretan-przyszlosc-budownictwa>
- [22] Sendvičový panel s polyuretánom PUR/PIR. *panelshop.sk* [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <http://www.panelshop.sk/sendvicove-panely/stenove-s-viditelnym-spojom-pur-pir/>
- [23] Sendvičový panel s polyuretánom PUR/PIR. *panelshop.sk* [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <http://www.panelshop.sk/sendvicove-panely/fasadne-so-skrytym-spojom-pur-pir/>
- [24] Polystyrén nebo styrodur?. *kobotec.sk* [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://www.kobotec.sk/poradna/polystyren-nebo-styrodur--cim-zateplit-rodinny-dum/>
- [25] Izolácia z EPS polystyrénu alebo XPS polystyrénu?. *daibau.sk* [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z:

https://www.daibau.sk/clanok/44/izolacia_z_eps_polystyrenu_alebo_xps_polystyrenu

- [26] XPS Extrudovaný polystyrén. *isover.sk* [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://www.isover.sk/xps-extrudovany-polystyren>
- [27] Sivý-grafitový polystyrén a jeho výhody. *austrotherm.sk* [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://www.austrotherm.sk/aktuality/magazin/grafitovy-polystyren-a-jeho-vyhody>
- [28] Extrudovaný polystyrén s grafitom. *giasxps.ro* [online]. [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <https://www.giasxps.ro/index.php/sk/domov/132-extrudovany-polystyren-s-grafitom>
- [29] Der Schneepalast in Wien. *Austria-forum.org* [online]. [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: https://austria-forum.org/af/Heimatlexikon/Schneepalast_-_Wien
- [30] Indoor ski areas worldwide. *skiresort.info* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.skiresort.info/indoor-ski-areas/>
- [31] *SNO opens to the public*. *visitoslo.com* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.visitoslo.com/en/product/?tlp=5263373&name=SNO-apner-for-publikum>
- [32] The slopes at SNO. *snooslo.no* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://snooslo.no/slopes>
- [33] PowerCOWOL. *carrier.com* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.carrier.com/commercial-refrigeration/en/eu/products/systems/powerco2ol/>
- [34] How Carrier Keeps It CO2OL for Indoor Ski Arena SNO – Even in Summer. *carrier.com* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: https://www.carrier.com/commercial-refrigeration/en/eu/news/news-article/how_carrier_keeps_it_co2ol_for_indoor_ski_arena_sno_even_in_summer.html
- [35] Semi – hermetic compressors. *kbdelta.com* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://kbdelta.com/blog/semi-hermetic-compressors-ideal-refrigeration.html>
- [36] SNO. *visitnorway.com* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.visitnorway.com/listings/sn%C3%98/212665/>
- [37] Snow dome. *alpincenter.com* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.alpincenter.com/bottrop/en/indoor/snow-dome>

- [38] Pistenplan Alpincenter Bottrop. *bergfex.com* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.bergfex.de/alpincenter-bottrop/panorama/>
- [39] Ski Dubai. *skidxb.com* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.skidxb.com/>
- [41] Electricity prices. [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/
- [42] Snow Arena. *snowarena.lt* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.snowarena.lt/en/plan>
- [43] Certified single screw application. *ammonia21.com* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: https://ammonia21.com/files/Emerson_Press-Release_en.pdf
- [44] Druskininkų Snow arena pasiilgusiems žiemos. *welovelithuania.com* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://welovelithuania.com/druskininku-snow-arena-pasiilgusiems-ziemos/>
- [45] Lyžiarska hala na Donovaloch dostala od úradov predbežne stopku. *dennikn.sk* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://dennikn.sk/2097071/lyziarska-hala-na-donovaloch-dostala-od-uradov-predbezne-stopku/>
- [46] Lyžovačka v lete. Obec hovorí o prínose, ľudia na Donovaloch halu nechcú. *mybystrica.sme.sk* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://mybystrica.sme.sk/c/22257665/lyzovacka-aj-v-lete-proti-vystavbe-lyziarskej-haly-na-donovaloch-spustili-peticiju.html>
- [47] Donovalley Resort. *donovalley.sk* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://donovalley.sk/lyzovanie/>
- [48] Donovaly: Obec súhlasí s letnou lyžiarskou halou. *pravda.sk* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://spravy.pravda.sk/domace/clanok/553270-donovaly-obec-suhlasi-s-letnou-lyziarskou-halou/>
- [49] Resort town of Druskininkai. *skyscrapercity.com* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.skyscrapercity.com/threads/resort-town-of-druskininkai-druskininkai-miestas-kurortas.763168/page-7>
- [50] Prehľad tepelných izolácií. *asb.sk* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/zateplenie/prehľad-tepelných-izolácií>
- [51] Ski Arena Druskienniki. *youtube.com* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Niunx3xY8-Q>

- [52] Odpor při přestupu tepla. *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/314-odpor-pri-prestupu-tepla>
- [53] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu>
- [54] Produkce tepla a vodní páry od lidí. *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/61-produkce-tepla-a-vodni-pary-od-lidi>
- [55] Sedačková lanovka Karlov pod Pradědem. *lanove-drahy.cz* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://www.lanove-drahy.cz/?page=lan&lan=103>
- [56] Heat Ventilation and Recovery – HRV's. *decarbonize.solutions* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.decarbonize.solutions/heat-recovery.html>
- [57] *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vetrani-klimatizace/10199-nova-ceska-legislativa-a-normy-pro-vetrani-a-klimatizaci>
- [58] Nová česká legislativa a normy pro větrání a klimatizaci. *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/prumyslova-vzduchotechnika/13551-jak-vetrat-sportovni-a-viceucelove-haly-bez-pruvanu-a-hluku>
- [59] Hustota suchého vzduchu. *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/70-hustota-suceho-vzduchu>
- [60] *MANÍK, Ľubomír. TOMLEIN, Peter. Amoniak – Prírodné chladivo. Učebné texty SZ CHKT, Rovinka, 2017.*
- [61] Refrigerants P-H diagram. *hvac-eng.com* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://hvac-eng.com/refrigerants-p-h-diagram/>
- [62] Operatívne údaje z vybraných staníc. *shmu.sk* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: http://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=klimat_operativneudaje1&identif=11903&rok=2020&obdobie=1981-2010&sub=3
- [63] Koľko sa minie energie a peňazí na ohrev teplej vody. *quest.sk* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.quest.sk/blog/kolko-sa-minie-na-ohrev-teplej-vody/>

- [64] *Cenník združenej dodávky elektriny*. *sse.sk* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.sse.sk/buxus/docs/dokumenty/domacnosti/2021/Cennik-EE-DOM-od-1-1-2021.pdf>
- [65] Stožiarové snežné delá V3. *technoalpin.com* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.technoalpin.com/sk/vyroba-snehu/stoziarove-snezne-dela/v3.html>
- [66] LED Priemyselné osvetlenie. *silring.sk* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://silring.sk/led-priemyselne-osvetlenie/led-ufo-high-bay-1f/>
- [67] Axiálne odsávacie ventilatory. *vzduchotechnika-shop.sk* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: https://vzduchotechnika-shop.sk/axialne-odsavacie-ventilatory-vents-tt-200pro-priemer-napojenia-200mm-dvojrychlostny-vykon-830-1040m3-h-napatie-230v?gclid=Cj0KCQjws-OEBhCkARIsAPhOkIYVACzPoCd0LeHicOHeBv5ct2112ey_J66dfZg0gPs8x3o1mrmkINsaAtM5EALw_wcB
- [68] Energetické ztráty vlivem sklonu a orientaci panelu. *dzd-fv.cz* [online]. [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: http://www.dzd-fv.cz/images/nove_obrazky/zavesne_ohrivace/energeticke_ztraty-Model.png
- [69] Fotovoltaický panel Q-Cells Q.Peak DUO-G8 350W monokryštalický. *ecoprodukt.sk* [online]. [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.sk/p/82548-fotovoltaicky-panel-q-cells-q-peak-duo-g8-350w-monokrystalicky-22202#features>
- [70] Photovoltaic Geographical Information System. *re.jrc.ec.europa.eu* [online]. [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- [71] Kogeneračné jednotky. *engul.sk* [online]. [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: https://www.engul.sk/wp-content/uploads/2020/03/KGJ_zemny-plyn_MARELLI_400V_SK.pdf
- [72] ČAJA, Alexander. KAPJOR, Andrej. TUHOVČÁK, Ján. HEJČÍK, Jiří. *Chladiace obehy a tepelné čerpadlá*. Vyd. 1. Žilina: EQUILIBRIA,s.r.o., 2020. ISBN 978-80-8143-262-0
- [73] Ceny pre malé podniky. *spp.sk* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.spp.sk/sk/male-podnikanie-a-organizacie/plyn/pre-male-podnikanie-a-organizacie/dokumenty-na-stiahnutie-plyn/>
- [74] Cena tepla. *batas.sk* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.batas.sk/zakaznicka-zona/cena-tepla/>