

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ
A ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**



**Česká
zemědělská
univerzita
v Praze**

**Analýza umělého zasněžování ve Skiareálu
Klínovec**

Snowmaking analysis in Klínovec ski resort

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Roman Juras, Ph.D.

Bakalant: Jan Fořt

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Fořt

Krajinářství
Vodní hospodářství

Název práce

Analýza umělého zasněžování ve skiareálu Klínovec

Název anglicky

Snowmaking analysis in Klínovec ski resort

Cíle práce

1. Vypracovat literární rešerši o umělém zasněžování zahrnující technickou specifikaci a environmentální dopady.
2. Zpracovat konkrétní příklad provozu ve skiareálu Klínovec.

Metodika

Student zpracuje téma pomocí literární rešerše odborné literatury.

Na základě poskytnutých dat ze skiareálu Klínovec a volně dostupných environmentálních dat student vyhodnotí základní fakta o místní výrobě technického sněhu.

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

Technický sníh, lyžování, sněžné dělo, retenční nádrž

Doporučené zdroje informací

- Scott, D., McBoyle, G., & Mills, B. (2003). Climate change and the skiing industry in southern Ontario (Canada): Exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation. *Climate Research*, 23(2), 171–181. <https://doi.org/10.3354/cr023171>
- Scott, D., McBoyle, G., & Mills, B. (2003). Climate change and the skiing industry in southern Ontario (Canada): Exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation. *Climate Research*, 23(2), 171–181. <https://doi.org/10.3354/cr023171>
- Steiger, R., & Mayer, M. (2008). Snowmaking and Climate Change. *Mountain Research and Development*, 28(3/4), 292–298. <https://doi.org/10.1659/mrd.0978>
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Roman Juras, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 11. 3. 2020

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 11. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 26. 06. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Analýza umělého zasněžování ve Skiareálu Klínovec vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne

.....

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Romanu Jurasovi, Ph.D., za ochotu, připomínky, vstřícný přístup a odborné vedení. Děkuji také správě Skiareálu Klínovec za poskytnuté informace. V neposlední řadě patří díky mé rodině za podporu.

Abstrakt

Bakalářská práce v první - rešeršní - části popisuje technickou specifikaci umělého sněhu a jeho vliv na přírodu. Z práce vyplývá patrný rozdíl mezi sněhem technickým a přírodním, kdy technický sníh může mít jistý negativní vliv na krajinu. Co se týče technického sněhu v porovnání se sněhem přírodním, je pro provozovatele lyžařských středisek zásadní jeho odolnost vůči vyšším teplotám.

Druhá část práce popisuje aktuální stav zasněžovacího systému Skiareálu Klínovec se zaměřením na severní svah klínoveckého kopce. Mapování skiareálu probíhalo z dat volně dostupných a z dat poskytnutých skiareálem, dále pak osobní návštěvou a fotodokumentací v březnu 2020. Modernizace skiareálu je patrná s každým přibývajícím rokem. Retenční nádrže o celkové kapacitě 75 000 m³ poskytují dostatek vody pro vysněžení téměř celého severního svahu. Severní strana Klínovce má zautomatizovaný zasněžovací systém pod záštitou firmy TechnoAlpin. Nachází se zde přes 80 pevně ukotvených tyčových děl doplněných mobilními vrtulovými děly typu TR8.

Dále se v práci zpracovávají vstupní data sněžných děl naměřená během testů v sezóně 2017/2018. Z testovaných vrtulových děl vychází nejvýkonněji typ TF10, který okolo 5 °C produkuje přes 45 m³ sněhu za hodinu.

Klíčová slova

umělé zasněžování, technický sníh, sněžné dělo, lyžování, Krušné hory

Abstract

The theoretical part of this bachelor thesis is focused on description of technical specification of artificial snow and its impact on the environment. There is an apparent difference between the technical and natural snow, where the technical snow has a potential negative environmental impact. Particularly important characteristic of technical snow is its resistance to higher temperatures when compared to natural snow.

The empirical part of this thesis describes the current state of snowmaking system of Klínovec ski resort with primary focus on northern slope of Klínovec mountain. The analysis was done based on information both from open sources and internal data provided by Klínovec ski resort. Part of the research was also a personal visit of Klínovec ski resort for a purpose of creating a photo documentation which was carried out in March 2020. The Klínovec ski resort has been modernized with apparent changes each year. Retention ponds with total capacity of 75 000 m³ provides sufficient amount of water to secure the production of technical snow for vast majority of northern slope of Klínovec mountain. Northern side of Klínovec mountain is equipped with automated snowmaking system provided by TechnoAlpin company. There are more than 80 fixed installation snow lances completed with mobile TR8 fan guns.

The research part of this bachelor thesis also analyses input data regarding the performance of fan guns measured during 2017/2018 winter season. It was concluded that the most efficient was the TF10 type fan gun which produces over 45 m³ of technical snow at around 5 °C.

Key words

artificial snowmaking, artificial snow, snow gun, skiing, Ore mountains

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Cíle práce	3
3.	Literární rešerše	4
3.1	Historie umělého zasněžování	4
	Rozvoj umělého zasněžování v Čechách.....	5
3.2	Vlastnosti a výroba technického sněhu.....	6
3.1.1	3.3 Vznik sněhových krystalů.....	8
	Přírodní proces vzniku sněhového krystalu	8
3.3.1	Výroba technického sněhu.....	9
3.3.2	Zasněžovací systémy	11
3.3.3	3.4 Vliv umělého zasněžování na přírodu	13
3.4.1	Zásah do půdy a půdní fauny	14
3.4.2	Destabilizace lesního porostu lyžařských areálů	14
3.4.3	Vliv technického sněhu na rostlinná společenstva	14
3.4.4	Vliv sjezdových tratí na živočišná společenstva	15
3.4.5	Vliv na hydrologické poměry	15
3.5.1	3.5 Vývoj Skiareálu Klínovec.....	16
3.5.2	Historie areálu.....	16
	Rozvoj tratí ve Skiareálu Klínovec.....	17
4.1.14.	4.1.14. Data a metody	20
4.1.2	4.1.2 4.1 Skiareál Klínovec.....	20
4.1.3	4.1.3	
4.1.4	Podnebí v dané oblasti	20
	Hydrologické poměry	21
	Flóra Klínovce	22
	Fauna Klínovce	24
	4.2 Metody analýzy Skiareálu Klínovec.....	24

5.	Výsledky.....	26
5.1	Zasněžovací systém Klínovce.....	26
	Sněžná děla využívaná ve Skiareálu Klínovec	29
5.2	Výsledky testování sněžných děl ve Skiareálu Klínovec	34
	Děla ventilátorová.....	36
5.1.1	Děla tyčová	39
6.	Diskuze	43
5.2.1	Děla tyčová	43
5.2.2	Závěr.....	45
8.	Přehled literatury a použitých zdrojů	46
9.	Přílohy	52

1. Úvod

Sjezdové lyžování je fenoménem mezi zimními sporty, který podle průzkumu agentury Nielsen Admosphere (Starý, 2018) pro Profi Credit provozuje každý třetí Čech, přestože patří mezi nejnákladnější zimní aktivity vůbec.

Znatelný ekonomický přínos ze sjezdového lyžování zaznamenává hlavně Evropa, kde se nachází 55 % všech lyžařských středisek, či Severní Amerika s 21 % (Vanat, 2015). Provozovatelé lyžařských areálů se proto za vidinou většího zisku snaží poskytnout co možná nejdélší lyžařskou sezónu s ideálními sněhovými podmínkami. Zatímco dříve byly areály závislé jak na teplotách, tak i na množství srážek, dnes již díky umělému zasněžování není srážkový faktor zdaleka tak důležitý. Kromě sjezdového lyžování se umělé zasněžování často využívá i na tratě lyžování klasického.

Technický sníh má příhodnější fyzikálně-chemické vlastnosti pro sjezdové lyžování především kvůli odolnosti vůči vysokým teplotám, dokáže vydržet až o několik týdnů déle než sníh přírodní (Kocková, 2008). Proto poslední dobou lyžařská střediska vkládají velké investice do zlepšování zasněžovacích systémů. Na základě studií Falk a Vanat (2016) se ve sto devíti francouzských lyžařských střediscích během osmi zimních období (2006/2007 až 2013/2014) ukázalo, že investice do zasněžovacího systému jsou z ekonomického hlediska výnosnější než investice do inovací lyžařských vleků či zbylé infrastruktury. Výsledky statistik dokazují, že lyžařské oblasti s většími investicemi do systémů zasněžování mají vyšší počet ročních návštěv lyžařů. V průměru 10% navýšení základního kapitálu do infrastruktury pro umělé zasněžování vede ke zvýšení počtu sezónních návštěv lyžařů o 8 % (Falk a Vanat, 2016).

Navzdory všem zmíněným pozitivním socioekonomickým a rekreačním hlediskům má však technologický rozvoj umělého zasněžování lyžařských areálů negativní dopad na životní prostředí. Ekologové uvádějí, že umělé zasněžování v oblasti sjezdových tratí z enviromentálního hlediska nepříznivě ovlivňuje život tamější fauny a vegetace (Rixen a Rolando, 2013).

V České republice jsou studie zabývající se vlivem umělého zasněžování na životní prostředí spíše ojedinělou záležitostí. Pro území lyžařského areálu Klínovec, kterým se zabývá tato práce, zatím není zpracována žádná. Každá

taková studie by ovšem s ohledem na rychlý rozvoj areálu mohla vést k bližšímu pochopení dané problematiky.

2. Cíle práce

Tato bakalářská práce si klade za cíl zaznamenat:

a) v rešeršní části

- historii a rozvoj umělého zasněžování;
- vlastnosti a výrobu technického sněhu;
- vliv umělého zasněžování na přírodu;
- vývoj a aktuální stav skiareálu z hlediska počtu sjezdových tratí a lanovek;

b) analýzu Skiareálu Klínovec, jeho celkovou situaci

- zmapování zasněžovacího systému severního svahu Skiareálu Klínovec a popis zde využívané techniky;
- stanovení množství spotřebované vody na výrobu sněhu;
- zpracování naměřených hodnot jednotlivých typů zasněžovacích děl ve skiareálu při testu v sezóně 2017/2018.

3. Literární rešerše

3.1 Historie umělého zasněžování

Prvně uměle vytvořený sníh je evidován v roce 1934, kdy v kanadském Torontu bylo naplánované slavnostní otevření nového skokanského můstku, který ovšem nebyl pokryt sněhem. Torontská univerzita přišla s návrhem navézt na můstek sníh vyrobený drcením ledu. Dobrovolníci dokázali nadrtit sedmdesát pět tun ledu, který byl nákladními vozy přepravován k šest a půl kilometru vzdálenému skokanskému můstku. Množství sněhu stačilo na pokrytí celého nájezdu na skokanský můstek i dopadového svahu. Nájezd na tomto sněhu byl rychlejší, a tak se skákalo o poznání dál než na sněhu přírodním (Hall, 1934).

První mechanická výroba umělého sněhu se připisuje v roce 1940 kanadsko-americkému experimentu zabývajícím se vybavením na odmrazování letadel. Pro vytvoření reálných podmínek byly zkonstruovány trysky imitující mrznoucí déšť, mlhu a plískanici. Výstup z trysek byl v literatuře uveden jako “sníh“ (Eriksen, 1983).

Roku 1952 bylo ve státě New York vyrobeno inženýry z Tey Mfg. Co. první komerční dělo pro umělé zasněžování lyžařských svahů. Společnost vlastnil Wayne Pierce, který si toto zařízení nechal patentovat spolu s celým distribučním systémem umělého sněhu. Tento systém umělého zasněžování měl již prvky obdobné současné sestavě skládající se z retenční nádrže, čerpadla, rozvodné sítě vody a vzduchu po celé délce svahu. Systém byl nainstalován ve středisku Grossinger's Catskill Hotel ve státě New York City. Toto místo se tak pyšní prvenstvím ve využívání umělého zasněžování v lyžařské historii (Shyke, 1957).

Průkopníkem umělého zasněžování na evropském kontinentu se stala roku 1963 Francie, kde v Champ de Feu bylo zasněžováno 550 m svahu pomocí čtyř sněžných děl (Zezula, 2011). Dále následovaly alpské země, jako je Rakousko či Itálie. Největší rozmach umělého zasněžování v Evropě nastal koncem 80. let, kdy bylo evidováno srážkově chudší zimní období (Hahn, 2004).

Rozvoj umělého zasněžování v Čechách

3.1.1 Lyžařské kluby v dobách socialistického Československa neměly nejen finanční, ale především devizové prostředky na dovoz sněžných děl ze “Západu“. Přesto tehdejší členové skiareálu Telnice dokázali přivést do ČSSR první sněžné dělo (Obr. 1) ze sousedního Rakouska. Profesor ČVUT Vladimír Chlumský ho poté přizpůsobil místním podmínkám a následně pro Telnici vyrobil další tři kusy (Zezula, 2011).



Obr. 1: První sněžné dělo na území tehdejšího ČSSR (www.regionplzen.cz)

Ostatní prvky umělého zasněžování (vodní nádrž s čerpadly, kompresorovou strojovnu, 500 m rozvodného potrubí) si již členové skiareálu vybudovali sami. Umělé zasněžování v Telnici bylo velkým hitem, přesto se na jiných místech objevuje až o 18 let později (Zezula, 2011).

V roce 1982 proběhly na Šumavě testy prvního tuzemského děla Šumava. O rok později byl již spuštěn celý systém umělého zasněžování svahu na Špičáku (Zezula, 2011).

V osmdesátých letech minulého století nastal problém s nedostatkem sněhu v Novém Městě na Moravě, kde byl v ohrožení Světový pohár v běhu na lyžích. Pořadatelé proto pořídili již zmíněné dělo Šumava, které však nedokázali správně seřídít, a tak mnoho užitku nepřineslo. Zlom pro Nové Město na Moravě

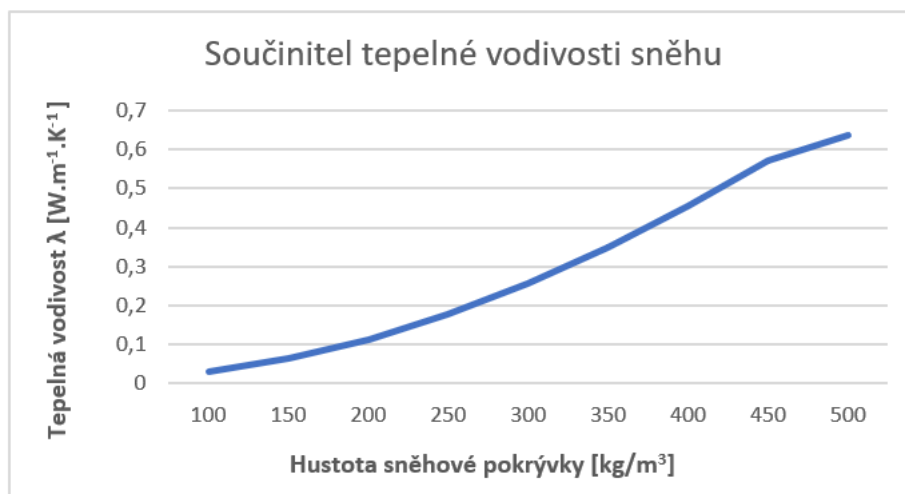
přišel až s nákupem zahraniční techniky, speciálně se sněžnými děly Leitner pocházejícími z Itálie (Zezula, 2012).

Technické zasněžování se u nás výrazně rozšířilo až po přelomu druhého tisíciletí. V současné době si žádné větší středisko provoz bez umělého zasněžování nedokáže představit. Procenta uměle zasněžovaných svahů stále rostou, jen v Krkonoších se vyskytuje více než 10 lyžařských středisek, ve kterých je technickým sněhem pokryto 100 % tratí (Harrachov, Velká Úpa, Rejdice). Ostatní areály zasněžují v průměru 65 % (Novický a kol., 2009).

Lyžařská střediska se díky umělému zasněžování každý rok předhánějí v termínu zahájení sezóny. Dlouhá léta byl tradičně jako první otevírán lyžařský resort Janské Lázně. V průběhu několika posledních zimních období byl ovšem jako první otevřen středočeský skiareál Monínek. Ten sezónu sice začíná na malém úseku sjezdovky, ale otvírá již 26. října, zatímco v Janských lázních se v sezóně 2018/2019 začalo jezdit až 15. listopadu. Tohoto prvenství bylo dosaženo díky zasněžovacímu systému Snow Factory (www.onthesnow.cz ©2018).

3.2 Vlastnosti a výroba technického sněhu

Technický sníh má od přírodního jiné jak fyzikální, tak chemické vlastnosti. Kvalita vyrobeného sněhu závisí na tom, jak důkladně stačí kapičky vody promrznout, než dopadnou na zem. Krystaly technického sněhu jsou menší (0,1–0,8 mm) a kulatější. Na rozdíl od sněhu přírodního ledové krystaly promrzají zvenku směrem dovnitř. Často během krátkého letu nestačí zcela promrznout, a obsahují tak vyšší podíl vody. Dále je pak u technického sněhu menší zastoupení vzduchu kvůli menší pórovitosti, což je důvodem, proč má technický sníh větší hustotu než sníh přírodní (Rixen, 2002; De Jong, 2011). S hustotou sněhu přímo souvisí tepelná vodivost (Obr. 2). Čím větší je hustota sněhové pokrývky, tím menší je izolační vlastnost sněhu. Na půdu tak doléhá nižší teplota (Stöckli a Rixen, 2000).



Obr. 2: Součinitel tepelné vodivosti (www.tzb-info.cz)

K výrobě technického sněhu se používá povrchová voda obsahující mnohem více minerálů (iontů vápníku, hořčíku, dusičnanů, síranů a chloridů), tím má větší vodivost než dešťová voda a částečně působí jako hnojivo, což může ovlivnit druhová společenstva rostlin a edafonu (Rixen, 2002). V závislosti na geologii území vodních zdrojů se koncentrace minerálů mění. Například koncentrace vápníku může být až desetkrát vyšší a koncentrace hořčíku čtyřicetkrát vyšší, než je obvyklé u sněhu přírodního. Díky jejich zvýšené koncentraci a velké hustotě je technický sníh mnohem tvrdší. Množství minerálů také ovlivňuje nadměrný přísun živin na většině sjezdovek při jarním tání (De Jong, 2011).

Z fyzikálních vlastností sněhu víme, že je vztah tepelné vodivosti a hustoty sněhu exponenciální. Výměna tepla ztuhlým technickým sněhem je proto přibližně dvakrát rychlejší než přes nenarušený přírodní sníh, což může způsobit promrzání půdy pod sněhem (Sturm, 1997). Také propustnost plynů přes technický sníh je výrazně snížena, a to nejen zvýšenou hustotou, ale i ledovou vrstvou, která se v jeho profilu nachází. Tím dochází ke snižování koncentrace kyslíku na povrchu půdy až o 5 %, zatímco koncentrace CO₂ se může zvýšit o 8 % (Rixen, 2003).

Pro efektivnější výrobu umělého sněhu také existují biologické a chemické přípravky, které umožňují zasněžování v jinak nepříjemných podmínkách. K nejznámějším biologickým aditivům patří Snomax, což je protein vytvořený

vymraženou odrůdou bakterie *P. syringae* z rodu *Pseudomonas* pojmenovanou podle šeríku (*Syringa vulgaris*), ze kterého byla poprvé izolována. Tato bakterie přitahuje molekuly vody a tím urychluje proces nukleace (Paccard, 2010).

Mezi chemická aditiva řadíme dusičnan amonný (NH_4NO_3) nebo chlorid amonný (NH_4Cl), které přispívají k změně půdních poměrů a k vyšší eutrofizaci půdy a vodních toků (Kocková, 2008).

Žádný právní předpis, který by v ČR zakazoval nebo omezoval používání biologických a chemických aditiv k výrobě technického sněhu, není znám. Jedná se zde jen o konkrétní nařízení daného území. Např. v plánu péče o KRNAP a jeho ochranné pásmo 2010-20 je uveden zákaz používání aditiv při výrobě umělého sněhu.

Kontrola biologických aditiv je však složitá. Příkladně biologický Snomax se ve sněhu od biologického pozadí odlišuje velmi složitě.

3.3 Vznik sněhových krystalů

3.3.1 Přírodní proces vzniku sněhového krystalu

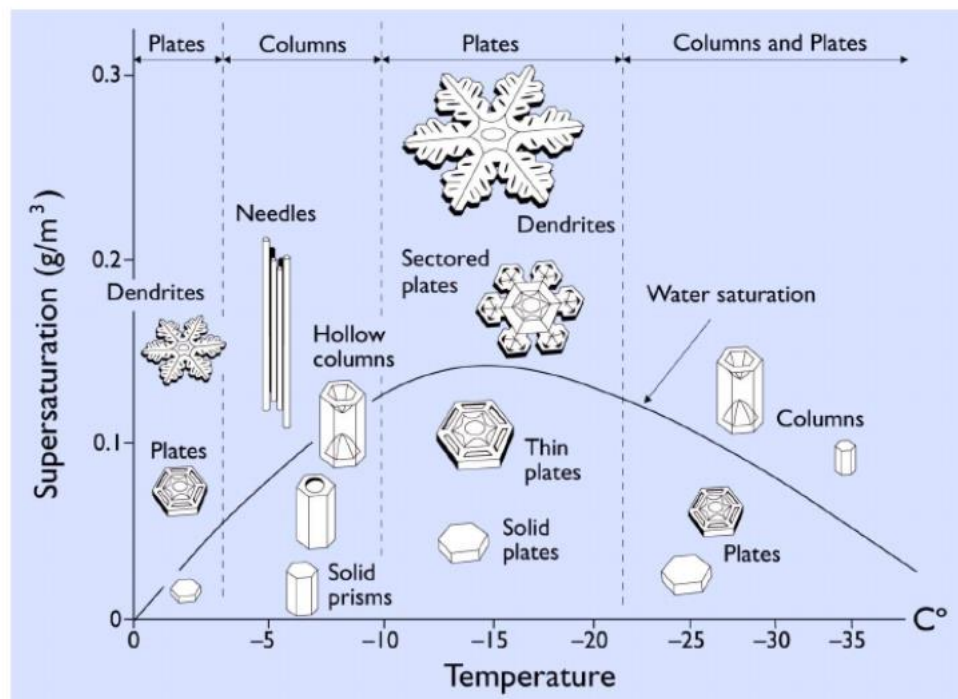
Voda se ve sněhu vyskytuje ve třech základních skupenstvích. Přejít mezi těmito fázemi skupenství je možné jen při změně teploty nebo tlaku či obou veličin zároveň. Nejedná se zde pouze o tlak atmosférický, ale o tlaky uvnitř kapaliny a tlak vodní páry (Záhorová, 2004).

Nás hlavně zajímá přechod na skupenství pevné, kde se ochlazuje kapalná voda a následně vzniká led, přičemž dostáváme sníh. Aby došlo ke změně skupenství, nejdříve musí teplota vody klesnout k teplotě tuhnutí při daném tlaku a až při následném pokračování odvádění tepla dochází ke skupenské změně. Abychom snížili teplotu gramu vody o 1 °C, musíme ji odebrat energii 4,18 J, tj. měrná tepelná kapacita vody. Při procesu tuhnutí dochází ke vzniku krystalizačního (nukleačního) jádra, které se u chemicky čisté látky tvoří shlukováním pravidelně uspořádaných molekul (Záhorová, 2004).

Směr růstu krystalu je dán hlavně podmínkami, při kterých krystalizace probíhá, znázorněnými v schématu viz Obr. 3. Od -5 °C až do teploty přesahující -25 °C se molekuly vážou převážně na svislé strany šestibokého hranolu a vzniká tak

plochý tvar vločky. Při teplotách okolo $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a výš se molekuly naopak přichytávají na šestiboké hranolové podstavy a tvar se vyvíjí do podlouhlých hranolků. Se stoupající vlhkostí vznikají vločky složitějších tvarů díky většímu počtu volných molekul vody v okolí. Roste tak pravděpodobnost pro vývoj složitějších tvarů vločky, jelikož se molekuly dokáží přichytit na vrchol či hranu krystalu.

V mracích za těchto teplot může být voda v kapalném stavu a následná tvorba krystalu závisí na dané nukleaci (Libbrecht, 2014).



3.3.2 Obr. 3: Schéma morfologie krystalu při růstu za určitých podmínek (Nakaya, 1954)

Výroba technického sněhu

Z chemického hlediska by výroba umělého sněhu měla být ekologicky nezávadná a založená na fyzikálních jevech.

Základní princip výroby technického sněhu je založený na kombinování vody a vzduchu v určitém prostředí. Do tohoto procesu vstupují mikročástice vody vypuštěné do okolí pod určitým tlakem a vzduch, který se různými formami mísí s částicemi vody. Dále se v tomto procesu berou jako vstupní hodnoty teplota a vlhkost okolního prostředí (Záhorová, 2004). Lyžařské středisko může nastavovat různé parametry a tím regulovat kvalitu sněhu. Při tomto procesu

obsluha zasněžovacího systému bere hlavně v potaz příkon elektrické energie, potřebu vody a vzduchu pro dané sněžné dělo a množství vyrobeného sněhu (Mayer a Steiger, 2007).

Při výrobě technického sněhu vyrábějí takzvané nukleátory směs vody a stlačeného vzduchu, která při rozstříkování do atmosféry vytváří sněhová zrníčka (nukleidy). Potřebné teploty ke krystalizaci je docíleno náhlou změnou objemu a tlaku média dle Gay-Lussacova fyzikálního zákona. Prostřednictvím trysek sněžných děl se voda rozprašuje na malé kapičky, které se spojují s krystalizačními jádry. Během svého letu na zem následně zamrzají na sněhové krystalky. Tuto cestu simulují různé druhy sněžných děl odlišně. Při turbínových sněžných dělech k tomu dochází přes ventilátor, v případě stožárových sněžných děl se využívá přirozený spád vysoký přibližně deset metrů (Steiger, 2008).

U vody z přírodních zdrojů, ze které se vyrábí umělý sníh, jsou nukleační jádra tvořena minerály či jinými nečistotami, které voda obsahuje. Tento proces je tedy rychlejší než u vody chemicky čisté. Na tato jádra následně desublimují další molekuly vodní páry. Tento jev závisí především na fyzikálním stavu atmosféry a jejího vrstvení. Po dosažení dostatečné hmotnosti krystal začne padat k zemi (Rogers a Yau, 2009).

V případě technického zasněžování musí splňovat teplota a vlhkost vzduchu potřebné předpoklady. Při zasněžování proto mluvíme o teplotě vlhkého teploměru, kterou tvoří poměr teploty a relativní vlhkost. Teplota vlhkého teploměru je vždy nižší, než je venkovní teplota. Čím je vzduch vlhčí, tím méně vlhkosti ještě dokáže přijmout. Současně jsou pak nutné nižší teploty, aby se z vodních kapiček mohly vytvářet sněhové krystalky (Záhorová, 2004).

Sněžná děla většinou vyrábějí sníh od teploty vlhkého teploměru $-2,5$ °C. Při velmi nízké vlhkosti vzduchu ji lze dosáhnout již při mírně zvýšených teplotách, při vysoké vlhkosti vzduchu je potřeba nízká teplota (Tab. 1). Při teplotách kolem bodu mrazu mluvíme o hraničních nebo mezních teplotách. Zejména při těchto mezních teplotách je rozhodující i teplota vody (Paccard, 2010).

Čísla v tabulce znázorňují tzv. vlhkou teplotu. Čím nižší je relativní vlhkost vzduchu, tím nižší je hodnota vlhké teploty. Pro umělé zasněžování je vhodná oblast nad čarou, kde modrá barva poukazuje na ideální podmínky.

Relativní vlhkost vzduchu (%)	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	
Teplota vzduchu (°C)																				
-9	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9	
-8	-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8		
-7	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7		
-6	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-6	-6		
-5	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-5		
-4	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5		
-3	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3		
-2	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2		
-1	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1		
0	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0		
1	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1		
2	-4	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	2		
3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	3	3		
4	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4		

Tab. 1: Limitní podmínky pro umělé zasněžování v závislosti na relativní vlhkosti a teplotě vzduchu (upraveno, Paccard, 2010)

Zasněžovací systémy

3.3.3 Hlavními důvody ztrát systému jsou povětrnostní podmínky. Při silném větru může docházet až ke ztrátám 50 %, kdy je technický sníh odfoukáván mimo sjezdovky. Obecně však počítáme se ztrátou 30 % (Grünwald a Wolfsperger, 2019).

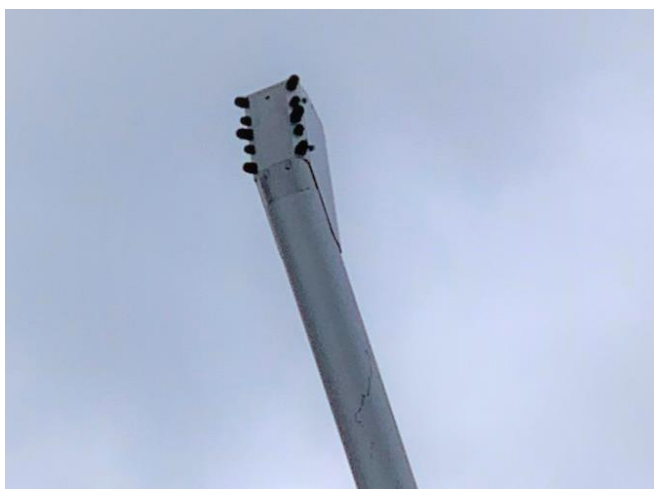
Systémy pro výrobu technického sněhu mají většinou velké množství vzdáleně umístěných zařízení produkujících technický sníh, ke kterým musí být přiváděna voda pod určitým tlakem, který se pohybuje od 8-40 Bar (Corsini a kol., 2015).

Systém, který již není moc využíván, se nazývá vzduchový. Používá velký vzduchový kompresor často umístěvaný pod sjezdovku. Tento kompresor prostřednictvím vhodných trubíc dodává stlačený vzduch k sněžným dělům. Dále se k dělu přivádí voda z retenčních nádrží. Sněžná děla poté mísí obě složky dohromady a produkují technický sníh. Instalace a provoz takového systému jsou relativně nákladné. Kompresor musí být dostatečně velký, aby doručil potřebně stlačený vzduch do více míst (Mayer a Steiger, 2007).

Nejčastěji jsou zasněžovací systémy tvořeny děly, u kterých je vzduchový kompresor jejich součástí. Jedná se konkrétně o děla ventilátorová a děla tyčová.

Tyčová děla

Tyčová děla nepotřebují ventilátory (turbíny), jelikož využívají gravitaci. Při výrobě technického sněhu voda během padání na zem krystalizuje. Tato děla se vyznačují krátkým dosahem zasněžování a jsou vhodná především na úzké sjezdovky chráněné před větrem. Výška tyče je upravována pomocí hydraulických válců a dosahuje až 11 m, kde se nachází hlava s upořádanými tryskami a nukleátory (Obr. 4). Součástí sněžného děla je bezolejový kompresor, zdroj tlakového vzduchu pro nukleátory. Dále je zařízení vybaveno automatickými ventily tlakové vody, které regulují průtok vody i vzduchu. Dělo často disponuje i meteorologickou stanicí, jež snímá teplotu, vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru. Vyhodnocení automatickou jednotkou umožní případné odstavení z provozu, tím je zamezeno výrobě sněhu, který je odnášen větrem mimo sjezdovou trať. Příkon elektrické energie je cca 1,5-4 kW, hmotnost zařízení čítá okolo 100 kg a produkce sněhu je přibližně 3-16 m³/h (TechnoAlpin ©2018).



Obr. 4: *Hlava s uspořádanými tryskami* (Jan Fořt, 2020)

Ventilátorová děla

Ventilátorová děla oproti tyčovým dělům disponují výrazně větším výkonem a vyznačují se velkým dosahem zasněžování. Součástí stroje je turbína pro vytvoření proudu vzduchu (Obr. 6), ve kterém voda krystalizuje. Obvykle jeden motor pohání jak turbínu, tak kompresor, který je zdrojem tlakového vzduchu pro nukleátory (Obr. 5). Bezolejový lamelový kompresor umožňuje rovnoměrný výstup stlačeného vzduchu. Ventilátorová děla se vyskytují jak stacionární, tak

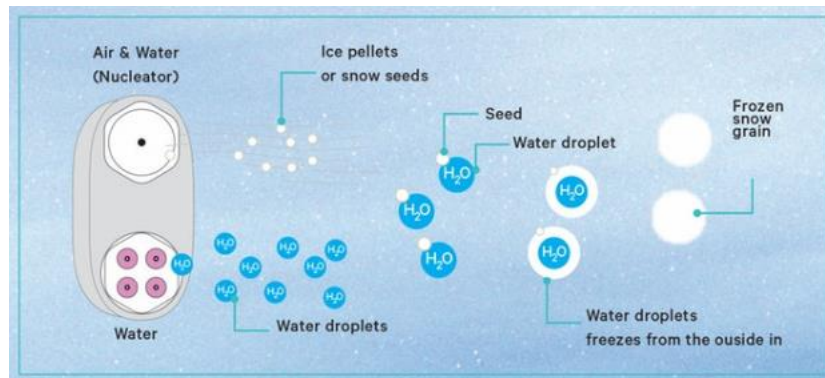
mobilní. Příkon elektrické energie činí přibližně 20 kW, hmotnost se pohybuje okolo 650 kg a produkce sněhu je 10-80 m³/h (TechnoAlpin ©2018).



Obr. 6: Přední část děla s nukleátory a vodními tryskami (Jan Fořt, 2020)



Obr. 5: Ventilátor děla (Jan Fořt, 2020)



Obr. 7: Princip fungování vodních trysek a nukleátorů (www.cosmosmagazine.com ©2018)

3.4 Vliv umělého zasněžování na přírodu

Lyžařské komplexy se stále snaží plošně rozvíjet otevíráním nových tratí či jejich rozšiřováním. To se neobejde bez zásahu do přírodních biotopů. Nejvíce viditelné následky jsou v citlivých ekosystémech, kde tyto aktivity člověka způsobují změny v odvodňování a s tím spojenou vodní erozi. Patrná je také změna ve vegetačním pokryvu, ze které vyplývá změna biodiverzity (Strong a kol., 2002).

Zásah do půdy a půdní fauny

3.4.1 Pro vznik nové sjezdovky jsou nutné terénní úpravy, které patří k nejdrastičtějším zásahům do půdního povrchu. Často vedou k nevratným změnám ve struktuře půd. Půdní horizonty jsou převrstveny a humusová vrstva zničena (Rixen, 2013).

Zhutněný těžký sníh zvyšuje tepelnou vodivost, čímž způsobuje promrzání půdy (Roux-Fouillet a kol., 2011). Půda pod takovou pokrývkou má vyšší pH, obsahuje větší koncentrace hořčíku, vápníku a draslíku. Snížený je obsah organického uhlíku a dusíku (Gros a kol. 2004). Půdní fauna je technickým sněhem a jeho upravováním značně ovlivněna. Důsledkem je snížená druhová pestrost a její struktura ve společenstvech (Meyer, 1993).

Destabilizace lesního porostu lyžařských areálů

3.4.2 Rozšiřování nových sjezdovek na úkor lesního porostu vede ke vzniku nových porostních stěn s rizikem následného rozpadu lesa v okolí. Největší vliv na destabilizaci lesa má silný vítr, šíření kůrovce a pronikání imisí do nitra porostu (Flousek 2016). Terénní upravování svahu často zasahuje hluboko do půdního povrchu a vede tak k nevratným změnám ve struktuře půdy (Rixen, 2013). Zásah do lesních porostů a horských svahů značně mění krajinný ráz. Ustupují živočišné druhy závislé na uzavřených lesních komplexech. Nové sjezdovky tak mají dopad na mnohem větším území (Flousek, 2009).

3.4.3

Vliv technického sněhu na rostlinná společenstva

Masa technického sněhu, která zůstává na zasněžovaných sjezdovkách v jarním období v porovnání s přírodním sněhem, potřebuje kvůli vyšší hustotě delší čas na rozmrznutí. Tání sněhu může být delší i o 4 týdny, z tohoto důvodu je nástup vegetační sezóny rostlin opožděn (Rixen, 2002). Některé druhy rostlin se adaptují na specifické sněhové podmínky, zvládají teplotní výkyvy, jiné rostou na místech, kde sníh odtává později. Na sjezdovkách ustupují rostliny časně kvetoucí a převažují rychle rostoucí nebo později kvetoucí druhy (Flousek, 2016). Ve střední a severní Evropě je rozšířeným druhem brusnice borůvka

(*Vaccinium myrtillus*), která preferuje místa s déletrvající sněhovou pokrývkou. V okolí lanovek a sjezdovek jsou některá společenstva nahrazována druhově chudšími společenstvy travin (Flousek, 2009).

Vliv sjezdových tratí na živočišná společenstva

3.4.4 S okolím lyžařských areálů úzce souvisí kromě přeměny vegetace i změna společenstva živočichů. Vznikají ostré hranice mezi lesem a bezlesem, kde chybí přechodové ekotony. Na toto prostředí špatně reaguje mnoho lesních druhů živočichů. Druhy závislé na lesích ustupují od nově vzniklých otevřených okrajů, čímž se zmenšuje pro ně vhodné prostředí. Z obratlovců byla prokázána menší rozmanitost a početnost lesních a lučních ptáků (Flousek, 2009). Skupinou bezobratlých živočichů na sjezdovkách se zabýval Kessler a kol. (2012) a potvrdil, že druhová diverzita se při umělém zasněžování snižuje a specializované horské druhy jsou na ústupu na úkor druhům početnějším a rozšířenějším. Je zřejmé i prokazatelné snížení počtu savců, například zajíců, srnců, kamzíků a jelenů (Paccard, 2010).

3.4.5

Vliv na hydrologické poměry

Do hydrologických poměrů horských oblastí kromě klimatických procesů stále více zasahují i vlivy antropogenní. Výroba umělého sněhu a rozšiřování sjezdových tratí může ovlivnit průtoky okolních toků (de Jong a kol., 2009).

Ke zhodnocení dopadů technického zasněžování na průtoky v tocích je nutné znát jejich roční průtoky a aktuální situaci, za níž se bude voda odebírat. Vodoprávní úřad vydává povolení pro každý konkrétní odběr vody z vodního toku za účelem umělého zasněžování. Toto povolení obsahuje například velikost minimálního zůstatkového průtoku na daném vodním toku a maximální množství povoleného měsíčního a ročního odběru vody (Tremel, 2019).

Ze studie De Jong a kol. (2008) z alpských oblastí vyplývá, že tání umělého sněhu má jistý vliv na odtokovou stupnici daného povodí, kdy tání může být až o několik měsíců opožděné než tání sněhu přírodního, a maximální letní průtok tak může být navýšen až o 30 % (De Jong a kol., 2009).

Začátkem zimy jsou obvykle průtoky vodních toků dostatečné, a tak s odběry z pravidla problém není. Kritické období může nastat po suchém létě, kdy při potřebě brzkého zasněžování na konci podzimu průtoky nemusí být dostatečně velké. Další takové období často nastává během velkých mrazů, kdy dochází k zamrznání koryta. Z těchto hledisek je patrné, že pro umělé zasněžování nejsou malé toky s potenciálně menšími a kolísavými průtoky ideální. Tuto situaci lze řešit akumulací nádržemi, které se naplní vodou v době zvýšeného průtoku. Retenční nádrže tak svoji funkci zadržování vody pro umělé zasněžování plní neefektivněji při tání sněhu nebo velkých srážkách (Treml, 2019).

Lze konstatovat, že odběry vody z velkých a středních toků nejsou při dodržení maximálního povoleného množství vody zásadním problémem. Stejně tak znečištění vody z technického sněhu v tocích nebylo prokázáno (Treml, 2019).

Celkový roční odběr vody pro umělé zasněžování v České republice je 3 miliony m³ (VÚV TGM ©2020).

3.5 Vývoj Skiareálu Klínovec

3.5.1 Historie areálu

Z historického hlediska bylo určité důležité pro zviditelnění klínoveckého kopce již v roce 1844 postavení osmiboké 17 metrů vysoké vyhlídkové věže v nadmořské výšce 1244 m (Prudík, 2013). Dále pak na počest šedesátileté vlády císaře Františka Josefa v roce 1908 byla vystavěna hala na uspořádání výstavy zaměřené na prezentaci výrobků obyvatel české strany Krušných hor. Do konce 20. let 20. století byly tyto prostory ještě přistavěny a vznikl celý velký areál hotelu s rozhlednou. Po roce 1945 byl areál zestátněn a začala jeho postupná devastace (Novotný, 2009).

Lyžování na Klínovci má dlouholetou historii i pro svou výbornou polohu svahů na sever, na sjezdovkách díky tomu vydrží sníh déle. Pro zimní sporty byl na svazích směrem k Oberwiesenthalu v roce 1922 v provozu skokanský můstek (Infocentrum Klínovec ©2019). Před druhou světovou válkou se začalo rozvíjet sjezdové lyžování a to vybudováním prvních dvou sjezdovek, které vznikly rozšířením lesních cest. Sjezdovky byly pojmenovány „U Zabitého“ a

„Dámská“, kde se konaly i první závody ve sjezdovém lyžování (Novotný, 2009).

Po druhé světové válce nastává doba úpadku, protože se areál nacházel v oblasti příhraničního pásma, a tudíž celá oblast byla nepřístupná. Naštěstí bylo v 60. letech nařízení zrušeno a postavil se první vlek na sjezdovce „u Zabitého“. V roce 1968 dochází k výstavbě dvojmístného vleku na Dámské, který byl prvním tohoto typu. Vykácením lesa v 70. letech následně vznikají další dvě sjezdovky - „Přemostěná“ a „Pařezák“. V 80. letech byla zakoupena první rolba na úpravu sjezdovek a vybudováno osvětlení sjezdovky „Pod Zámečkem“ (Mikšíček, 2005).

Po sametové revoluci v roce 1991 prošel skiareál privatizací, v níž byl koupen soukromou společností „Skiareál Klínovec, s.r.o.“. Tato společnost s jednatelem Martinem Pišou a Ing. Petrem Zemanem je, jak uvádí Veřejný rejstřík a Sběrka listin spravovaných Ministerstvem spravedlnosti ČR, k roku 2020 stále jeho vlastníkem.

Po odkoupení skiareálu nastalo období velké modernizace. Pro co největší prodloužení provozu střediska byla v roce 1998 zahájena výstavba zasněžovacího systému. A již v roce 2001 společnost dokázala z umělého zasněžování pokrýt sněhem všechny tehdejší sjezdovky (Šorfa, 2001).

K roku 2018 je k dispozici pět retenčních nádrží s celkovou kapacitou 65 000 m³ vody, což skiareálu zabezpečilo soběstačnost při výrobě sněhu na 70 % bez ohledu na přítoky povrchových vod (Polcer, 2018).

3.5.2 Poslední údaje z roku 2020 uvádějí, že skiareál disponuje celkem 147 sněžnými děly, dále byly posíleny kapacity čerpacích stanic a zakoupeny nové typy vrtulových děl, která dokáží vyrábět technický sníh již při -1,7 °C, celková kapacita retenčních nádrží je 75 000 m³ vody (Drengubáková, 2019).

Rozvoj tratí ve Skiareálu Klínovec

V novém stylu zimních sportů byl v roce 2003 vystaven nový snowpark, který splňuje parametry pro uspořádání mezinárodních závodů ve snowboardingu.

Hlavním prvkem tohoto snowparku je U-rampa Superpipe třídy FIS (Polcer, 2018).

K modernizaci celého areálu samozřejmě patří zvětšování a prodlužování sjezdovek a hlavně výměna vleků za lanové dráhy. První etapa proběhla v roce 2011, kdy došlo k prodloužení sjezdovky „Pařezovky“ a vybudování moderní lanové dráhy o délce 1250 metrů, typu odpojitelné čtyřsedačky s ochranou proti nepřízní počasí a přepravní kapacitou 2400 osob za hodinu. V roce 2012 byla dokončena stavba druhé lanové dráhy u „Přemostěné“, typu fixní čtyřsedačka o délce 1050 metrů a přepravní kapacitou 2400 osob za hodinu (Taschner, 2011).

Ve třetí etapě budování moderních přepravních zařízení došlo v roce 2014 na jižním svahu Klínovce k náhradě historické jednosedáčkové lanovky z roku 1965 za moderní odpojitelnou čtyřsedačku od firmy Doppelmayr o délce 2168 metrů s přepravní kapacitou 2400 osob za hodinu. Vedle této moderní lanovky byla vybudována i nová sjezdovka alpských parametrů o délce 3 kilometrů, v určitých úsecích je široká i 100 metrů s převýšením 500 metrů. Původní sjezdovka na jižní straně Klínovce, která vedla do Jáchymova, byla ponechána pro freeriding. Nová sjezdovka má rozlohu 15 hektarů a je střední náročnosti. Tato lanová dráha z Klínovce do Jáchymova je třetí nejdelší v celé České republice (Plechátá, 2019).

Další etapou modernizace Klínovce byla v roce 2019 výměna staré třísedáčkové lanovky za novou odpojitelnou, vyhřívanou čtyřsedačku s oranžovou krycí bublinou od firmy Doppelmayr. Tato obnova byla nevyhnutelným krokem hlavně díky rozšíření nejfrekventovanější modré sjezdovky „Dámská“. Její plocha byla vykácením lesa zdvojnásobena. Délka lanovky je 1240 metrů s přepravní kapacitou 2200 osob za hodinu (Klínovec ©2019).

V sezóně 2018/2019 došlo k propojení Skiareálu Klínovec se Skiareálem na Neklidu a Božím Darem. Celková délka sjezdovek se tak rozšířila z původních 18 na 31,5 km a plocha sjezdovek se zvětšila ze 417 000 na 737 000 m², přičemž technickým sněhem bude zasněžováno 21 kilometrů. Lyžaři se na kopec vyváží pěti lanovkami a jedenácti vleků. Najdeme zde také tři dětské parky s lyžařskými pásy. Nejdelší sjezdovka Jáchymovská se svojí délkou 2950 metrů a šířkou od

50 do 100 metrů patří mezi nejrozsáhlejší sjezdovky v České republice (Klínovec ©2019).

Poslední zajímavostí ohledně Skiareálu Klínovec je díky česko-německé spolupráci v rámci InterSkiregionu Klínovec - Fichtelberg propojení těchto areálů pomocí skibusu a tím tedy i zvětšení celého komplexu na 47 kilometrů sjezdových tratí. Doba přesunu mezi vrcholy Klínovce a Fichtelbergu je 10 minut (Klínovec ©2019).

4. Data a metody

4.1 Skiareál Klínovec

Skiareál Klínovec se nachází na severozápadě Čech v okrese Karlovy Vary, leží na hranicích s Německem. Jedná se o nejnavštěvovanější areál Ústeckého i Karlovarského kraje. S výškou 1244 metrů je nejvyšším bodem Krušných hor.



Obr. 8: Skimapa areálu Fichtelberg – Klínovec (upraveno, Skiareál Klínovec, 2020)

4.1.1 V práci se zaměřuji na zasněžovací systém severní strany klínoveckého kopce, který je základem pro provoz celého střediska. Lyžařská sezóna zde obvykle začíná už na přelomu listopadu a prosince. Také se zde sezóna uzavírá, a to nejčastěji v polovině dubna. Jedná se o plochu 268 462 m² sjezdových tratí.

Podnebí v dané oblasti

Rokem 1971 nastal průlom v klasifikaci klimatu, o který se zasadil český geograf a klimatolog Evžen Quitt. Tehdejší území Československa rozčlenil na teplé (T), mírně teplé (MT) a chladné oblasti (CH), které následně rozdělil do několika podoblastí. Teplým oblastem přiřadil 5 podoblastí (T1-T5), mírně teplým 11 (MT1-MT11) a chladným 7 (CH1-CH7), přičemž platí, že čím vyšší podoblast,

tím teplejší a sušší klima. Krušné hory spadají do chladné klimatické oblasti (CH), která se na dnešním území objevuje ve třech podoblastech - konkrétně CH7, CH6 a CH4. Chladná klimatická oblast CH4 charakterizuje vrcholky Krušných hor (Quitt, 1971).

Krušné hory jsou otevřeny směrem k severu a vzhledem k nadmořské výšce je podnebí hřebenů hor drsnější. Dále je toto podnebí definováno velkými bouřemi či silnými vlhkými větry, které ovlivňují časté změny počasí. Ve výšce okolo 700 m n. m. se můžeme pravidelně setkávat nejen s ranními, ale i s celodenními mlhami. Zima je v horách dlouhá, velmi studená, s bohatou sněhovou pokrývkou a četnými sněhovými srážkami. Naopak léto je krátké, několikátýdenní, ovšem poměrně teplé. Průměrná roční teplota vzduchu ve výšce cca 900 m n. m. činí kolem 4 °C. Ve vyšších polohách - cca 1200 m n. m. - se průměrná teplota pohybuje okolo 2,5 °C (vrcholky Klínovce). Na Klínovci mrazivému období připadá asi 150 dní v roce. Ranní mrazíky se zde objevují i v červnu a v září (Soukup a David, 2000).

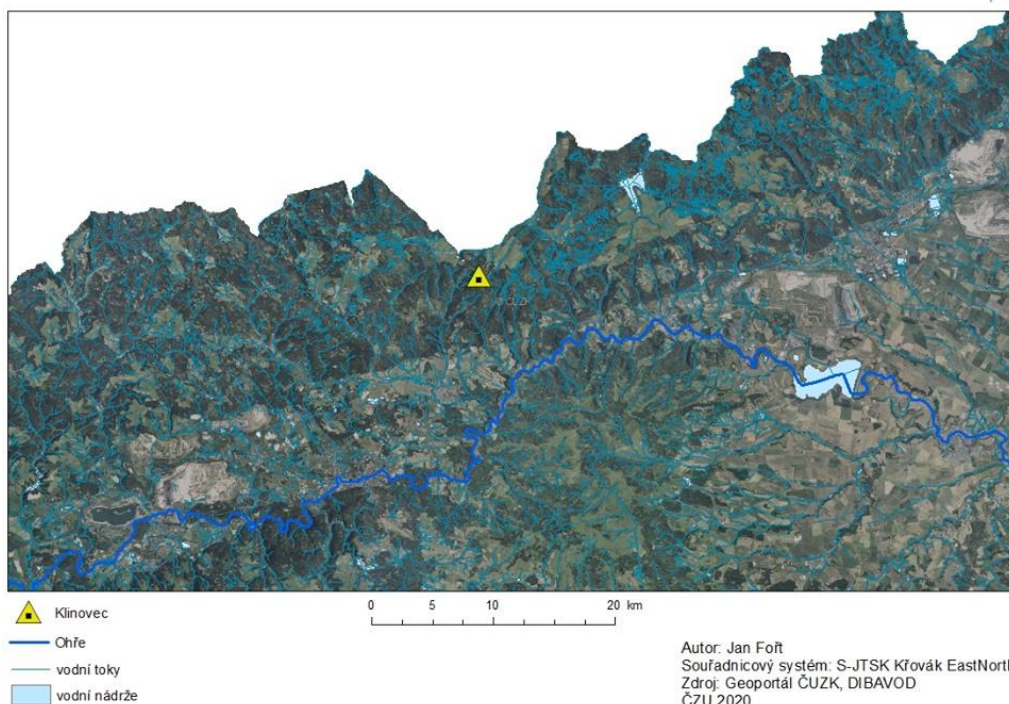
Celek Krušných hor vytváří speciální jev zvaný srážkový stín, který vzniká v podkrušnohorských pánvích. Konkrétně se jedná o meteorologický jev způsobený horskými překážkami, které znemožňují přenos vlhkosti v závětrných oblastech. Dále se zde objevuje opačný jev, tzv. návětrný efekt, který se týká návětrných stran, kde jsou naopak srážky zesíleny a to díky vysoké oblačnosti v místě horských překážek. V důsledku těchto jevů spadne na hřebenech hor ročně cca 1200 mm srážek a v podkrušnohorských pánvích jen okolo 500 mm za rok (Soukup a David, 2000).

4.1.2

Hydrologické poměry

Hlavním vodním tokem Krušných hor je řeka Ohře (Obr. 9), do které se odvodňuje česká strana Krušných hor. Pouze malou část vod odvádí do Saska Černý a Zlatý potok (CEVT ©2020).

Největší nádrž Krušných hor je Přísečnice o celkovém objemu 50,43 mil. m³. Dalšími významnými vodními nádržemi jsou Křímov, Kamenička, Újezd a Jirkov (VÚV TGM ©2020).



Obr. 9: Vodní toky Krušných hor

4.1.3 Flóra Klínovce

Původním porostem Krušných hor byly smíšené lesy, ale ty byly už v 16. století dost vykáceny, protože dřevo bylo zapotřebí do důlních provozů (těžba cínu, stříbra, olova, mědi a železa). Z důvodu báňské činnosti byly vysázeny pro rychlou obnovu lesa smrky (Balcar a Navrátil, 2006).

V 70. letech 20. století došlo k obrovskému kalamitnímu stavu v důsledku vysokých koncentrací oxidu siřičitého (SO_2) a častým teplotním inverzím, kdy odumřelo více než 60 % smrkových porostů. Toto imisní znečištění někdy dosahovalo i koncentrací $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a bylo znásobeno námrazou a hmyzími škůdci (Balcar a Navrátil, 2006).

Původní smrčiny se dochovaly jen na Klínovci. Celkovou plochu Krušných hor tvoří ze 75 % lesy s nejrozšířenějším stromem smrkem ztepilým (*Picea abies*), z dalších dřevin se nejvíce vyskytuje borovice lesní (*Pinus sylvestris*), buk lesní (*Fagus sylvatica*), bříza bělokorá (*Betula pendula*) a dub letní (*Quercus robur*).

V lesích nejčastěji roste metlička křivolaká (*Deschampsia flexuosa*), papratka horská (*Athyrium distentifolium*) a bika lesní (*Luzula sylvatica*). Ve vyšších

polohách, kde byl les vykácen, vznikla horská luka a náhorní plošiny. Na těchto lokalitách najdeme metlici křivolakou (*Deschampsia flexuosa*), borůvku černou (*Vaccinium myrtillus*), biku bělavou (*Luzula luzuloides*), smilku tuhou (*Nardus stricta*), koprník štětínolistý (*Meum athamanticum*), jestřábník oranžový (*Pilosella aurantiaca*), chrpu horskou (*Centaurea Montana*). V údolí a místech vodních toků se vytvořila společenstva lužních lesů, kde jsou hlavními zástupci stromy typu olše (*Alnus*), jasan (*Fraxinus*), javor (*Fraxinus*) a vodomilné rostliny, jako je pcháč bahenní (*Cirsium palustre*), přeslička bahenní (*Equisetum palustre*), česnek medvědí (*Allium ursinum*).

K hojnému společenstvu Krušných hor patří louky a pastviny. Na nich rostou hlavně různé druhy trav, například psárka luční (*Alopecurus pratensis*), srha laločnatá (*Dactylis glomerata*), kostřava lesní (*Festuca altissima*), a horských bylin jako například prha chlumní (*Arnica Montana*), penízek horský (*Thlaspi montanum*), hořeček ladní (*Gentianella campestris*), rdesno hadí kořen (*Bistorta officinalis*) (Ondráček, 2012).

Krušné hory mají také významné biotopy rašelinišť s celkovou plochou 5767 ha. Bohužel bylo rašeliniště vlivem těžby rašeliny za účelem topení v 18. století odlesněno a odvodněno systémem kanálů.

Rašelina se zde těžila až do druhé světové války. V současnosti komplex rašelinišť v oblasti Božího Daru je chráněné území, které přechází do smrkových porostů a horských rašelinných luk. Najdeme tam hlavně smrčiny, borovice, vřesy a kleč, která je znakem ukončení tvorby rašeliny. V bylinném pásmu rašelinišť roste bika sudetská (*Luzula sudetica*), suchopýr pochvatý (*Eriophorum vaginatum*), ostřice dvoudomá (*Carex dioica*), sedmikvítek evropský (*Trientalis europaea*). Kolem močálů a jezírek převážně roste ostřice (*Carex*) a rákos (*Phragmites*). Co se týče samotných rašeliníků, tak v Božidarském rašeliništi se vyskytuje 24 druhů (Bušek a Michálek, 2004).

Mezi vzácné zástupce flóry patří několik u nás vzácných borovic, které rostou vysoko v Tatrách. Konkrétně je najdeme v nejvyšších místech Klínovce, několik metrů od vyhlídkové věže ve smrkovém porostu (ten je značně poškozován námrazou vysokým sněhem a mrazem). Tyto podmínky mimo borovici kleč

vydrží jen borovice limba. V podobných výškách Klínovce roste 1-2 metry vysoký mlčivec alpský.

Na nesekaných loukách v blízkosti lesa můžeme vidět prhu arniku využívanou jako léčivku (Mikšíček, 2006).

Fauna Klínovce

4.1.4 Typickou zvěří Krušných hor ve vyšších nadmořských výškách je jelen evropský, jezevec lesní, kuna lesní, liška obecná, prase divoké (Ondráček, 2012).

V nižších nadmořských výškách v blízkosti zemědělské krajiny najdeme srnce obecného, zajíce polního, králíka divokého, myšici křovinnou a krtek obecného (Ondráček, 2012).

Z ptáků můžeme vidět sýce rousného, káně lesní, poštolku obecnou, bažanta obecného, kosa černého, lejska šedého, drozda zpěvavého, datla černého, lindušku lesní, hýla obecného (Ondráček, 2012).

Nejpočetnější skupinou živočichů je hmyz. Jedná se například o sluněčko sedmitečné, štítonoše zeleného, střevlíka dvoubarevného, zlatohlávka zlatého, mandelinku drobnou, mravence drnového, tiplici luční, muchnici zahradní, slíd'áka lučního, křížáka obecného (Ondráček, 2012).

4.2 Metody analýzy Skiareálu Klínovec

Skiareál byl mapován a fotodokumentován za použití UAV typu Mavic mini od DJI.

Byly zaznamenávány vstupní průtoky děl a teploty během provozu. Data jsou v práci zpracovaná v krabicových grafech (boxplotech), ze kterých je možné vyčíst maximální, minimální, střední (mediánovou) a průměrnou hodnotu teploty či vstupního průtoku každého testovaného děla.

Hustota umělého sněhu je přibližně 400 kg/m³. Hustota vody je 1000 kg/m³. Výpočet přepočítávacího koeficientu mezi vodou a sněhem:

$$\frac{\rho \text{ vody}}{\rho \text{ sněhu}} = \frac{1000}{400} = 2,5$$

Pro výpočty počítáme tedy s koeficientem 2,5.

Skiareál Klínovec poskytnul data z děl zaznamenávající vstupní průtoky vody v l/s. Při výpočtech produkce sněhu přepočítáváme na m³ sněhu za hodinu. Tedy vstupní průtok [l/s] převedeme na průtok [m³/h] a násobíme koeficientem 2,5.

Dále zde počítáme s koeficientem ztrát při zasněžování. Ztráty jsou obecně 30%, počítáme tedy se ztrátovým koeficientem 0,7.

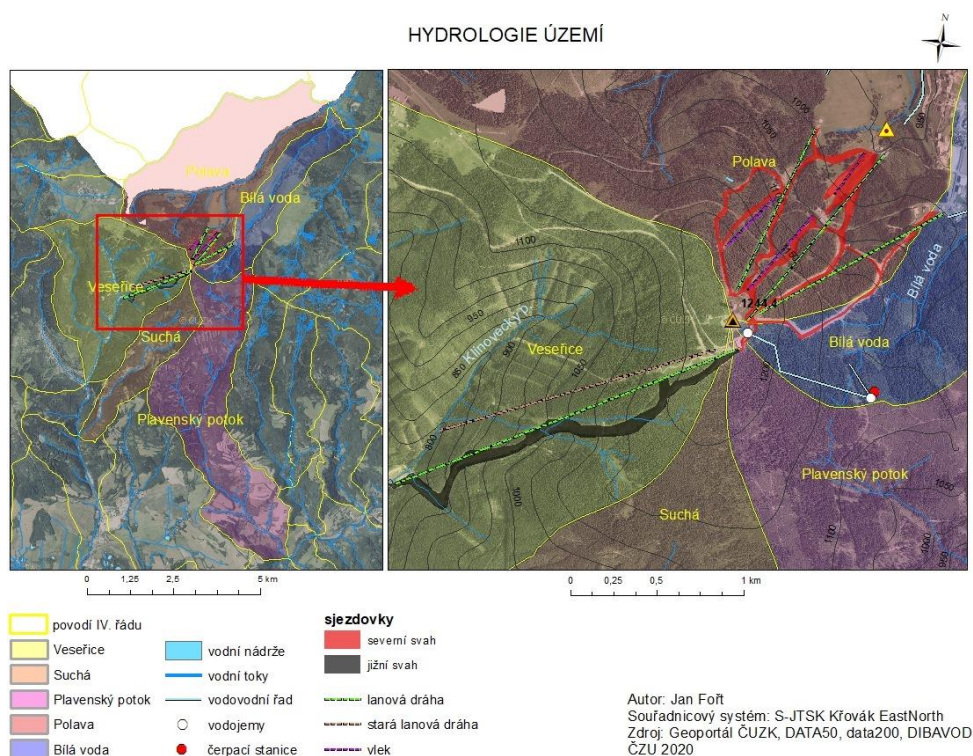
Pro výpočty zasněžovacích ploch tratí počítáme s výškou sněhu na sjezdovce 0,4 m před zhutněním.

5. Výsledky

5.1 Zasněžovací systém Klínovce

Skiareál disponuje moderním plně automatizovaným zasněžovacím systémem se 147 sněžnými děly a pěti retenčními nádržemi. Díky vizualizaci celého systému (viz příloha 1) se zasněžování dá řídit z pohodlí velicí stanice jediným klinutím.

Celý skiareál zasahuje do dvou povodí II. řádu a čtyř povodí řádu IV. (Obr. 10). Jižní svah se nachází v povodí II. řádu Ohře a Labe od Ohře po Bílinu, kde jsou v obci Jáchymov dvě retenční nádrže odebírající vodu z vodního toku Veseřice. Severní svah spadá do povodí II. řádu povodí německých přítoků Labe v ČR a dvou povodí IV. řádu, kde jsou hlavními vodními toky Polava a Bílá voda. Na vodní tok Bílá voda jsou přímo napojeny dvě retenční nádrže. Další retenční nádrž, která se nachází v povodí IV. řádu s hlavním vodním tokem Polava, zachytává pouze vodu dešťovou z přilehlého svahu.



Obr. 10: Hydrologie klínoveckého kopce

Celková kapacita retenčních nádrží je cca 75000 m³ vody. Při naplnění nádrží ze 75 % máme k dispozici cca 56 250 m³. Z tohoto množství vody je možno vyrobit

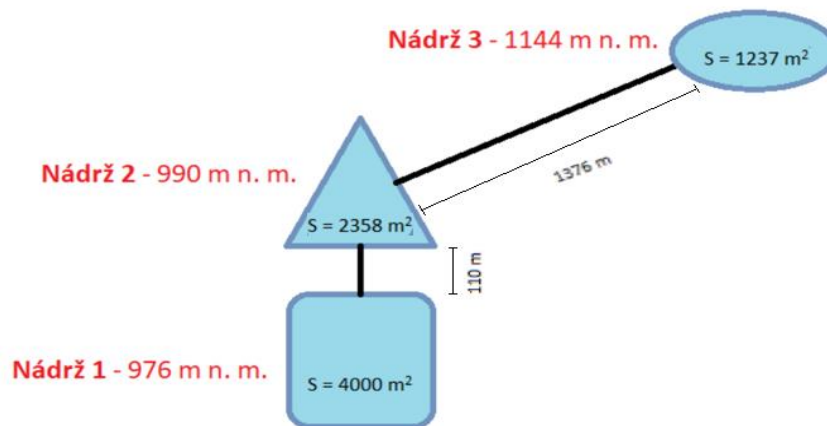
140 600 m³ sněhu. Pro zohlednění ztrát násobíme koeficientem 0,7 a získáváme přibližně 98 400 m³ sněhu. Při 40 cm před zhutněním se dostáváme na 4 000 m³ sněhu na jeden ha sjezdových tratí. Z retenčních nádrží je tedy možné zasněžit až 24 ha. Vodu z retenčních nádrží díky dostatečně výkonnému systému je možné mezi sebou přečerpávat. Pro přečerpání vody ze spojených nádrží 1 a 2 (Obr. 11) do nádrže 3 (Obr. 12) musí čerpadlo překonat výškový rozdíl 154 m (znázorněných na Obr. 13) a při přečerpávání až na jižní svah do nádrží v obci Jáchymov se jedná o převýšení 224 m.



Obr. 11: Retenční nádrže 1 a 2 (Jan Fořt, 2020)



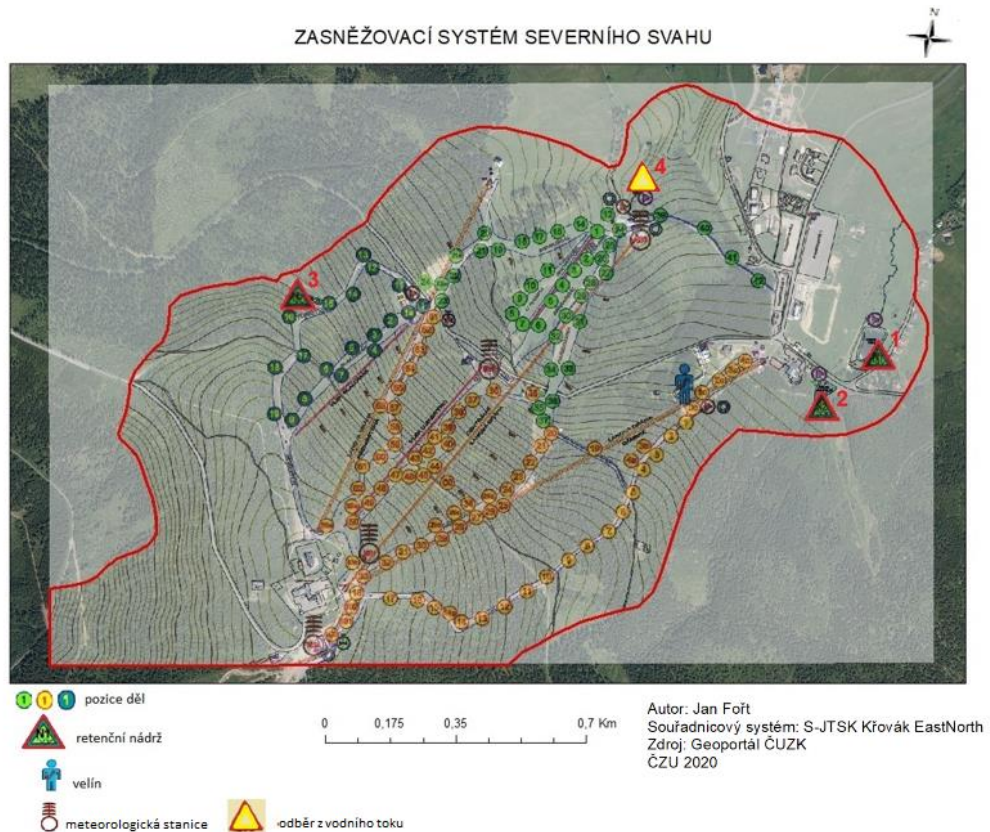
Obr. 12: Retenční nádrž 3 (Jan Fořt, 2020)



Obr. 13: Schéma propojení retenčních nádrží severního svahu

Vedením Skiareálu Klínovec byl poskytnut obrázek zasněžovacího systému severního svahu, který byl posléze upraven a ortorektifikován (Obr. 14). Na obrázku jsou znázorněny možné pozice děl. Některá ventilátorová děla se můžou mezi pozicemi přesouvat. Většina pozic je však obsazena děly tyčovými, která jsou pevně ukotvena.

Na severním svahu se nacházejí tři z pěti retenčních nádrží celého skiareálu. Dále je zde odběr vody z vodního toku PBP Polavy v ř. km 13,9. Díky tomuto aspektu je rozvod vody k sněžným dělům severního svahu jednodušší.



Obrázek 14: Schéma zasněžovacího systému severního svahu

5.1.1

Sněžná děla využívaná ve Skiareálu Klínovec

Část ventilátorových děl zasněžovacího systému je od firmy Supersnow. Ve Skiareálu Klínovec se vyskytují dva typy 700A a 900A (Supersnow ©2019).

Největší část děl jak ventilátorových, tak tyčových je od firmy TechnoAlpin se sídlem v Itálii. Na Klínovci se využívají typy TF10, TR8, V3 a Rubis (TechnoAlpin ©2018).

Dále pak jsou zde zastoupena děla tyčová od firmy Sufag, konkrétně typ Taurus. Jedná se o firmu, která má dva výrobní závody, a to ve Francii a Švédsku (SUFAG ©2020).

V neposlední řadě jsou zde děla od firmy Demaclenko. Vyznačují se hlavně menší spotřebou energie, kde nová generace tyčových děl EOS by měla být

revolucí v efektivitě. Použitím speciálních trysek a bezolejové kompresorové technologie byla snížena spotřeba energie na méně než 2 kW při produkci sněhu až 61 m³/h (Demacenko Ltd ©2020).

Typ děla	Počet vodních trysek	Počet nukleátorů	Tlak vody [Bar]
700A	90	12	8-40
900A	120	8	8-40
Titan 2.0	80	12	5-50
EVO 3.0	45	10	8-50
EOS 8	16	4	15-50
Taurus	8	4	15-60
TF10	24	8	8-40
TR8	18	6	8-40
V3	15	3	15-60
Rubis	6	3	20-60

Tab. 2: Technické parametry děl

Ventilátorové sněžné dělo Supersnow 700A

Tento typ ventilátorového sněžného děla se vyznačuje sníženou spotřebou energie a snadným používáním. Keramické trysky odolné proti opotřebení zaručují správný průtok a úhel rozstříku i po mnoha provozních sezónách. Je zde použit desetilistový hliníkový ventilátor, který zvyšuje tuhost lopatek, čímž snižuje hluk sněžného děla během provozu. Správná geometrie a tvar lopatek zajišťují správné proudění vzduchu do ventilátoru a tím vyšší výkonost. Samotné dělo váží 630 kg, což je v porovnání s ostatními znatelně méně. Dělo je tak lépe transportovatelné (Supersnow ©2019).

Ventilátorové sněžné dělo Supersnow 900 A

Toto dělo je schopné produkovat až 105 m³ sněhu za hodinu, což je oproti modelu 700A znatelně více. Výkonný ventilátor je tvořen inovativním tvarem lopatek, kde byla konstruktérům inspirací soví křídla, což opět výrazně snižuje provozní hluk. Konstrukce je navržena pro snadné čištění systému, kde je zapotřebí pouze voda (Supersnow ©2019).

Ventilátorové sněžné dělo Demaclenko Titan 2.0

Výrobce garantuje produkci sněhu až do dálky 75 m díky kombinaci nového ventilátoru a delšího sudu. Vylepšené trysky umožňují lepší nukleace za podmínek nízkého tlaku. Společně s výzkumným ústavem Fraunhofer se zaměřili na snížení emise zvuku, aby produkt byl šetrnější k životnímu prostředí, tedy respektoval okolní flóru a faunu (Demaclenko Ltd ©2020).

Ventilátorové sněžné dělo Demaclenko EVO 3.0

Úspora energií je u tohoto děla doménou. Ventilátor spotřebovává pouhých 11 kW. 10 nukleačních trysek umožňuje výrobu kvalitního sněhu i při vyšších teplotách (Demaclenko Ltd ©2020).

Tyčové dělo Demaclenko EOS 8

Model z roku 2016 EOS 8 obsahuje 4 nukleátory a 16 vodních trysek s vložkami z nerezové oceli, díky kterým je dělo odolnější vůči vnějším vlivům. Dělo má osm regulačních možností, které jsou plně zautomatizovány. Maximální průtok vody 6,1 l/s je na tyčové dělo nadstandartní parametr. Menší plocha hlavy děla eliminuje zranitelnost vůči větru a teplotám. Námraza hlavy děla tedy nenastává ani při velmi nepříznivých povětrnostních podmínkách. Největším kladem je ovšem spotřeba energie, kde příkon nepřesáhne 2 kW (Demaclenko Ltd ©2020).

Tyčové dělo Sufag Taurus

Toto tyčové dělo Taurus produkuje technický sníh z výšky 9,5 m. Hlava děla obsahuje čtyři nukleační trysky, které zajišťují kvalitu sněhu. Výrobce uvádí minimální výrobní teplotu -2 °C (SUFAG ©2020).



Obr. 15: Hlava tyčového děla Sufag (Jan Fořt, 2020)

Ventilátorové dělo TechnoAlpin TF10

Od firmy TechnoAlpin se jedná o nejvýkonnější dělo ze sortimentu. Sněžné dělo TF10 disponuje manuálním vertikálním nastavením výšky a motorizovaným horizontálním otáčivým zařízením s manuálním blokovacím mechanismem. Přístup k blokování otáčení, nastavení výšky a ventilového bloku se ovládá z jedné strany sněžného děla na grafickém displeji podsvíceném LED diodami (TechnoAlpin ©2018).

Ventilátorové dělo TechnoAlpin TR8

Vrtule i kompresor jsou u tohoto děla poháněny pouze jedním elektrickým motorem. Přitom jde o bezolejový lamelový kompresor, který se vyznačuje ještě rovnoměrnějším výstupem stlačeného vzduchu (TechnoAlpin ©2018).



Obr. 16: Sněžné dělo TR8 (Jan Fořt, 2020)

Tyčové dělo TechnoAlpin V3

Oproti starším modelům byly rozměry a vnější povrch hlavy zmenšeny. Eloxované hliníkové trysky zvyšují přenos tepla do hřídele trysky a zamezují tak tvorbě ledu na hlavici (TechnoAlpin ©2018).



Obr. 17: Tyčové dělo V3 (Jan Fořt, 2020)

Tyčové dělo TechnoAlpin Rubis

Výrobce tohoto typu děla zaručuje maximální produkci sněhu, a to jak při mezních teplotách, tak i při extrémně chladném počasí. Díky nižší spotřebě vzduchu je dělo energeticky nenáročné (TechnoAlpin ©2018).

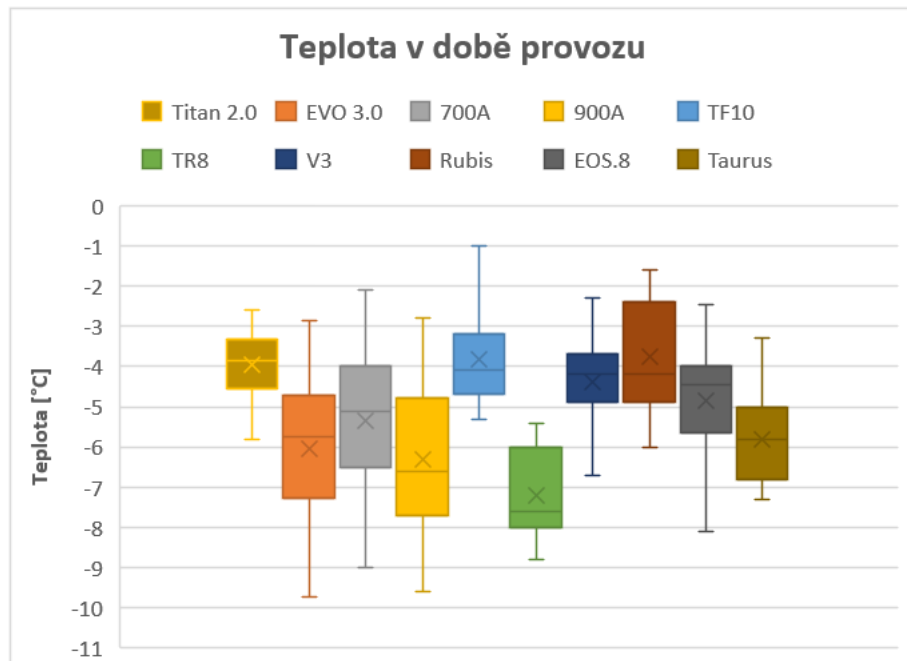


Obr. 18: Tyčové dělo Rubis (Jan Fořt, 2020)

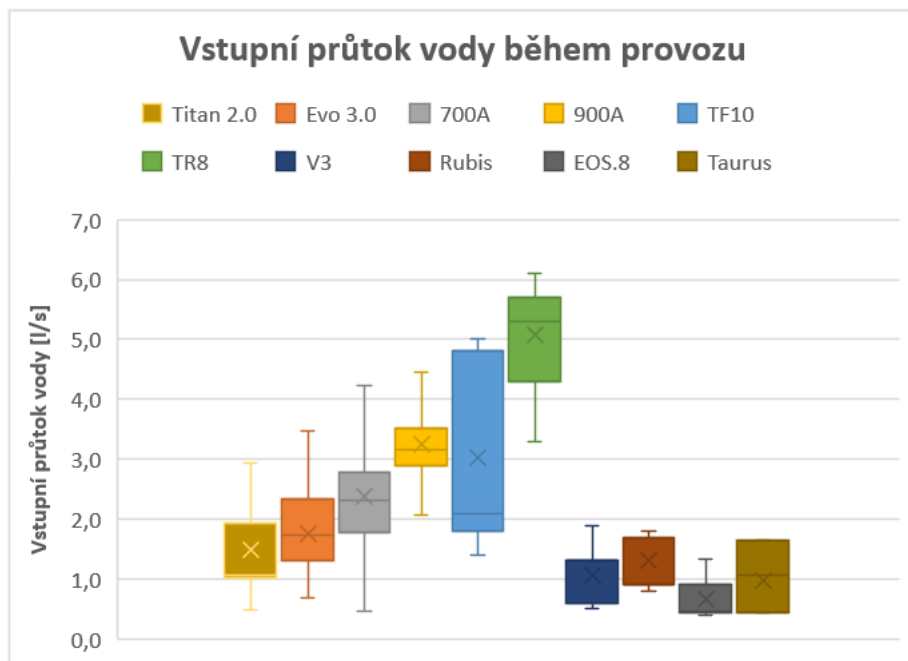
5.2 Výsledky testování sněžných děl ve Skiareálu Klínovec

V sezóně 2017/2018 byla ve Skiareálu Klínovec testovaná děla různých typů a výrobců, která se zde k zasněžování využívají. Jednalo se o děla ventilátorová i tyčová, u kterých byla v různých intervalech zaznamenávána aktuální teplota (Obr. 19) a vstupní průtok (Obr. 20).

Výsledky zpracované v krabicových grafech vyobrazují spodním a horním zobáčkem minimální a maximální hodnoty, dále pak křížkem hodnoty průměrné. Spodek krabice ukazuje dolní kvartil a vrchní hrana krabice kvartil horní.



Obr. 19: Krabicové grafy jednotlivých děl vyobrazující okolní teploty během testovacího provozu



Obr. 20: Krabicové grafy jednotlivých děl vyobrazující vstupní průtoky vody během testovacího provozu

Na základě teplotních záznamů z období 20. 11. až 20. 12. 2019 vyhodnocujeme teplotu -5 °C pro skiareál jako klíčovou. Při této teplotě se vysněžuje první, a

proto i nejdůležitější vrstva sjezdových tratí. Děla jsme posuzovali podle výkonu při této teplotě.

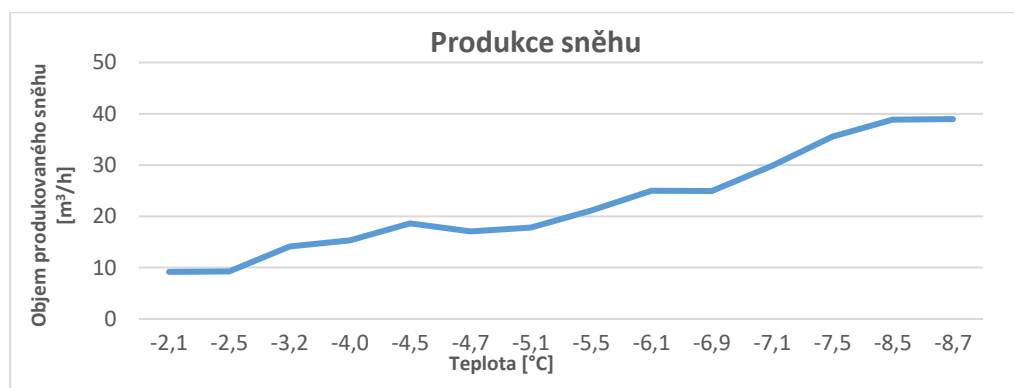
Za nejvhodnější lze považovat ventilátorové dělo TechnoAlpin TF10, které při 5 °C spolehlivě vyrábí 45 m² sněhu za hodinu. Z tyčových děl vybíráme TechnoAlpin V3 s produkcí sněhu 16 m³/h.

Děla ventilátorová

Supersnow 700

5.2.1 Toto dělo bylo testováno osm dní (od 27. 11. do 4. 12. 2019). Celková doba provozu byla 106 hodin, během kterých bylo po pěti minutách zapsáno 1277 datových záznamů. Dělo pracovalo při průměrné teplotě -5,35 °C (Obr. 19) a průměrném průtoku 2,37 l/s (Obr. 20). Během provozu tak průměrně produkovalo 21,33 m³ sněhu za hodinu.

Dělo vyrábělo sních již od teploty -2,1 °C (10 m³/h) a od -3 °C se produkce sněhu zvyšovala, s klesající teplotou až k -8,7 °C, téměř lineárně až na hodnotu 40 m³/h (Obr. 21).

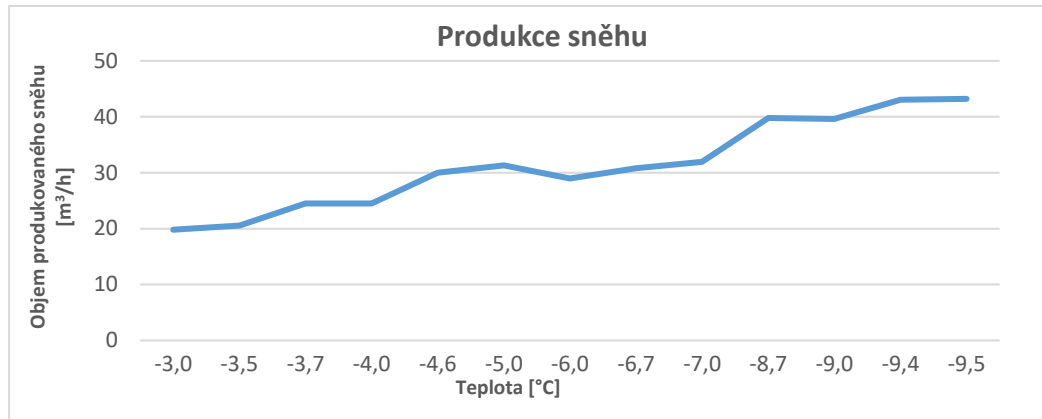


Obr. 21: Graf produkce sněhu děla Supersnow 700

Supersnow 900

Dělo bylo testováno během devíti dní a doba provozu činila 75,5 hodin. Bylo zapsáno 906 datových záznamů. Během doby testování byla průměrná teplota -6,31 °C (Obr. 19) a průměrný vstupní průtok 3,24 l/s (Obr. 20). Během provozu tak dělo průměrně produkovalo 29,16 m³ sněhu za hodinu.

Tento druhý výkonnější typ děla od firmy Supersnow má o 30 vodních trysek a 4 nukleační trysky více nežli typ 700. Dělo bylo schopné produkovat 20 m³ sněhu již při -3 °C, dále pak při -9,5 °C produkovalo 43 m³ (Obr. 22) . Znatelný rozdíl byl při teplotě okolo -5 °C, kdy produkovalo o 8 m³/h sněhu více.

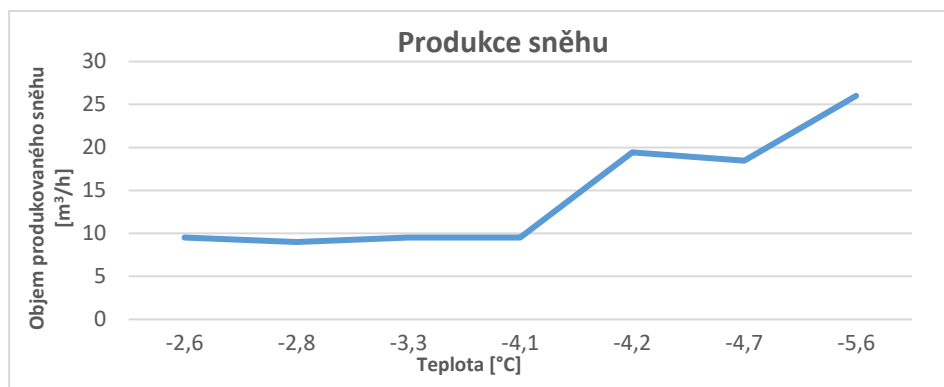


Obr. 22: : Graf produkce sněhu děla Supersnow 900

Demaclenko TITAN 2.0

Dělo bylo testováno tři dny a doba provozu činila 50,25 hodin. Bylo zaznamenáno 201 datových záznamů po patnácti minutách. Během doby testování byla průměrná teplota -3,94 °C (Obr. 19) a průměrný vstupní průtok 1,48 l/s (Obr. 20). Během provozu tak dělo průměrně produkovalo 13,32 m³ sněhu za hodinu.

Toto dělo konstantně produkovalo 10 m³/h od teploty -2,6 °C do -4,1 °C. Při změně -4,1 °C na - 5,6 °C se zvýšila produkce na 27 m³/h (Obr. 23).

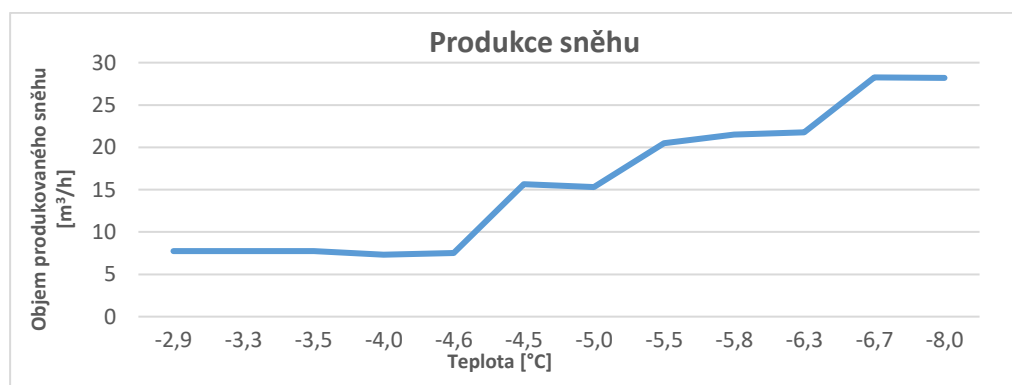


Obr. 23: Graf produkce sněhu děla Titan 2.0

Demaclenko EVO 3.0

Dělo bylo testováno po dobu čtrnácti dní, z toho v provozu bylo sedm dní, celková doba provozu činila 179 hodin. Bylo zaznamenáno 1075 datových záznamů po deseti minutách. Během doby testování byla naměřena průměrná teplota $-6,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obr. 19) a průměrný vstupní průtok byl $1,76\text{ l/s}$ (Obr. 20). Během provozu tak dělo průměrně produkovalo $15,84\text{ m}^3$ sněhu za hodinu.

Z Obr. 24 je patrné, že toto dělo, podobně jako typ TITAN od stejné firmy Demaclenko, mělo při teplotách od $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $-4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ dlouho konstantně stejnou produkci sněhu, a to pouze $7,7\text{ m}^3/\text{h}$. K nárůstu produkce došlo až od teplot blíží se $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při teplotě $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyrábělo $28\text{ m}^3/\text{h}$.

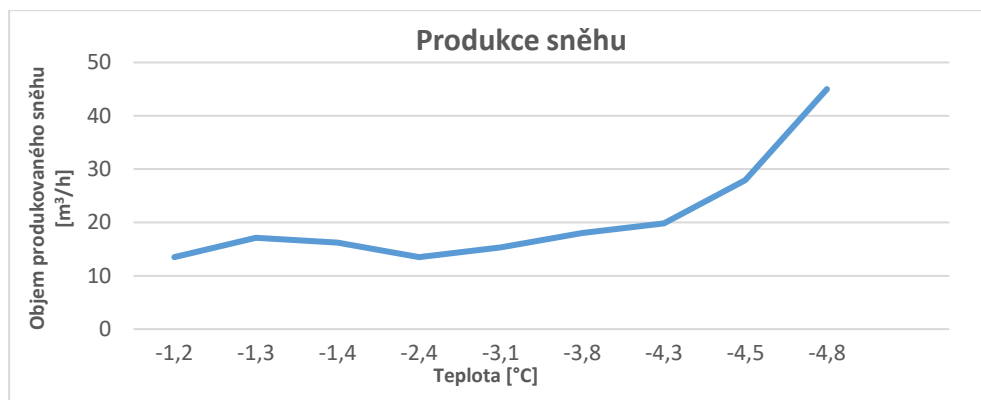


Obr. 24: Graf produkce sněhu děla Evo 3.0

TechnoAlpin TF10

Dělo bylo testováno čtyři dny, celková doba provozu činila 19 hodin. Bylo zaznamenáno 229 datových záznamů po pěti minutách. V době testování byla naměřena průměrná teplota $-3,82\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obr. 19) a průměrný vstupní průtok byl $3,01\text{ l/s}$ (Obr. 20). Během provozu tak dělo průměrně produkovalo $27,27\text{ m}^3$ sněhu za hodinu.

Toto dělo bylo schopné již při teplotách těsně přesahujících $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ produkovat objem sněhu okolo $15\text{ m}^3/\text{h}$ (Obr. 25). Při teplotách k $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dělo prokázalo produkci přes 45 m^3 sněhu za hodinu.

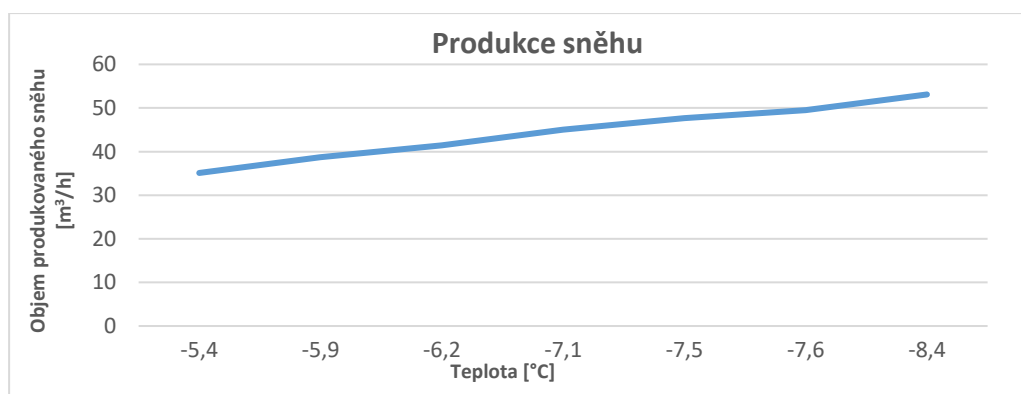


Obr. 25: Graf produkce sněhu děla TF10

TechnoAlpin TR8

Dělo bylo testováno dva dny, celková doba provozu činila 13,6 hodin. Bylo zaznamenáno 164 datových záznamů po pěti minutách. V době testování byla naměřena průměrná teplota $-7,22\text{ °C}$ (Obr. 19) a průměrný vstupní průtok byl $5,07\text{ l/s}$ (Obr. 20). Během provozu tak dělo průměrně produkovalo $45,63\text{ m}^3$ sněhu za hodinu.

Z Obr. 26 je patrná lineárně vzrůstající produkce sněhu od teploty $-5,4\text{ °C}$ až po $-8,4\text{ °C}$, kdy se výroba sněhu pohybuje od objemu $35\text{ m}^3/\text{h}$ až po $53\text{ m}^3/\text{h}$.



5.2.2

Obr. 26: Graf produkce sněhu děla TR8

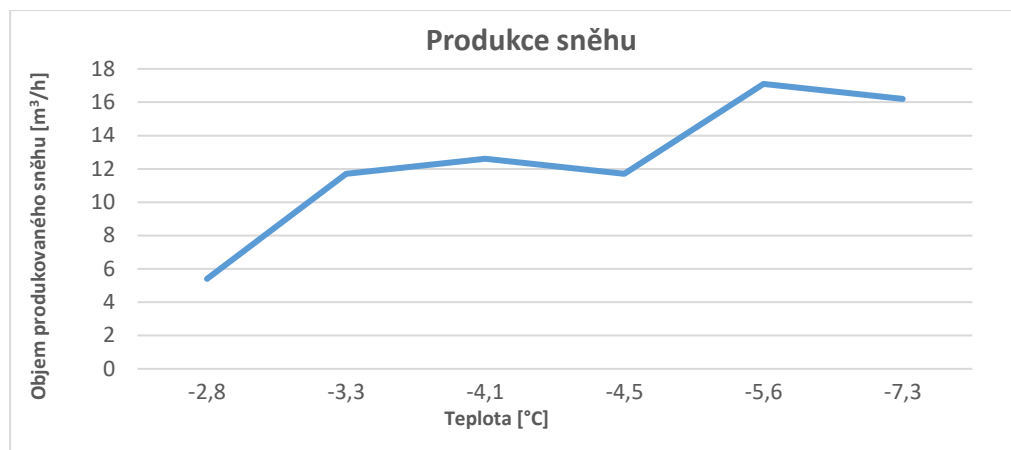
Děla tyčová

TechnoAlpin V3

Dělo bylo testováno sedm dní, celková doba provozu činila 115 hodin. Bylo zaznamenáno 1381 datových záznamů po pěti minutách. V době testování byla

naměřena průměrná teplota $-4,39\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obr. 19) a průměrný vstupní průtok byl $1,07\text{ l/s}$ (Obr. 20). Během provozu tak dělo průměrně produkovalo $9,63\text{ m}^3$ sněhu za hodinu.

Z Obr. 27 jsou patrné tři stupně nastavení provozu tohoto tyčového děla. Na první stupeň dělo pracovalo za teploty pod $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a produkovalo $5,5\text{ m}^3$ sněhu za hodinu. Při přechodu na druhý stupeň, tedy při zapnutí druhé nukleační trysky, docházelo za teploty okolo $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ke zvýšení produkce sněhu na $12\text{ m}^3/\text{h}$. Poslední - třetí nukleační tryska - byla spuštěna až při teplotě okolo $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, dělo tak produkovalo k 17 m^3 sněhu za hodinu.

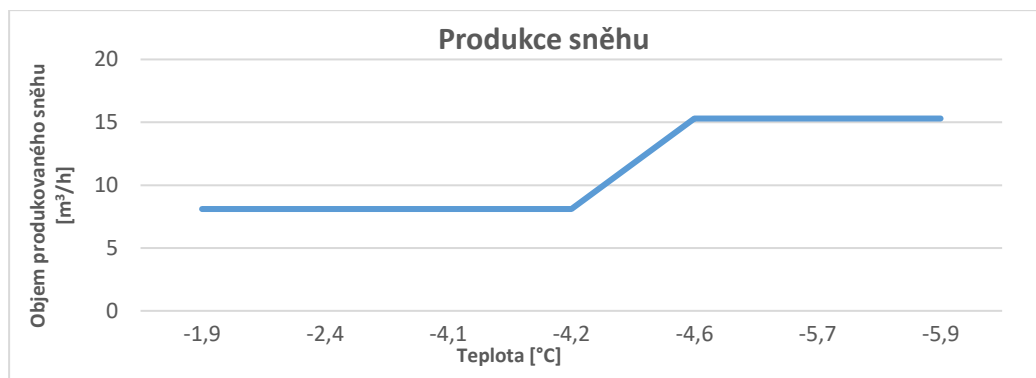


Obr. 27: Graf produkce sněhu děla V3

TechnoAlpin RUBIS

Dělo bylo testováno tři dny, celková doba provozu činila 27 hodin. Bylo zaznamenáno 323 datových záznamů po pěti minutách. V době testování byla naměřena průměrná teplota $-3,77\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obr. 19) a průměrný vstupní průtok byl $1,31\text{ l/s}$ (Obr. 20). Během provozu tak dělo průměrně produkovalo $11,79\text{ m}^3$ sněhu za hodinu.

Během doby provozu se teplota pohybovala od $-1,6$ po $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obr. 29), při které byly pouštěny dva stupně vstupního průtoku děla, což činilo produkci 8 m^3 a $15,3\text{ m}^3$ sněhu za hodinu. Hraniční teplota mezi těmito stupni byla cca $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obr. 28).

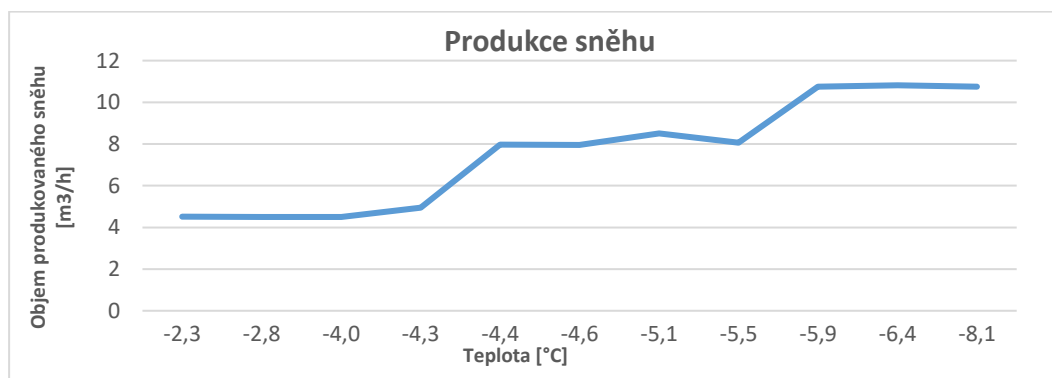


Obr. 28: Graf produkce sněhu děla Rubis

Demaclenko EOS.8

Dělo bylo testováno pět dní, celková doba provozu činila 96 hodin. Bylo zaznamenáno 1150 datových záznamů po pěti minutách. V době testování byla naměřena průměrná teplota $-4,84$ °C (Obr. 19) a průměrný vstupní průtok byl $0,66$ l/s (Obr. 20). Během provozu tak dělo průměrně produkovalo $5,94$ m³ sněhu za hodinu.

Na Obr. 29 jsou patrné tři vstupní průtoková nastavení tyčového děla. V intervalu teploty do $-4,5$ °C dělo produkovalo sněh v objemu $4,5$ m³/h. Při teplotě $-5,5$ °C byla produkce sněhu již $8,5$ m³/h. Dále pak tyčové dělo produkovalo 11 m³/h sněhu při teplotě okolo -7 °C.



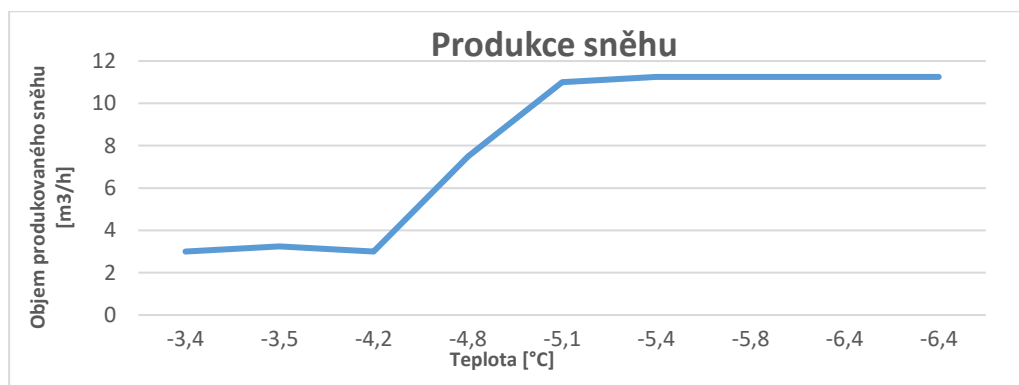
Obr. 29: Graf produkce sněhu děla EOS.8

Sufag TAURUS

Dělo bylo testováno čtyři dny, celková doba provozu činila 24 hodin. Bylo zaznamenáno 143 datových záznamů po deseti minutách. V době testování byla

naměřena průměrná teplota $-5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obr. 19) a průměrný vstupní průtok byl $0,98\text{ l/s}$ (Obr. 20). Během provozu tak dělo průměrně produkovalo $8,82\text{ m}^3$ sněhu za hodinu.

Dělo během testování bylo v provozu od teploty $-3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $-6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, během kterých byly zaznamenány dva vstupní průtoky $0,44$ a $1,64\text{ l/s}$. Produkce sněhu v intervalu teploty do $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ tak byla skoro $4\text{ m}^3/\text{h}$, dále pak již přes $11\text{ m}^3/\text{h}$ (Obr. 30).



Obr. 30: *Graf produkce sněhu děla Taurus*

6. Diskuze

Díky nastudování klimatických map zobrazujících počasí v daném regionu lze určit dny, kdy teploty výrazně klesají a jsou optimální pro plánování výroby první vrstvy sněhu. Data z Meteoblue (viz příloha 2) potvrzují možnost vysněžení severní části Skiareálu Klínovec o rozloze sjezdových tratí 27 ha ve dnech 20. 11. 2019–20. 12. 2019. Reálně je možné uvažovat, že v tomto časovém úseku (20. 11. 2019–20. 12. 2019) budou sněžná děla moci pracovat cca 200 hodin při průměrné teplotě $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Severní svah má plochu $268\,000\text{ m}^2$, kterou vynásobíme potřebnou výškou sněhu před udusáním (tj. $0,4\text{ m}$), dostáváme tak $107\,200\text{ m}^3$ sněhu, který když vynásobíme koeficientem ztrát $1,3$, dostaneme $139\,360\text{ m}^3$ potřebného sněhu. Abychom vyprodukovali tento objem sněhu za zmiňovaný čas tyčovými děly typu V3, potřebovali bychom při jejich výkonu $12\text{ m}^3/\text{h}$ (viz výsledky) celkem 59 kusů. Při použití pouze ventilátorových děl TR8 by bylo zapotřebí kusů 20. Je jasné, že vhodná skladba počtu tyčových a ventilátorových děl je velice důležitá. Měla by se také zohledňovat šířka svahu, sklon svahu, směr proudění a síla větru.

Základním kamenem zasněžování je dostupný zdroj vody, který by měly zajišťovat retenční nádrže. Celková kapacita $75\,000\text{ m}^3$ retenčních nádrží ve Skiareálu Klínovec se aktuálně zdá být dostatečná. Důležité je rozmístění nádrží do více povodí. Nádrže tak nejsou např. závislé pouze na jednom vodním toku.

Retenční nádrže vybudované za účelem umělého zasněžování můžou být pro vodní režim během roku velkým přínosem. U všech retenčních nádrží, kterými vodní tok přímo protéká, se musí dodržovat minimální průtok odtoku, který stanoví vodoprávní úřad v rámci stavebního řízení daného vodního díla. To se v klínoveckém skiareálu týká nádrží 1 a 2 na severním svahu. Tyto retenční nádrže musí dodržovat minimální odtok i v době sucha, kdy je přítok do nádrží menší nežli stanovený minimální odtok. Retenční nádrže tak zabraňují vyschnutí daného toku. Když tedy uvažujeme, že v nádržích 1 a 2 máme k dispozici $40\,000\text{ m}^3$, výpočtem dostáváme, že můžeme vodní tok pod nádržemi (Bílá voda) posilovat průtokem 6 l/s po dobu 77 dní. K datu 15. 3. 2020 (již po sezónním vysněžení) byly retenční nádrže naplněné.

V alpských oblastech mají zasněžovací systémy na hydrologii velký vliv (Grünwald a Wolfsperger, 2019). Ve svých studiích Rixen a kol. (2011) uvádí, že ve dvou švýcarských obcích s lyžařskými středisky je spotřeba vody pro umělé zasněžování 21 až 36 % z celkové spotřeby vody. Dále pak Vanham a kol. (2008) dokonce vypočítali celkovou spotřebu vody pro umělé zasněžování v rakouském Kitzbühelu na 2,3 milionu m³ vody, což odpovídá více než 50 % spotřeby komunální vody.

Rád bych navázal ve své možné diplomové práci na analýzu Skiareálu Klínovec pravidelným monitoringem. Navrhoval bych sezónní měření průtoků na tocích. Skiareál Klínovec bych požádal o poskytnutí většího množství dat týkajících se umělého zasněžování, konkrétně o přesné parametry retenčních nádrží a množství odebírané vody z vodních toků.

7. Závěr

V posledních letech se stal Skiareál Klínovec pro lyžaře velmi populární. Už se nestává, že by lyžařská sezóna kdekoliv v České republice byla v provozu, zatímco Skiareál Klínovec by byl kvůli nedostatku sněhu zavřený. Ekonomický přínos důsledkem umělého zasněžování je ve skiareálu zcela jasný. Modernizace systému umělého zasněžování je tak patrná každým rokem. Největší zastoupení má ve skiareálu na Klínovci zasněžovací technika od firmy TechnoAlpin.

Z hlediska životního prostředí je při umělém zasněžování důležité nepřekračovat maximální povolený objem odběru vody z vodních toků. Retenční nádrže se stávají nejdůležitějším prvkem zasněžovacích systémů. Limitujícím prvkem při zasněžování je často právě nedostatek vodních zdrojů.

Technický sníh na sjezdovkách má jistý vliv na diverzitu fauny a flóry. Při aktuálních plochách sjezdových tratí se ale vliv nezdá být tak velký.

Během jarního tání technického sněhu vodu často znovu sbírají retenční nádrže. Toto tání nemá zásadní účinky na hydrologický režim.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

BALCAR, V., NAVRÁTIL, P. (2006): Význam, postavení a druhové složení porostů náhradních dřevin v Krušných horách. Lesnický výzkum v Krušných horách. Recenzovaný sborník z celostátní vědecké konference. Teplice: VÚLHM: 91–110.

BUŠEK O., Michálek J., 2004: Božídarské rašeliniště, Obec Boží Dar, 36 s.

ČIHAŘ, M., 2002: Naše hory. Ottovo nakladatelství. Praha, 279 s.

DE JONG, C., COLLINS, D., RANZI, R., 2006: Climate and Hydrology in Mountain Areas. Hoboken, NJ: Wiley, 338 s.

ERICKSEN, N., 1980: A Short History of Snowmaking, Ski Area Management, May: s. 70-71.

ERICKSEN, N., 1983: Snowmaking: The State of the Art. Ski Area Management, July: s. 32-38.

FLOUSEK, J., 2016: Vliv lyžování na horskou přírodu: shrnutí současných poznatků a stav v Krkonoších. Opera Corcontica 53: 15-60.

FLOUSEK, J., HARČARIK, J., 2009: Sjezdové lyžování a ochrana přírody. Ochrana přírody 6: 8-10.

FUKSA, J. K., 2016: Trvalá udržitelnost lyžování. Vodní hospodářství 66 (3): 22–23.

HAHN, F., 2004: Künstliche Beschneiung im Alpenraum: Ein Hintergrundbericht. CIPRA, Bretscha: 1-19.

HALL, F. A., 1934: Manufacturing Snow By Shaving. Canadian Ski Year Book, Montreal, 51 s.

KOCKOVÁ, J., 2011: Srovnání vegetace sjezdových tratí s umělým a přírodním sněhem v CHKO Bílé Karpaty a v CHKO Beskydy (online) [cit. 2020.15.01], dostupné z <<https://theses.cz/id/goun58/>>. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Jana Jersáková, Ph.D.

- TASCHNER, J., 2011: Kronika obce Loučná pod Klínovcem, město Loučná, 544 s.
- MAYER, M., STEIGER, R., TRAWOEGER, L., 2007: Snow reliability, snow-making and climate change in West-Austrian ski destinations. *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft*. 149: 157-180.
- MIKŠÍČEK, P., 2006: Znovuobjevené Krušnohoří. Nakladatelství Českého lesa, Domažlice, 402.
- NOVICKÝ O. a kol., 2009: Prognostická studie. Výzkumná zpráva, SVTI VÚV T. G. M., v. v. i., Praha: s. 1-30.
- NOVOTNÝ, L., 2009: Západní Krušnohoří. Pasek, Praha 2: Paseka, 60 s.
- PACCARD, P. (2010): Gestion durable de l'eau en montagne: Le cas de la production de neige en stations de sports d'hiver. Thèse de doctorat de géographie. Université de Savoie, Chambéry, 480 s.
- SLODIČÁK, M. a kol., 2008: Lesnické hospodaření v Krušných horách. Lesy České republiky, Hradec Králové, 480 s.
- ONDRÁČEK, Č., 2012: Severočeskou přírodou. Severočeské pobočky České botanické společnosti, Ústí nad Labem.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV, Brno, 73 s. + 5 map.
- RIXEN, C. a kol., 2011: Winter tourism and climate change in the Alps: An assessment of resource consumption, snow reliability and future snowmaking potential. *Mountain Research and Development* 31: 229-236.
- ROGERS, R. R., YAU, M. K., 2009: A short course in cloud physics. American Meteorological Society. Butterworth-Heinemann, Oxford, 304 s.
- SCOTT, D., McBOYLE, G., MILLS, B., 2003: Climate change and the skiing industry in southern Ontario (Canada): Exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation. *Climate Research* 23: 171-181.
- SHYKE, I., 1957: How Snow-Making Equipment Works. *Ski*, February: s. 32-33.

SLODIČÁK, J., NOVÁK, J., 2006: Lesnický výzkum v Krušných horách, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Výzkumná stanice Opočno, 367 s.

SOUKUP, V., DAVID, P., 2000: Průvodce po Čechách, Moravě, Slezsku. Krušné hory – západ. S&D, Praha, 136 s.

STRONG, A. M., DICKERT, C. A., BELL, R. T., 2002: Ski trail effects on a beetle (Coleoptera: Carabidae, Elateridae) community in Vermont. *Journal of Insect Conservation* 6: 149–159.

TREML, P., 2019: Dopad technického zasněžování na toky v Krkonoších. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* 4: 22-32.

UKICHIRO, N., 1954: *Snow Crystals: Natural and Artificial*. Harvard University Press, Harvard, 510 s.

Internetové zdroje

CORSINI, A., DELIBRA, G., SCIULLI, F., 2015: Design of next generation snow gun fans. 11th European Conference on Turbomachinery Fluid Dynamics and Thermodynamics (online) [cit. 2020.02.12], dostupné z <<https://1url.cz/Czavv>>.

DE JONG, C., COLLINS, D., RANZI, R., 2009: Mountain hydroclimatology and snow seasonality - Perspectives on climate impacts, snow seasonality and hydrological change in mountain environments (online) [cit. 2020.05.13], dostupné z <<https://doi.org/10.1002/hyp.7193>>.

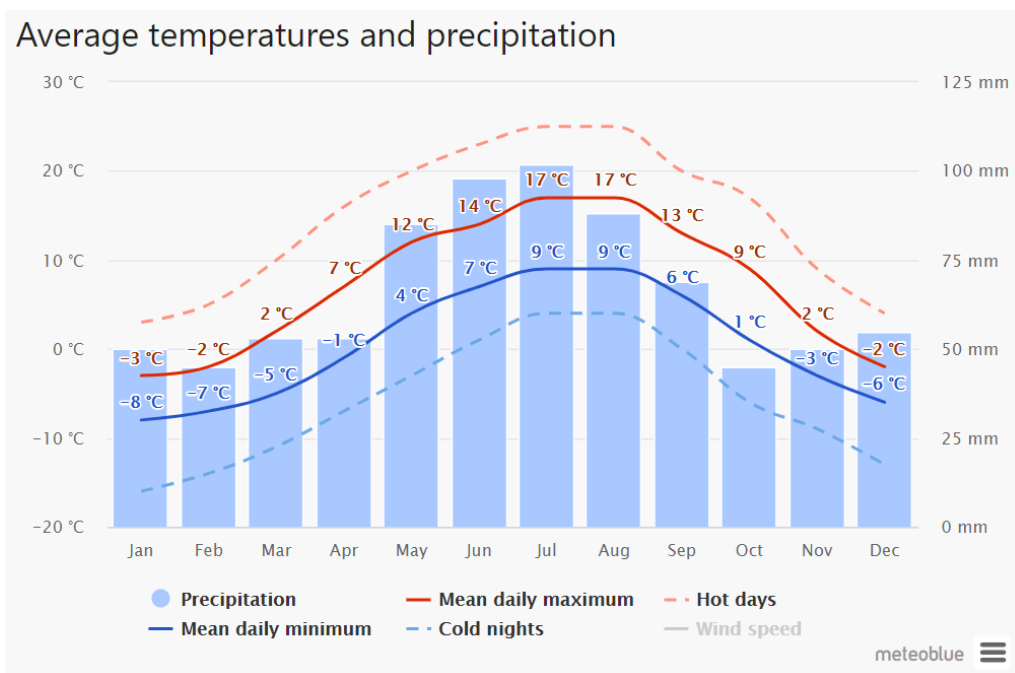
DEMACLENKO LTD, ©2020: Powerful snowmaking systems for international customers (online) [cit. 2020.02.28] Dostupné z <<https://www.demaclenko.com/en/information/index/1-0.html>>

FALK, M., VANAT, L., 2016: Gains from investments in snowmaking facilities. *Ecological Economics*. (online) [cit. 2020.02.28], dostupné z <<https://1url.cz/pzavF>>.

- GRÜNEWALD, T., WOLFSPERGER, F., 2019: Water Losses During Technical Snow Production: Results From Field Experiments (online) [cit. 2020.02.28], dostupné z <<https://1url.cz/Ozav3>>.
- LIBBRECHT, K., 2012: Toward a Comprehensive Model of Snow Crystal Growth Dynamics: 1. Overarching Features and Physical Origins (online) [cit. 2020-03-14], dostupné z <<https://1url.cz/Izav8>>.
- LOTTER, A. A KOL., 1997: A remote controlled freeze corer for sampling unconsolidated surface sediments. Aquatic Sciences (online) [cit. 2020.03.19], dostupné z <<https://1url.cz/ozavV>>.
- PLECHATÁ, J., 2019: V Krušných horách vznikne obří areál (online) [cit. 2020-01-12], dostupné z <<https://1url.cz/izaXG>>.
- NOVÝ SKIAREÁL KLÍNOVEC, ©2012: Tisková zpráva (online) [cit. 2020-01-12], dostupné z <<https://1url.cz/ozaXV>>.
- NOVÝ SKIAREÁL KLÍNOVEC, ©2019: Tisková zpráva (online) [cit. 2020-01-12], dostupné z <<https://1url.cz/BzaXk>>.
- ONTHE SNOW.CZ, ©2018: Informační portál o lyžařských střediscích (online) [cit. 2018-10-02], dostupné z <<http://www.aldr.cz/doc/onthesnow-terminy-zahajeni-zimni-sezony-201819-kdy-oteviraji-nejvetsi-evropska-lyzarska-strediska>>
- POLCER, R., 2018: Sedačková lanovka Jáchymov – Klínovec (online) [cit. 2020-01-12], dostupné z <<https://1url.cz/vzaXp>>.
- POLCER, R., 2019: V sobotu se otevře nová lanovka na Klínovci (online) [cit. 2020-01-12], dostupné z <<https://1url.cz/KzaXq>>.
- RIXEN, C., STÖCKLI, V., AMMANN, W. J., 2003: Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? (online) [cit. 2020.03.01], dostupné z <<https://1url.cz/7zavj>>.
- RIXEN, C., 2013: Skiing and vegetation (online) [cit. 2020.02.12], dostupné z <<https://1url.cz/czavS>>.

- SUFAG, ©2020: Fan gun (online) [cit. 2020-01-12], dostupné z <<http://www.sufag.com/en/products/>>
- SUPERSNOW, ©2019: Technology that cares for snow (online) [cit. 2020.02.12], dostupné z <<https://www.supersnow.com/>>
- SNOW.CZ, ©2020: Portál pro sjezdové lyžování (online) [cit. 2019-12-20], dostupné z <<https://snow.cz>>.
- SPANDRE, P. a kol., 2017: Determination of snowmaking efficiency on a ski slope from observations and modelling of snowmaking events and seasonal snow accumulation (online) [cit. 2020.02.12], dostupné z <<https://1url.cz/OzavO>>.
- STARÝ, P., 2018: Češi zimní sporty milují, ale nesmí být moc drahé a namáhavé (online) [cit. 2020-03-16], dostupné z <<https://1url.cz/Czavb>>.
- STEIGER, R., 2008: Snowmaking and Climate Change (online) [cit. 2020-02-16], dostupné z <<https://1url.cz/BzavP>>.
- ŠORFA J., 2001: Celý Klínovec lze vysněžit uměle (online) [cit. 2020-01-12], dostupné z <<https://1url.cz/IzaXs>>.
- VANAT, L., 2015: International report on snow and mountain tourism (online) [cit. 2020.02.12], dostupné z <<https://1url.cz/2zav0>>.
- TECHNOALPIN ©2018, Snow guns for extensive snow coverage (online) [cit. 2020.02.12], dostupné z <<https://www.technoalpin.com/en/snow-making/fan-guns/tf10.html>>
- TZBINFO, ©2020: Součinitel tepelné vodivosti sněhu. (online) [cit. 2019-12-20], dostupné z <<https://1url.cz/ezaXC>>.
- ZÁHOROVÁ, V., (2004): Chlazení trochu jinak- výroba technického sněhu (online) [cit. 2020-02-10], dostupné z <<https://1url.cz/7zaXe>>.
- ZEZULA, P., 2011: Historie výroby (technického) umělého sněhu část II. (online) [cit. 2020-02-10], dostupné z <<https://1url.cz/Kzav7>>.

ZEZULA, P., 2012: Historie výroby (technického) umělého sněhu (online) [cit. 2020-02-10], dostupné z <<https://1url.cz/nzaXL>>.



Příloha 2: Průměrné teploty a srážky na Klínovci (zdroj: <https://1url.cz/NzaX4>)



Příloha 3: Retenční nádrž č. 3 (Jan Fořt, 2020)



Příloha 4: Sdružený objekt na retenční nádrži č. 2 (Jan Fořt, 2020)



Příloha 5: Ventilátorové sněžné dělo TR8 (Jan Fořt, 2020)



Příloha 6: Tyčové dělo typu V3 na severním svahu Klínovce (Jan Fořt, 2020)