

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



**Hydrologická studie horního toku Labe**

**Bakalářská práce**

**Vedoucí práce: Ing. Václav Hradilek**

**Autor: Radek Vich**

**Praha 2016**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Radek Vich

Územní technická a správní služba

Název práce

**Hydrologická studie horního toku Labe**

Název anglicky

**Hydrological study of upper part of Labe river**

---

### Cíle práce

Sumarizace hydrologických dat a jejich vývoj při postupném stupňování zásahu člověka do horského povodí. Popis chování povodí při extenzivně se rozvíjejícím umělém zasněžování lyžařských tratí.

### Metodika

Bakalářská práce bude zpracována formou studie v členění kapitol dle "Metodických pokynů pro zpracování bakalářské práce FŽP ČZU". Rešeršní část bude zpracována z dostupných odborných publikací, internetových zdrojů. Výsledkem bakalářské práce bude sumarizace hydrologických dat a jejich vývoj při postupném stupňování zásahu člověka do horského povodí. Bude srovnána hydrologická bilance v.n.Labská z dostupných dat v závislosti na změn v nakládání s povrchovými vodami, konkrétně s narůstajícím zasněžováním na sjezdových tratích.

## Doporučený rozsah práce

30 stran

## Klíčová slova

hydrologická bilance, srážky, horská povodí, umělé zasněžování

---

## Doporučené zdroje informací

Broža V., Satrapa L., Sakař K., Bláha J., Báča V. a kol. – Povodí Vltavy, Vít P., Maníček J., Bíza P., Jílek M., Kopřivová J., Sakař K., Vinklát P., 2005: Přehradý Čech, Moravy a Slezka. Knihy 555, Liberec  
HRÁDEK, František a Petr KUŘÍK. Hydrologie. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Lesnická fakulta ve vydavatelství Credit, 2002, 271 s. ISBN 80-213-0950-4.  
Němec Jan, 1953-, Hladný, Josef, 1932-. Voda v České republice. editoři Jan Němec, Josef Hladný ; Akvarely Karel Kubíček. Praha : Consult, 2006. 253 s.: barev.il., mapy. ISBN 80-903482-1-1.  
Šámalová, Zlata. Labe v Krkonoších: U pramene třetí největší řeky střední Evropy. Zlata Šámalová. Hradec Králové: Povodí Labe, státní podnik, 2014. 32 s.  
Štursa, Jan, Prameny Labe : průvodce přírodovědnou naučnou stezkou. Jan Štursa ; Ilustrátor Věra Ničová. Vrchlabí : Správa Krkonošského národního parku, 1977. [120] s.  
Štursa, Jan. Voda v Krkonoších. Jan Štursa; Ilustrátor Renata Oppeltová. Vrchlabí: Správa Krkonošského národního parku; Ministerstvo životního prostředí Praha, 2009. 32 s. ISBN 978-80-86418-68-1.  
Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách

---

## Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

## Vedoucí práce

Ing. Václav Hradilek

## Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 12. 2. 2016

**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 17. 2. 2016

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 11. 04. 2016

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Václava Hradilka. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne 31.3. 2016

.....

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. Václavu Hradilkovi za odborné rady a vedení při zpracování bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá sumarizací hydrologických dat horního toku řeky Labe od pramene po přehradu Labská ve Špindlerově Mlýně. Zachycuje vývoj dat při stále se zvyšujícím zásahu člověka do horského povodí. Obsahuje obecnou i hydrologickou charakteristiku předmětného území. Popisuje vývoj odběru povrchových vod pro zasněžování v závislosti na teplotě a množství srážek.

Vybraná část povodí se převážnou částí nachází v Královéhradeckém kraji v okrese Trutnov. Okrajově zasahuje do kraje Libereckého, okresu Semily. V řešeném území byla postavena vodní nádrž Labská, která z hydrologického hlediska značně ovlivňuje území.

Přínosem práce je zhodnocení vývoje vodního režimu ve vybraném území v závislosti na srážkové činnosti a odběrech vody pro zasněžování sjezdových tratí.

## **Abstract**

This thesis deals with hydrological data summarization upper reaches of the river Elbe from the source to the dam Elbe in Spindleruv Mlyn. It shows the evolution of data at ever-increasing human intervention in mountain watersheds. It contains both general and hydrological characteristics of the area. It describes the development of surface water for snow depending on temperature and rainfall.

The selected part of the basin most of the Hradec Králové region located in the district of Trutnov. Marginally intervenes in the Liberec region, Semily district. In the investigated area was built dam Elbe, which from a hydrological perspective greatly influences the area.

The benefit of the work is to evaluate the development of the water regime in selected areas depending on rainfall and water withdrawals for snow slopes.

## **Klíčová slova**

hydrologická bilance, srážky, horská povodí, umělé zasněžování

## **Key words**

hydrological balance, precipitation, mountain basin, artificial snow

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíle.....	10
3. Literární rešerše .....	11
3.1. Hydrologická bilance.....	11
3.1.1. Srážky .....	11
3.1.2. Povodí .....	12
3.1.3. Výpar .....	15
3.2. Sníh a technické zasněžování .....	18
3.2.1. Sněhová pokrývka .....	18
3.2.2. Přírodní sníh.....	20
3.2.3. Historie technického zasněžování.....	20
3.2.4. Technický sníh.....	21
3.2.5. Výroba technického sněhu.....	22
3.2.6. Vlivy technického zasněžování na hydrologii .....	24
3.2.7. Polemika o technickém zasněžování .....	25
3.2.8. Problematika technického zasněžování v Alpách .....	27
4. Popis zájmového území.....	28
4.1. Geografická poloha zájmového území.....	28
4.2. Hydrologie .....	30
4.3. Sněhové poměry .....	31
4.4. Geologie a geomorfologie.....	32
4.5. Druhy pozemků .....	33
5. Metodika.....	34
5.1. Metodika zpracování dat.....	34
5.2. Sběr dat.....	35
6. Výsledky .....	37
6.1. Výpočty.....	37
6.1.1. Výpočet hydrologické bilance povodí horního toku Labe s uzávěrovým profiem vodní nádrž Labská .....	37

6.1.2. Výpočet hydrologické bilance vodní nádrže Labská.....	38
6.1.3. Výpočet průměrného odběru vody a spadlého množství vody na 1m <sup>2</sup> při technickém zasněžování .....	38
6.2. Vyhodnocení .....	39
6.3. Tabulky.....	39
6.4. Grafy .....	43
7. Diskuze.....	46
7.1. Shrnutí.....	46
7.2. Návrh doporučených změn.....	47
8. Přehled literatury a použitých zdrojů .....	48
9. Seznam obrázků.....	51
10. Seznam tabulek.....	51
11. Seznam grafů .....	51
12. Seznam rovnic.....	52



## **1. Úvod**

Povodí horního toku Labe patří mezi nejvýznamnější hydrologickou oblast našeho nejvyššího pohoří Krkonoš i celé České republiky. Zvláštní význam tohoto horského povodí je již vyzdvihnuto číslem hydrologického povodí 1-01-01-001, které označuje zdrojové povodí největší české říční soustavy.

Vlivem příchodu teplejších zimních období a celkově roků chudých na vláhu v posledních několika letech, dochází k absenci dostatečné sněhové pokrývky pro lidi velmi oblíbené sjezdové lyžování. Díky tomu dochází k masivnímu rozvoji technického zasněžování. Tento trend spolu nese mnohá rizika nejen v celkové hydrologii povodí, ale i v ochraně přírody a dalších složkách životního prostředí.

Tato bakalářská práce je hydrologického charakteru a zaměřuje se na vliv technického zasněžování na hydrologii horního toku Labe. Porovnává odtokové poměry z povodí v posledních osmnácti letech při stále větších nárocích ski areálů na odběr vody pro technické zasněžování.

## **2. Cíle**

Tato bakalářská práce má za cíl provést sumarizaci hydrologických dat a ukázat jejich vývoj při stále intenzivnějším zásahu člověka do povodí Labe s uzávěrovým profilem na Labské přehradě ve Špindlerově Mlýně. Zejména si klade za cíl zjištění vlivu technického zasněžování, které je v dané lokalitě velmi důležitým článkem spojeným s místní ekonomikou zaměřenou na sjezdové lyžování.

### 3. Literární rešerše

#### 3.1. Hydrologická bilance

Obsahem hydrologické bilance povrchové a podzemní vody je porovnání úbytků a přírůstků vody včetně vyhodnocení změn vodních zásob v povodí, ve vodním útvaru nebo v území za daný časový interval. Do přírůstků vody se započítávají atmosférické srážky a přítoky vody z dalších povodí (povrchovými, podzemními či umělými převody). Do úbytků vody se započítávají zejména výpar (evaporace) a odtok vody z předmětného povodí (povrchový, podzemní a umělé převody). Hydrologické bilance množství vody se sestavují každý rok pro jednotlivá povodí jako hodnocení minulého hydrologického roku. Výpočty se provádějí měsíčně. Jednou za tři roky se posuzuje dlouhodobý vývoj hydrologické bilance množství vody. (*Ministerstvo zemědělství, 2001*)

Užívání povrchových a podzemních vod upravuje zákon č. 254/2001 Sb. (ve znění pozdějších předpisů), vodní zákon. Pro všechny činnosti využívající povrchové a podzemní vody v rámci Vodního zákona se používá pojem nakládání s povrchovými a podzemními vodami. Jedná se především o odběry a vypouštění vod, vzdouvání a akumulaci vod, využívání energetického potenciálu vody, chov ryb a další. (*Němec, Hladný 2006*).

##### 3.1.1. Srážky

Jsou výsledkem kondenzace nebo desublimace vodní páry v ovzduší, na povrchu území, předmětů a rostlin. Kondenzace je změna skupenství vody v ovzduší z plynného na kapalné. Desublimace (opak sublimace) je změna skupenství vody v ovzduší z plynného přímo na pevné. Podle místa vzniku rozdělujeme srážky na atmosférické, vznikající volně v atmosféře a horizontální vznikající na povrchu předmětů rostlin. Oba druhy srážek mohou být v kapalném i pevném skupenství (tabulka 1). Podmínkou ke kondenzaci nebo desublimaci vodní páry je existence kondenzačních nebo desublimačních jader, která jsou obklopena vzduchem nasycené vodní párou.

Srážky	Podle místa vzniku a případného pohybu	
	<i>atmosférické</i>	<i>usazené, horizontální</i>
<b>kapalné</b>	* déšť mrholení	rosa * usazené kapičky z mlhy nebo mraků
<b>smíšené</b>	* déšť se sněhem * déšť s kroupami, aj.	pohybujících se po terénu, „vyčesávání mraků“

<b>pevné</b>	* sníh *sněhové krupky a krupice *zmrzlý déšť (krupky) * kroupy	zmrzlá rosa; jíní jinovatka, zrnitá námraza, průsvitná námraza ledovka
<b>poznámka</b>	vznikají na kondenzačních jádrech v atmosféře, vznášejí se nebo vypadávají z oblaků nebo mlhy	vznikají na povrchu terénu, rostlin a předmětů, nepohyblivé

Tabulka 1: Rozdělení srážek (Hrádek a Kuřík 2002)

V České republice jsou většinou významné jen srážky atmosférické, pouze v horských povodích (o jednom z nich pojednává tato bakalářská práce) se k nim přidružují horizontální srážky usazené z mlhy a z mraků pohybujících se po terénu. Ostatní druhy přinášejí pouze méně významná množství vody.

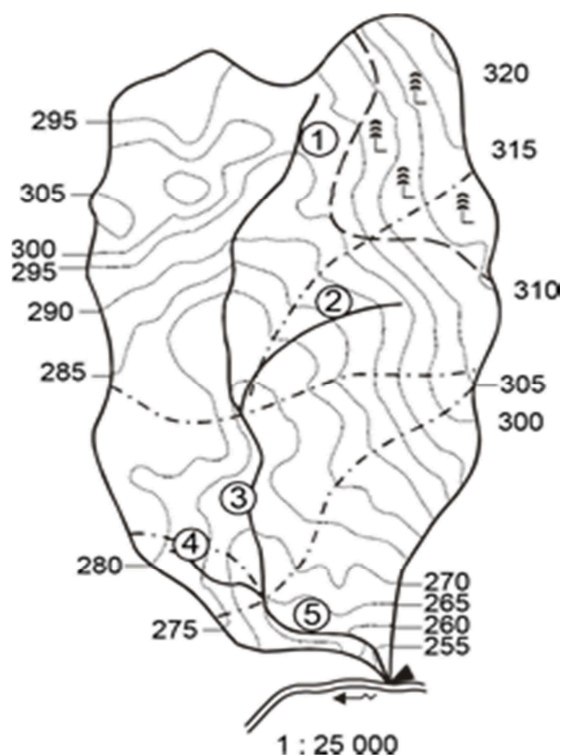
Objem srážek – S je celkový objem vody ze srážek spadlých za určité období na danou plochu. Vyjadřuje se v  $[m^3]$ .

Úhrn srážek -  $H_S$  je výška vrstvy ze spadlých srážek vody za určité období (hodina, den, měsíc, vegetační období, rok, apod.) na daném místě (měřená ve srážkoměrné stanici). Vyjadřuje se v  $[mm]$ . ( $1\text{ mm} = 1\text{ l} \cdot m^2 = 1\ 000\text{ m}^3 \cdot km^2$ ).

Průměrná výška srážek na povodí -  $H_S$  je průměrná tloušťka vrstvy vody ze spadlých srážek na povodí (tloušťka vrstvy na celé ploše povodí je stejná) za určité časové období. Vyjadřuje se v  $[mm]$ . Je definována jako podíl objemu srážek S a plochy povodí. (Hrádek a Kuřík 2002)

### 3.1.2. Povodí

Je základní hydrologická oblast, kde zkoumáme odtokový proces a zjišťujeme vzájemný vztah bilančních prvků. Je to území po hydrologické stránce uzavřené, nepřitéká do něj žádná voda po povrchu ani pod povrchem a je ohraničeno rozvodnicí (obrázek 1). Spadlé srážky v povodí vyvolávají odtok, který zjišťujeme v uzavírajícím profilu povodí. V této bakalářské práci počítáme s uzavěrovým profilem na hrázi vodní nádrže Labská ve Špindlerově Mlýně. Do tohoto profilu se dostává voda povrchovým i podpovrchovým odtokem. Povodí povrchových vod je ohraničeno orografickou rozvodnicí, na rozdíl od vod podpovrchových, které jsou ohraničeny rozvodnicí hydrogeologickou. V praxi se většinou zjišťuje pouze průběh orografické rozvodnice, pomyslné čáry v terénu, značící hranici mezi povodími.



Plocha povodí se značí písmenem  $F$  a udává se v  $\text{km}^2$ . Je to plocha půdorysného průmětu povodí do vodorovné roviny. Stanoví se pomocí planimetrování většinou z map v měřítku 1 : 25 000. U velmi malých povodí se doporučuje ověření vykreslené rozvodnice pochůzkou v terénu, jelikož často dochází k nepřesnostem v důsledku umělých zásahů do povodí, která nejsou zanesena do map. Rozvodnice se vykresluje v topografické mapě, probíhá po hřebenech, sedlech, vrcholech a ostatních nejvyšších topografických útvarech.

Obrázek 1: Povodí (Hrádek a Kuřík 2002)

Povodí je určeno jednoznačně daným uzavírajícím profilem na toku, ke kterému se rozvodnice vykresluje. Při vykreslování rozvodnice se postupuje od uzavírajícího profilu povodí jedním směrem. (Hrádek a Kuřík 2002). Voda z povodí náleží do úmoří, což je území, z něhož všechny toky tečou do jednoho moře. (Flousek a kol. 2007) Tvar povodí patří mezi charakteristiky ovlivňující dobu, za kterou se soustředí voda z celé plochy povodí v uzavírajícím profilu povodí. Nejpoužívanější charakteristikou tvaru povodí je součinitel tvaru povodí  $\alpha$ , vyjadřující poměr mezi střední šířkou povodí  $B$  a délkou údolnice  $L_u$ .

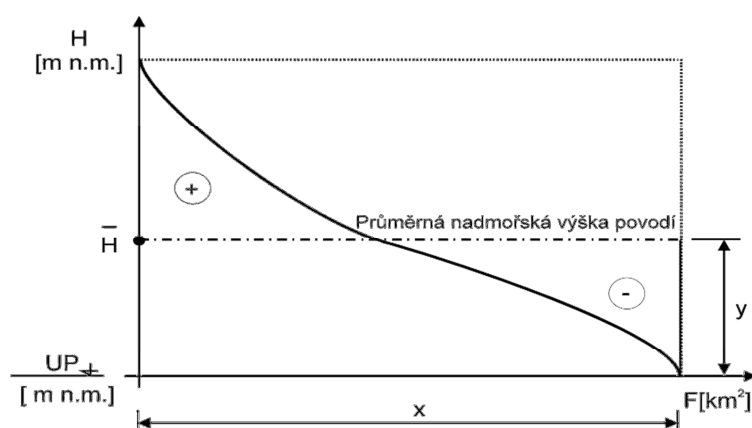
$$\alpha = \frac{B}{L_u}$$

Rovnice 1: Součinitel tvaru povodí

Povodí bývá většinou nejširší ve své střední části, směrem k prameništi se postupně zužuje. Velmi malá povodí, mají často tvar vzniklý umělým zásahem. (Hrádek a Kuřík 2002)

V případě řešeného povodí Horního Labe je součinitel tvaru povodí  $\alpha = \frac{5,5}{11,1} = 0,50$

Výškové poměry povodí znázorňuje hypsografická křivka - Obrázek 2. Udává závislost mezi zvolenou nadmořskou výškou a plochou povodí, na které je



nadmořská výška terénu stejná nebo vyšší než zvolená.

Obrázek 2: Hypsografická křivka (Hrádek a Kuřík 2002)

Jelikož se ve většině povodí nacházejí různé sklonové poměry, zjišťuje se jako charakteristika sklonu, střední sklon svahů v povodí. (Hrádek a Kuřík 2002). Spádem koryta se rozumí výškový rozdíl mezi dvěma místy na toku, udávaný v metrech. Sklon je poměr spádu a délky koryta toku, jednotkou je většinou promile. (Flousek a kol. 2007) Informativní charakteristikou sklonových poměrů je absolutní spád povodí  $\Delta H$ , který udává rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší kótou v povodí.

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min} \dots [\text{m}]$$

Rovnice 2: Spád povodí

V povodí Horního Labe je to rozdíl nadmořských výšek pramene Labe a Labskou přehradou.

$$\Delta H = 1386,3 - 657,16 = 729,14 \text{ m. (Štursa, Jan, 1977), (Hydrologické poměry Československé socialistické republiky 1967)}$$

Střední sklon svahů v povodí je často vyjadřován zjednodušeným vztahem:

$$I_{\text{sv}} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{F}} \cdot 100 [\%]$$

Rovnice 3: Sklon svahů

$H_{\max}$  - maximální nadmořská výška v povodí [m]

$H_{\min}$  - minimální nadmořská výška v povodí [m]

F - plocha povodí [m<sup>2</sup>]

$$I_{\text{sv}} = \frac{1386,3 - 657,16}{\sqrt{60680000}} \cdot 100 = 9,36 \% \text{ - střední sklon svahů v povodí Horního Labe}$$

### 3.1.3. Výpar

Výpar (evaporace) je proces, při kterém voda přechází z pevného nebo kapalného skupenství do plynného. Výpar je objem vody  $E$  [ $m^3$ ] nebo výška vrstvy vody  $H_E$  [mm] vypařené za určitý časový interval z určité plochy  $F_E$  [ $km^2$ ], z níž dochází k výparu. Vztah mezi objemem a výškou vypařené vrstvy vody vyjadřuje vzorec:

$$E = 1000 \cdot H_E \cdot F_E$$

*Rovnice 4: Objem vypařené vody*

Intenzita výparu se udává v mm za určité období (např. za minutu, den, měsíc, rok). Celkový roční výpar, jak uvádí Synáčková (2011), se dle výpočtů různých autorů rovná přibližně  $518,6 \cdot 10^3$   $km^3$ , množství vody obsažené v atmosféře je přibližně  $12,3 \cdot 10^3$   $km^3$ . Z toho vyplývá, že průměrně se musí každých 9 dní obsah par v atmosféře vyměnit. (Synáčková 2011)

Výpar vody v přírodě je stálým jevem. Proto vzduch vždy obsahuje určité, množství páry. Vlhkostí vzduchu se rozumí vodní páry, které vzduch obsahuje. Absolutní vlhkost definujeme jako hmotnost vodních par v gramech, obsažených v jednotce objemu ( $m^3$ ). Pro lepší vyjádření, jakou část z možného maximálního množství vlhkosti za určité teploty vzduch obsahuje, používáme pojem tzv. relativní vlhkost. (Synáčková 2011)

Podle charakteru ploch, z nichž dochází k výparu se rozlišují tyto druhy výparu:

- z volné vodní hladiny
- ze zarostlé vodní hladiny
- z holé půdy
- z půdy porostlé vegetací (evapotranspirace)
- transpirace rostlin

Všechny druhy výparu ovlivňují zejména klimatičtí činitelé (teplota, tlak, vlhkost a proudění vzduchu) a ostatní činitelé (plocha a tvar povrchu, vegetační kryt apod.), z něhož se voda vypařuje. (Hrádek a Kuřík 2002)

Podle druhu se dělí výpar na:

- Potenciální výpar  $E_p$  - při daných klimatických podmínkách největší možný výpar. V úvahu se berou činitelé jako je sluneční radiace, teplota vzduchu a povrchu, vlhkost vzduchu a proudění vzduchu. Naopak se nebere v úvahu množství vody na vypařujícím se povrchu.

- Reálný výpar  $E$  – skutečný výpar závislý na klimatických činitelích a množství vody na vypařujícím se povrchu. U výparu z volné hladiny nebo zamokřené půdy je roven potenciálnímu výparu.
- Klimatický výpar  $E_k$  – průměrný dlouhodobý výpar z povrchu povodí v určitých podmínkách za období 1 rok. Obsahuje všechny složky výparu. (Hrádek a Kuřík 2002)

Nepřímé odhady výparu z volné hladiny můžeme rozdělit do 4 skupin:

- Metody založené na energetické bilanci
- Metody založené na transportu hmoty
- Empirické vztahy vyjadřující závislost meteorologických prvků
- Bilance objemu vody nádrže nebo povodí (hydrologická bilance) (Hrádek a Kuřík 2002)

Tato bakalářská práce se zabývá poslední zmiňovanou skupinou - hydrologickou bilancí.

Základem tohoto výpočtu je bilanční rovnice nádrže a povodí:

$$E = S + P_p + P_z - O_p - O_z - \Delta W$$

(Rovnice 5: Bilanční rovnice nádrže a povodí)

$E$  – výpar (u nádrže) nebo evapotranspirace (u povodí)

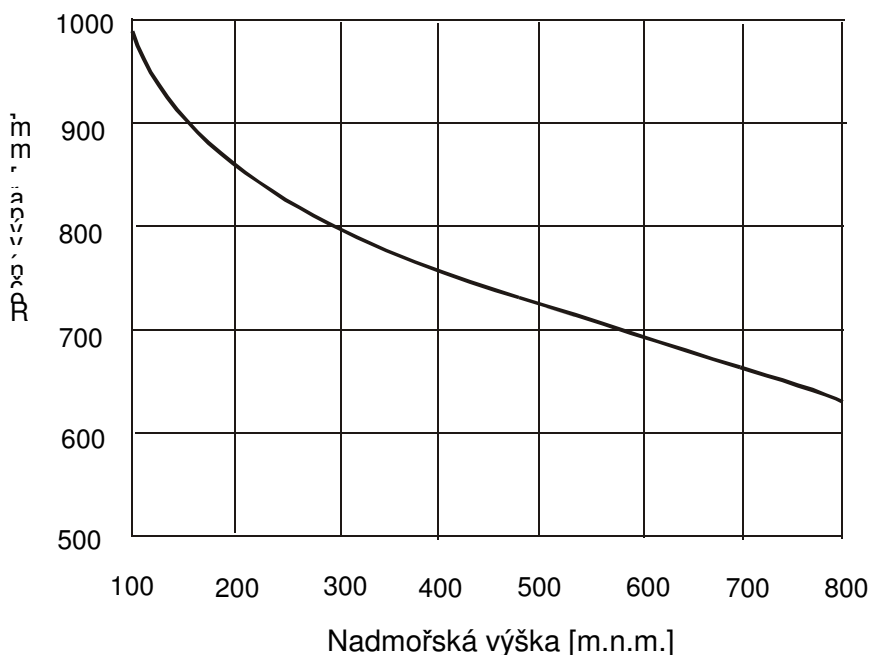
$P$  – přítok

$O$  – odtok

$\Delta W = W_1 - W_2$  – změna zásob vody

Všechny veličiny jsou ve shodných jednotkách objemu nebo výšky a platí pro stejné časové období. Pro povodí je  $P_p$  (povrchový přítok) roven 0. Zjištění veličin  $P_z$  (podzemní přítok),  $O_z$  (podzemní odtok) a  $\Delta W$  je v praxi složité, proto se s nimi často odhad ročního výparu z volné vodní hladiny v závislosti na nadmořské výšce udává (obrázek 3). (Hrádek a Kuřík 2002)





Obrázek 3: Orientační hodnoty výparu z volné vodní hladiny (Hrádek a Kuřík 2002)

Množství vypařené vody je závislé na teplotě a s tím souvisejícím obdobím v roce (tabulka 2).

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% roč. výparu	2	2	4	6	11	14,5	18	17	11,5	7	4	3

Tabulka 2: Přibližné rozdělení výparu na jednotlivé měsíce v roce. (Hrádek a Kuřík 2002)

Měření výparu z půdy uvádí ve své publikaci Jan Zavadil. Výpar z půdy se měří lysimetrem. Hmotnost přístroje před deštěm odečteme od hmotnosti přístroje po srážce vody. Rozdíl nám udává množství zachycené vody. Dalším vážením postupně zjišťujeme, kolik ze zachycené vody se odpařilo. (Jan Zavadil 1923)

Vegetační kryt povodí zadržuje určité množství srážek (intercepce). Ovlivňuje výpar z rostlin (evapotranspirace) a půdy, podle druhu vegetačního krytu má větší či menší vliv na rychlost plošného odtoku vody po svazích povodí. Intercepce rozumíme množství zadržené vody na rostlinách a předmětech v povodí. Jedná se o část srážek, které se nedostanou na povrch půdy. Intercepce lze vyjádřit vztahem:

$$I=A+E$$

(Rovnice 6: Intercepce)

I – intercepce

A – zadržaná voda na vegetaci a předmětech

E – vypařená voda z listové plochy předmětů

V bilanční rovnici vyjadřujeme intercepce většinou v milimetrech. Maximální množství zadržené vody na vegetačním krytu se nazývá potenciální intercepce. Podle poměrné velikosti listové plochy mají jehličnaté rostliny schopnost zadržet až 60% množství spadlého deště, listnáče přibližně 20%. (Hrádek a Kuřík 2002)

## 3.2. Sníh a technické zasněžování

### 3.2.1. Sněhová pokrývka

Sněhová pokrývka je vrstva sněhu, pokrývající povrch určitého území. Toto území ohraničuje sněhová čára, která leží na hranici mezi souvislou sněhovou pokrývkou a bez sněhové pokrývky. Výskyt sněhové pokrývky je závislý na nadmořské výšce, od určité nadmořské výšky se může vyskytovat sněhová pokrývka trvale. Spodní hranice této nadmořské výšky se označuje rovněž sněhová čára. Při výpočtu vodní bilance v povodí je objem vody akumulovaný ve sněhové pokrývce významnou složkou. Zásoba vody ve sněhové pokrývce je vrstva vody, která by vznikla roztáním sněhové pokrývky na předmětné ploše (povodí). Označuje se  $H_s$ , stejně jako průměrná výška deště na povodí. Zásoba vody ve sněhové pokrývce se odhaduje podle průměrné výšky sněhové pokrývky  $H_{sn}$  na předmětné ploše a vodní hodnoty sněhu:

$$H_s = H_{sn} \cdot s$$

(Rovnice 7: Zásoba vody ve sněhové pokrývce)

$H_s$  - zásoba vody ve sněhové pokrývce v mm

$H_{sn}$  - průměrná výška sněhové pokrývky na uvažované ploše

s - vodní hodnota sněhu ( $s = 0,1 - 0,4$ )

Výška sněhové pokrývky se měří sněhoměrnou latí. Spojnice míst se stejnou výškou sněhové pokrývky v daném čase nebo za určité časové období se nazývá izochiona. Výška sněhové pokrývky a vodní hodnota sněhu se zjišťuje v síti měrných bodů, které tvoří sněhoměrný snímek.

Sněhové srážky jsou významným zdrojem povrchové i podpovrchové vody pro zásobování pitnou vodou, v zemědělství, v průmyslu, v dopravě i energetice. Ve středních polohách České republiky se sněhová pokrývka vyskytuje téměř 6 měsíců v roce (listopad až duben) s průměrnou dobou trvání 35 až 70 dní, v horských oblastech až 8 měsíců v roce (říjen až duben) s průměrnou dobou trvání 100 - 200

dní. Tato skutečnost uvedená v publikaci *Hydrologie (Hrádek a Kuřík 2002)* již neodpovídá současnému průběhu zimních období. Během posledních let se ve středních polohách okolo 500 m.n.m. přírodní sněhová pokrývka udrží jen pár dní v roce. Sněhová pokrývka na povrchu půdy ovlivňuje fyzikální vlastnosti půd a rostlinný kryt povrchu. Obsah vzduchu ve sněhu způsobuje její sníženou tepelnou vodivost, sněhová pokrývka je tepelnou izolací a vysokým albedem zvyšuje intenzitu ultrafialového záření. Výměna tepla mezi sněhem a půdou je velmi malá, sněhová pokrývka zabraňuje promrzání půdy do větších hloubek a na jaře brání rychlému oteplování půdy. Tato skutečnost se liší u technického sněhu, který má větší objemovou hmotnost, tedy méně vzduchu obsaženého ve sněhu, který tvoří tepelnou izolaci. Vysoká hodnota albeda sněhové pokrývky v porovnání se sněhem nepokrytým povrchem způsobuje rozdíl v teplotním režimu těchto míst. *(Hrádek a Kuřík 2002)*

Rozložení sněhové pokrývky na území je závislé především na teplotních a srážkových poměrech území, závisí tedy na nadmořské výšce a zeměpisné poloze území. Velký vliv na sněhovou pokrývku má členitost území, hustota osídlení, lesnatost, rychlost a směr převládajících větrů. Les chrání sněhovou pokrývku před větrem, přímým slunečním zářením, snižuje výpar ze sněhové pokrývky a zpomaluje tání sněhu. Zásoby sněhu vzrůstají s nadmořskou výškou území, pokud je sněhová pokrývka chráněna před větrem, zejména lesem. Pro tvorbu zásob vody v povodí a roční cyklus odtoku mají v našich klimatických poměrech zimní srážky rozhodující význam. *(Hrádek a Kuřík 2002)*

Odtok vody ze sněhových zásob je nejvíce ovlivněn rychlostí tání v jarních měsících, které je závislé především na teplotě vzduchu. Výpočet odtoku ze sněhových zásob vychází z hodnoty teplotního faktoru. Teplotního faktor a je definován jako poměr výšky vrstvy vody vzniklé táním sněhu za 24 hodin k průměrné hodnotě kladných teplot vzduchu v tomto časovém intervalu.

Hodnota teplotního faktoru představuje odtékající část zásoby vody ve sněhové pokrývce. Z výsledků Buchtele - in Červený a kol. (1984) je patrné v tabulce 3, že rozdíly v hodnotách měsíčních odtokových výšek, odvozených modelem jsou velmi malé. *(Hrádek a Kuřík 2002)*

Charakter povrchu			Autor
Hustý les	Částečné zalesnění	Otevřené území	
1,7 - 1,8	3,0 - 4,0	5,0 - 5,2	Appolov
2,6 - 3,3	3,9 - 4,3	5,2	Brechtel
2,3	2,7 - 4,9	5,0 – 10	Corps of Eng. USA
-	-	4,2 - 7,2	Lang
-	-	4,2	Zingg
2	4	7	orientačně

Tabulka 3: Hodnoty teplotního faktoru  $ad$  [ $mm \cdot d^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ ] (Hrádek a Kuřík 2002)

Při odhadu odtokové výšky ze sněhových zásob při tání sněhu můžeme proto použít orientačních hodnot uvedených v tabulce 3, pokud nejsou pro dané území k dispozici přesnější údaje. Odtokové výšky z tajícího sněhu za 24 hod jsou průměrně 8 až 12 mm, hodnoty 15-20 mm se považují za vysoké a hodnoty 25-35 mm jsou již extrémní. (Hrádek a Kuřík 2002)

### 3.2.2. Přírodní sníh

Přírodní sníh je druhem pevných atmosférických srážek padajících na zemský povrch, většinou ve formě ledových krystalků. Čerstvě napadlý sníh má bílou barvu a dobře odráží sluneční svit, starší sníh je tmavší v důsledku jeho znečištění a změny struktury sněhových zrn. Podíl složek vody a vzduchu ve sněhu určuje jeho objemovou hmotnost. Je závislá na teplotě vzduchu při sněžení, fyzikálních vlastnostech povrchu, na který sníh padá. Výška vrstvy sněhu, teplota vzduchu, vítr, ale i antropogenní činnost ovlivňuje jeho ulehlost. (Hrádek a Kuřík 2002)

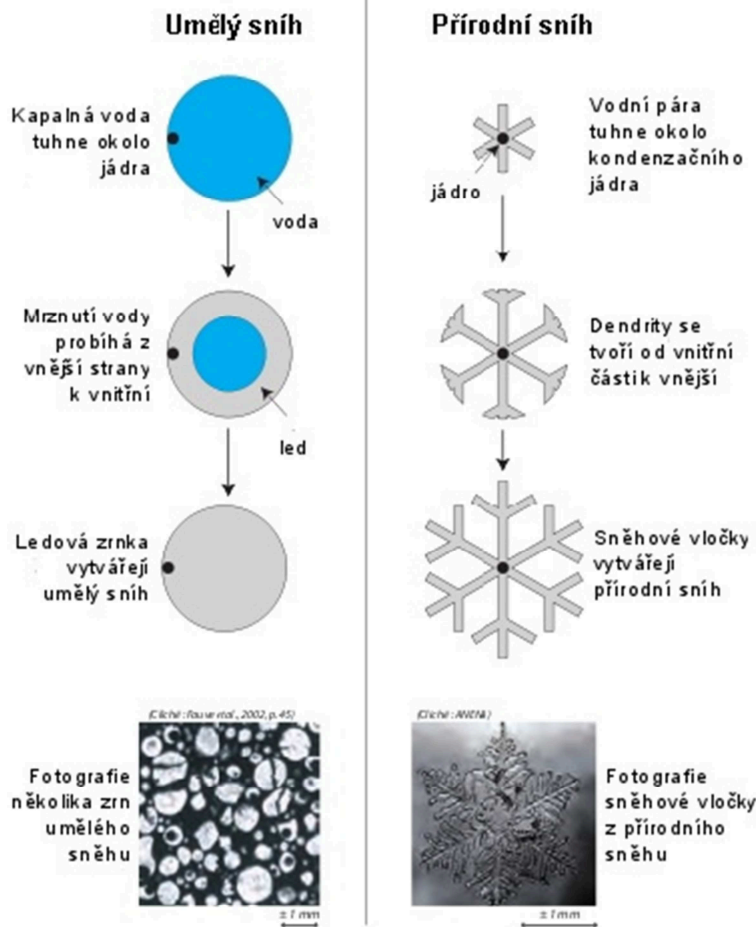
### 3.2.3. Historie technického zasněžování

Nejstarší zmínky o technickém zasněžování najdeme na Severoamerickém kontinentě. První technický sníh byl vyroben v Mohawk Mountain v Connecticutu v USA v roce 1947 (Jones, Devarenes, 1995) drcením ledu. Byla to velice pracná a nákladná výroba, přes to sníh nebyl nijak kvalitní. Další pokus o výrobu technického sněhu byl zaznamenán v roce 1950 v Bostonu (Paccard, 2010) bratry Tropeanovými, když postřikem vody chránili ovocné stromy proti mrazu, ale vlivem nízkých teplot dopadal na stromy technický sníh. V roce 1954 získal patent na výrobu technického sněhu a jeho distribuci Wayne Pierce. Systém zasněžování již měl prvky současných zasněžovacích systémů – čerpadla, rozvod vody a vzduchu,

trysky na rozprašování atd.). K rozvoji technického zasněžování docházelo nejprve v USA, postupně se objevilo v Evropě. Prvním místem bylo Champ de Feu na východě Francie v roce 1963. Postupnému rozvoji po celé Evropě docházelo především kvůli nezávislosti na přírodním sněhu. (*Paccard, 2010*). V České republice byl průkopníkem technického zasněžování profesor ČVUT Vladimír Chlumský, který v roce 1965 dovezl první sněžné dělo do Krušných hor a podle něho vyrobil další 3 kusy. (*Zezula, 2011*) Největší rozmach sněžných děl proběhl v posledním desetiletí.

#### **3.2.4. Technický sníh**

Technický sníh je druh sněhu, který vzniká lidskou činností. Tak jako přírodní sníh i technický sníh je složen z vody a vzduchu. Díky stále častějšímu nedostatku přírodního sněhu v zimním období postupně dochází k technickému zasněžování nejen sjezdových, ale i lyžařských běžeckých tratí. K jeho výrobě se používají sněžná děla. Občas se pro technický sníh nesprávně používá termín umělý sníh, nicméně termín umělý sníh správně označuje výrobek z plastu. I když je technický sníh vyráběn převážně jen z vody a vzduchu, může mít jeho využívání negativní ekologické dopady na životní prostředí. Technický sníh má rozdílné fyzikální i chemické složení, oproti přírodnímu sněhu. Porovnání struktury přírodního a technického sněhu nám ukazuje obrázek 4. Jedná se například o rozdílné pH, jelikož použitá voda na tvorbu sněhu nemusí mít shodné pH s vodou srážkovou. Používaná voda je většinou zásaditější oproti kyseljším srážkám. Ve snaze dosáhnout lepší kondenzace technického sněhu se často do jeho vzniku přidává dusičnan amonný či bakterie, což způsobuje eutrofizaci v dané oblasti. Současně vlivem zvýšené tepelné vodivosti způsobuje akumulace technického sněhu promrzání půdy a tím změnu ve fenologii rostlin. Používání technického sněhu na lokalitě ve výsledku může měnit druhovou skladbu, která není pro danou oblast charakteristická. (*Přispěvatelé wikipedie 2016*).



Obrázek 4: Struktura přírodního a technického sněhu (Paccard, 2010, upraveno)

### 3.2.5. Výroba technického sněhu

Výroba technického sněhu je pro lyžařské areály neodmyslitelnou činností, bez které by nebylo možné pro 90% areálů podnikat ve sjezdovém lyžování. V současné době se neustále zvyšují požadavky na kvalitu úpravy sjezdových tratí a s tím spojenou kvalitu a množství sněhu. Díky stále teplejšímu průběhu posledních zim se již lyžařské areály neobejdou bez technicky zasněžovaných sjezdových tratí. Proto dochází k masivnímu nárůstu zasněžovacích děl a nutné infrastruktury k tomu potřebné. Do této infrastruktury patří distribuční síť pro rozvod vody a vzduchu na cele zasněžované ploše, měřicí přístroje pro kontrolu průběžných zasněžovacích podmínek (tlak, průtok, teplota), strojovny, ale i zásobárny vody, což většinou představují přehrady, řeky, drobné toky a retenční nádrže.

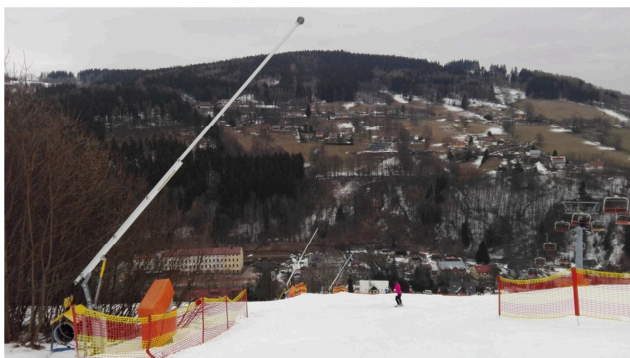
Vzniká rozprašováním vody do vzduchu. Při expanzi tlakové vody a stlačeného vzduchu do volného prostoru se při dostatečně nízké teplotě a při jeho rozpínání

vzduch ochladí. Z vody vznikne jádro ledového krystalku na něž se cestou od trysky sněžného děla na zem při mrznutí nabalují další kapičky vody a vznikne tak krystal technického sněhu. Celý proces výroby technického sněhu je závislý nejen na teplotě vzduchu a vody, ale také na vlhkosti vzduchu. Platí zde, čím vyšší vlhkost, tím nižší teplota pro zasněžování je potřeba. Na rozdíl od sněhu přírodního vymrzají krystalky z vnějšku dovnitř a mají na to jen cca. 10 vteřin. Oproti tomu přírodní sníh vzniká při vysoké kondenzaci vodních par ve volné atmosféře při cca.  $-12^{\circ}\text{C}$ . Jeho cesta k zemi je mnohem delší, proto jeho krystalky mohou lépe vymrzat i zevnitř. Vytváří pestřejší, ostřejší a větší krystalky o průměru vločky 0,2 až 0,5 mm. Technické vločky jsou o něco menší a kulatější. Z důvodu vyššího obsahu vody a menší velikosti krystalů má technický sníh větší hustotu, tj. při stejném objemu má větší hmotnost. Hmota, jež na zem dopadá z trysek sněžných děl, je tedy znatelně hutnější a mokřejší. Kvalitní technický sníh hutností odpovídá již částečně slehlému, přibližně třídennímu přírodnímu sněhu. Definitivně promrzá až po dopadu při následném zrání. Pokud nemá technický sníh čas k dozrání a ihned se použije k úpravě rolbou a k lyžování, vyloučí se zbývající voda na povrch, která může zmrznout a vytvořit ledovou vrstvu. (Sosna I., 2008)

Zasněžovací systémy existují dvojího druhu a jsou navrhovány podle charakteru sjezdových tratí – šířka, délka, meteorologické podmínky. Ventilátorová sněžná děla mají daleko větší výkon a tím i spotřebu vody a elektrické energie (100 – 500 l/hod. s příkonem 20KW), obrázek 5. Zasněžovací tyče mají mnohem menší výkon, obrázek 6.



Obrázek 5: Ventilátorové sněžné dělo (vlastní fotodokumentace)



Obrázek 6: Zasněžovací tyč (vlastní fotodokumentace)

Charakteristika sněhu	Hustota kg.m <sup>3</sup>
Prachový sníh čerstvý	10 – 30
Čerstvý sníh, nezhutněný větrem	50 – 65
Čerstvý sníh, mírně zhutněný větrem	65 – 80
Sníh částečně ulehlý	80 – 190
Ulehlý sníh	300 - 500
Technický sníh	200 – 500

Tabulka 4: Orientační hodnoty objemové hmotnosti sněhu. (Hrádek a Kuřík 2002, upraveno)

Objemová hmotnost sněhu se mění v závislosti na jeho hmotnosti a hloubce, měřenou od jeho povrchu. Pro čerstvě napadaný sníh je přibližná hodnota  $s_s = 0,1$ , pro starší slehlý sníh 0,15 - 0,20, pro starý sníh většinou na konci zimy 0,35-0,40.

### 3.2.6. Vlivy technického zasněžování na hydrologii

Příroda čelí stále většímu tlaku na využívání přírodních zdrojů pro potřeby lidí k zájmovým činnostem. Jedním z nich je fenomén dnešní doby, a to technické zasněžování. S přibývajícím množstvím lyžařských areálů a každým rokem se snižujícím množstvím přírodního sněhu dochází k nárůstu celkové spotřeby vody. Přibližně na technické zasněžení 1 hektaru sjezdovky s vrstvou sněhu 30 cm se spotřebuje 600 tis. až 1,5 mil. litrů vody. (Vanham et al., 2009)

Nejčastějším způsobem zásobování vodou je odběr z povrchových a podpovrchových toků. K největšímu odběru vody bohužel dochází na začátku zimy, kdy v tocích zaznamenáváme nejnižší průtoky. Pro větší povodí nemusí být tento



odběr nijak zásadní, u drobných toků ale může mít fatální následky pro říční ekosystém. (*de Jong, 2007*)

Druhým způsobem zásobování vodou technické zasněžování je výstavba retenčních nádrží. Většinou jsou tyto nádrže spojovány s retenční nádrží pro hasičské účely. Výhodu mají v možnosti naplnění nádrží v průběhu celého roku, tedy hlavně v době, kdy je vody dostatek a odběr při přečerpávání vody do nádrží neovlivní život ekosystému v tocích. Je vhodnou alternativou pro vyrovnanější bilanci v povodí, přestože mají také negativní vliv na životní prostředí, zejména při záboru půdy a jejich výstavbě. V České republice takové nádrže najdeme např. na Černé hoře v Krkonoších, příloha 1 a na Klínovci.

Výroba technického sněhu má vliv i na kvantitativní i kvalitativní vlastnosti půdy. Při výrobě, ale i když leží sníh na sjezdových tratích, dochází k odpařování. Tato voda se sice zpět do hydrologického cyklu dostane, ale v jiném čase a místě než v jejím původním přirozeném toku. (*Paccard, 2010*). Paccard (2010) dále uvádí, že voda odebraná pro technické zasněžování se z 70 – 90 % vrátí zpět do půdy. Zbylá procenta vody se podle vlhkosti a teploty vzduchu odpaří. Do koloběhu se tedy navrátí bez ztráty. Pohled de Jonga (2007) je odlišný. Prováděl experimentální měření odpařování vody, sublimace a evapotranspirace v Maroku a v Alpách. Nakonec došel k názoru, že se odpaří až 30% vody, která se ale vrátí na to konkrétní území s velkou časovou prodlevou, což způsobuje problém zejména v zimních mrazivých měsících s nízkou vlhkostí vzduchu, kdy voda chybí.

Kvalitativní změny mohou způsobit aditiva dříve přidávaná při výrobě technického sněhu pro zlepšení zasněžování při nevhodných podmínkách. Mají vliv především na biologickou rozmanitost vodních ekosystémů. Nejznámější přípravek Snomax je zdroj bílkovin nukleujících vodu. Dle Pacarda(2010) se neprokázalo, jestli dané bakterie mají vliv na půdu, vodu či vegetaci.

Hydrologický režim krajiny je často narušován kácením stromů a terénními úpravami spojenými nejen s výstavbou sjezdových tratí. Odlesněním dochází k menšímu zadržování vody v krajině a rychlému odtoku. Stlačený sníh na sjezdových tratích nepojme při deštích tak velké množství vody a dochází tím k většímu riziku vzniku povodní (*Flousek, Harčarik, 2009*).

### **3.2.7. Polemika o technickém zasněžování**

Tak jako většina jiných témat, tak i téma technické zasněžování má své obhájce a odpůrce. Obhájci jsou samozřejmě lidé, kteří se bez technického zasněžování neobejdou v rámci své profese, nebo v rámci potřeby zájmů a koníčků. Nad tímto

tématem se vedou dlouhé polemiky odborníků na ochranu přírody a krajiny a hydrologů, versus již zmínění obháji technického zasněžování.

Jednou z diskuzí byla v Českém rozhlase v pořadu Pro a proti polemika na téma „Jak moc škodí zasněžování sjezdovek vodním tokům v horských lokalitách“. Slovně se v pořadu utkali ředitel Asociace horských středisek ČR Libor Knot a pracovník Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G. Masaryka RNDr. Josef Fuksa, CSc. Oba se shodují v tom, že lyžařské areály se vzhledem k oteplování neobejdou bez technického zasněžování. V Krkonoších je v současné době přibližně 500 ha sjezdových tratí. Na jejich technické zasněžení je potřeba cca. 500 000 m<sup>3</sup> vody, což představuje přibližnou spotřebu vody města Vrchlabí s 13 tis. obyvateli za rok.

Pan Knot konstatuje, že toto množství odebrané vody není v ročním průměru nijak velké, navíc se postupně vrátí zpět do koryta, i když ponížené o určitý výpar.

Pan Fuksa situaci vidí poněkud jinak. Největší problém není v množství odebrané vody z vodních toků v ročním průměru, což představuje 5-10% zimního průtoku, ale v odběru za velmi krátkou dobu a navíc v době velmi nízkých průtoků. K odběrům pro technické zasněžování dochází většinou v prosinci a v lednu, kdy průtoky v korytech řek a potoků jsou minimální. Na větších tocích není tak velký problém, ale u malých toků může nastat problém s malým zůstatkovým průtokem, při kterém dochází k vymrzáení koryta a úhynu vodních živočichů a rostlin. Dalším problémem je zadržení vody v krajině v nepravý čas, jelikož při jarním tání dochází k navýšení odtoku vody z přírodního sněhu ještě o technický, což může způsobovat záplavy. (Novotná H. a Bartošová S., 2016)

V pořadu Natura v Českém rozhlase potvrzuje slova pana Fuksy také zoolog Správy Krkonošského národního parku RNDr. Jiří Flousek, Ph.D. Podle jeho slov má velký vliv na hydrologii i celkovou ochranu přírody ještě předcházející krok před výstavbou technického zasněžování, a to odlesnění velkých ploch potřebných pro vznik sjezdových tratí. Technický sníh leží na sjezdových tratích, což jsou většinou květnaté louky, o 2–3 týdny déle než přírodní, což způsobí změnu výskytu původních druhů rostlin, čímž také může dojít k zvýšení půdní eroze. Během 10-20 let budeme mít na sjezdových tratích místo květnatých luk druhově chudou louku s převažujícím zastoupením travin. Byla již prokázána i změna druhů půdních živočichů, na lesní zvěři zatím žádné změny nebyly pozorovány. Negativní vliv by mohl mít na živočichy hlavně hluk (u vrtulového sněžného děla se pohybuje hluk od 60 do 100 dB) a světelné znečištění. (Ševčíková M., 2016)

O tomto často opomíjeném faktoru pojednává ve svém článku RNDr. Jiří Flousek a Mgr. Josef Harčarik. (Ochrana přírody 2009) Hlukové a světelné znečištění skiareálů má vliv zejména v nočních hodinách na široké okolí. Jedná se zejména

o noční provoz sněžných děl, sněžných roleb a skútrů při zimní údržbě sjezdovek. Intenzita osvětlení sjezdových tratí bývá o 1–2 řády vyšší, než je potřebné a zásadně ovlivňuje území větší, než jsou sjezdové tratě. Dopady nočního osvětlení na krajinný ráz jsou zřejmé, o vlivu světla a hluku na populaci ptáků a savců na území ovlivněném světlem a hlukem ze skiareálů není dosud známo. (Flousek J. a Harčarik J., 2009)

### **3.2.8. Problematika technického zasněžování v Alpách**

Používání sněžných děl v alpských lyžařských střediscích je dlouhodobě neudržitelné, jelikož zatěžuje životní prostředí a má velmi vážné hydrologické důsledky. Na zasněžení 23.800 hektarů sjezdových tratí je v Alpách každým rokem spotřebováno přibližně 95 milionů m<sup>3</sup> vody, což představuje spotřebu velkoměsta s 1,5 milióny obyvatel. Často je zmiňováno, že ke ztenčování vodních zásob v horách dochází v důsledku tání a úbytku ledovců. Není to ovšem jediný nezanedbatelný článek, druhým je technické zasněžování, které situaci podstatně zhoršuje.

Ve Francouzských Alpách teče v některých řekách v zimním období o 70% méně vody než před rozmachem zařízení na výrobu technického sněhu. Mnoho vědců se proto na rychlý rozvoj lyžařského průmyslu dívají s nelibostí a tvrdí, že lidé mají na výběr, jestli dají přednost lyžařskému vyžití za každou cenu nebo dostatku pitné vody. (Kukliš L. 2007)

Alpám hrozí vysychání. "Hlavním problémem je silné odpařování," vysvětlila klimatoložka Carmen de Jongová z vysokohorského institutu Savojské univerzity ve Francii. Při technickém zasněžování se odpařuje přibližně třetina vody. Další masa vody se vypařuje z přehrad, které lyžařské areály udržují bez ledu, aby z nich mohli čerpat vodu na zasněžování. Z odpařené vody vzniká oblačnost, ta se přesouvá nad jiné regiony a ovlivňuje počasí. Mění se vodní cyklus a narušují se důležité ekosystémy. Vedoucí provozu lanovek Christian Ferchl ze střediska Muttereralm u Innsbrucku vědecké výzkumy ale nepřesvědčily. Podle něho je výroba technického sněhu ekologická a nenesou sebou žádná negativa. "Vždyť je to jen voda a studený vzduch,"

namítl.

To, že by sněžná děla mohla Alpský region změnit ve vyprahlou pouštinu, podnikatelé vydělávající na vysoké návštěvnosti evropských velehor nevěří. Za velké nebezpečí považují klimatické změny, které je nutí posouvat tratě a lanovky stále výš do hor. Očekává se, že v nejbližších letech se bude zasněžovat plocha několiknásobně větší. Například ve Švýcarsku, kde se nyní zasněžuje cca. 19 % sjezdových tratí, bude do 10 let zasněžováno 40% sjezdovek. (Kukliš L., 2007)

## 4. Popis zájmového území

### 4.1. Geografická poloha zájmového území

Krkonoše mají rozlohu 631 km<sup>2</sup> a rozkládají se na území dvou států. V České republice zaujímají 454 km<sup>2</sup> a v Polsku 177 km<sup>2</sup>. Síť hlavních řek tvoří Labe, Bílé Labe, Úpa, Jizerka, Jizera, Mumlava a na Polské straně Kamienna, Wrzosówka, Podgórna, Lomnica a Jedlica. Klima Krkonoš je vlhké, silně proměnlivé. Průměrná roční teplota se pohybuje mezi 0 °C a 6 °C, srážek spadne v průměru 800-1600 mm ročně. (Štursa 1997)

Oblast Krkonoš náleží k dvěma úmořím. Voda z převládající západní části odtéká do Severního moře (povodí Labe) a z východní části, plošně minimální, do Baltského moře (povodí Odry). (Flousek a kol. 2007).

Na úpatí Krkonoš spadne přibližně 800 mm a na hřebenech hor 1200-1600 mm vodních srážek. Trvalá sněhová pokrývka na hřebenech leží od poloviny listopadu do začátku května a její výška dosahuje v průměru 100-300 cm. Nejvýznamnější hydrologické stanice se nacházejí na vrcholu Sněžky, v Peci pod Sněžkou, na Rýchorách, v Jánských lázních, na Hřiběcích boudách, na Benecku, u Sněžných jam, na Labské boudě, na Szrenici, v Sobieszówě a v Harrachově.

Pramen Labe se nachází v nadmořské výšce 1386,3 m.n.m na hřebenech západních Krkonoš uprostřed náhorní planiny. U pramene najdeme 26 erbů větších měst, ležících na evropském veletoku Labe. (Štursa 1977)

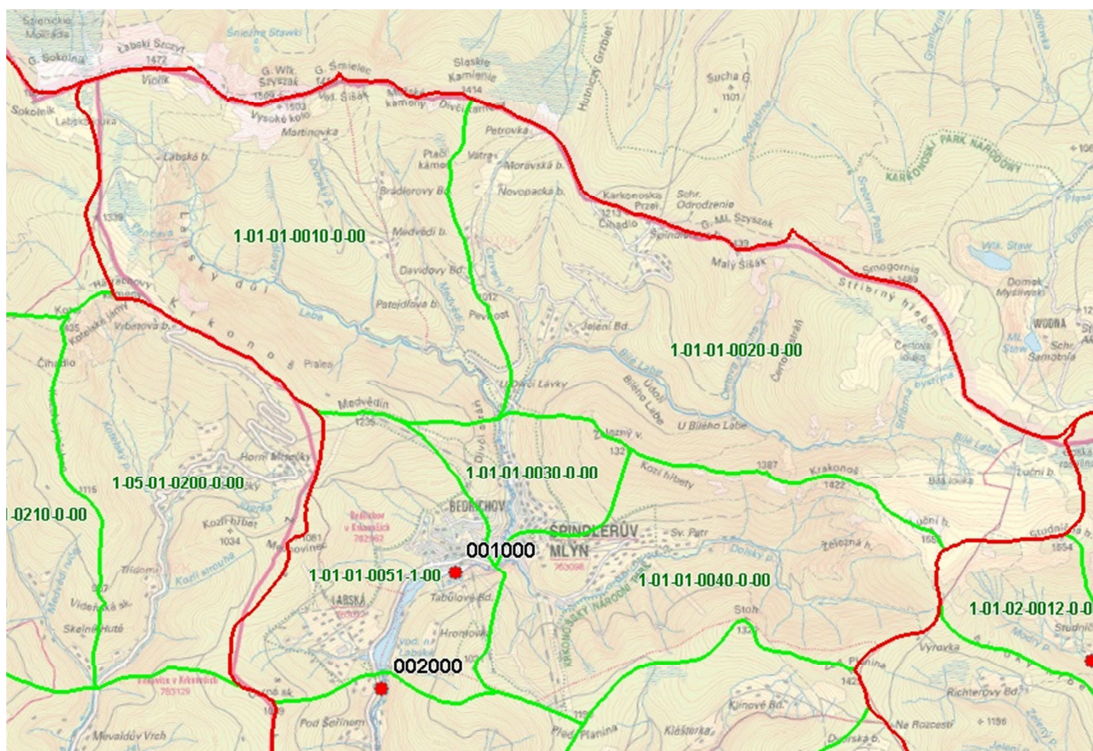
Od pramene k ústí do Severního moře má Labe délku 1062 km, z toho 368 km na území České republiky. Plocha povodí činí téměř 150 000 km<sup>2</sup>, což z Labe dělá třetí největší a nejdelší řeku střední Evropy po Dunaji a Rýnu. (Štursa 2009) Oproti tomu uvádí Flousek a kol. ve své publikaci délku toku Labe v České republice 370 km. (Flousek a kol. 2007).



Obrázek 7: Přehledová mapa horního toku Labe (Němec J. a Hladný J., 2006)

Řešené území leží v povodí řeky Labe s uzávěrovým profilem na přehradní nádrži Labská ve Špindlerově Mlýně. Velikost povodí s tímto uzávěrovým profilem má rozlohu 60,68 km<sup>2</sup> se staničením 358,9 km (obrázek 7 a 8). Toto staničení je uváděno na území České republiky (Flousek a kol. 2007). Stejnou plochu povodí s uzávěrovým profilem na přehradě Labská uvádí také publikace Hydrologické poměry Československé socialistické republiky 1967. Budeme-li tedy brát údaje o staničení a délce toku z těchto dvou zdrojů, máme celkovou délku toku Labe v řešeném území po uzávěrový profil 11,1 km. V řešeném území se nacházejí i další drobnější toky. Tím největším z nich je Bílé Labe s povodím o velikosti 20,5 km<sup>2</sup> a délkou toku 8,2 km. Jeho pravostranné přítoky jsou Stříbrná bystřina, Čertova strouha, Hřímavá bystřina a Dířečka. Významnější levostranné přítoky Bílé Labe nemá. Mezi významnější pravostranné přítoky Labe v řešeném území patří jen Pančava a Krakonošova strouha. Levostranných má Labe podstatně více. Jsou jimi Pudlava, Dvorský potok, Medvědí potok, Bílé Labe a Dolský (Svatopetrský) potok. (Flousek a kol. 2007).

Všechny zmiňované toky odvádějí povrchovou vodu z povodí do přehradní nádrže Labská. Ta byla postavena v letech 1910-1916 za účelem zachycování povodňových průtoků v Labi. O stavbě Labské přehrady se dlouho uvažovalo, definitivně o stavbě rozhodl tehdejší sněm Království českého po katastrofálních povodních v druhé polovině 19. století, zejména v letech 1890 a 1897. Kromě zachycování povodňových průtoků slouží přehradní nádrž k nadlepšování průtoků v sušších obdobích během roku a k rekreaci. (Broža a kol. 2005).



Obrázek 8: Mapa povodí Labe s uzávěrovým profilem na VN Labská (ČHMU 2015)

## 4.2. Hydrologie

Současné uspořádání sítě vodních toků a jejich údolí je dáno geomorfologickým vývojem Krkonoš již v období třetihor a čtvrthor. Zatímco na strmějším polském svahu nemohla vzniknout rozvětvenější síť říčních údolí, na české pozvolné straně jsou údolí toků často uspořádána kolmo na sebe do mřížovité říční sítě. Převládající je přibližně severojižní směr hlavních toků, které se postupně zahlubují. Pro krkonošské toky jsou charakteristické nevyrovnané podélné profily, kdy eroze převažuje nad akumulací. Koryta jsou často zaříznuta v úzkých údolích, kde se tvoří kaskádovité vodopády a peřeje. Výkyvy vodnosti toků v horských povodích jsou velmi výrazné a náhlé. Velkou unášecí silou vody dochází k velkému odnosu splavenin a tím postupnému zanášení koryta řeky. (Flousek a kol. 2007).

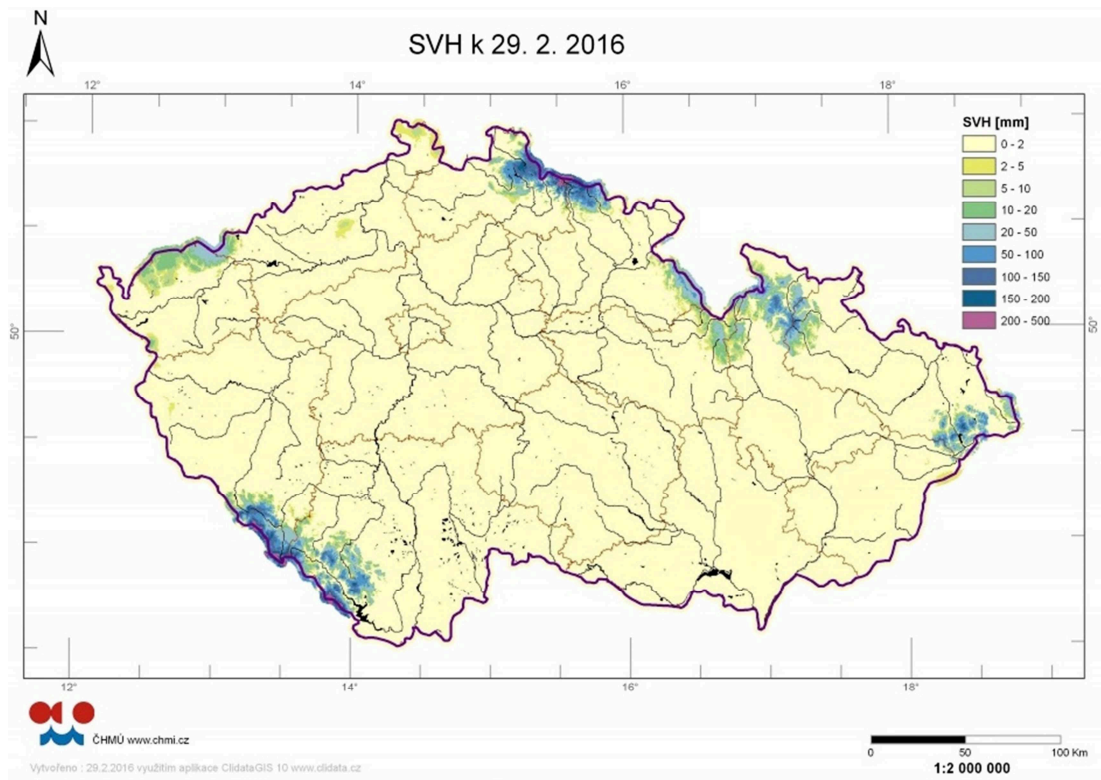
K základním charakteristikám patří plocha povodí, která udává představu o významu řeky. Z velikosti plochy povodí můžeme vypočítat určité měrné jednotky odtoku. Plocha povodí se dle Netopila (1984) značí  $F$ . Plocha povodí po závěrový profil na Labské přehradě činí  $60,68 \text{ km}^2$ , jak bylo již zmíněno v kapitole 5.1. Charakteristika povodí (tabulka č. 5) má vliv na velikost a časové rozložení průtoků při deštích a tání sněhu. (Netopil 1984). Typ povodí od pramene po přítok Pančavy má znaky vějířovitého povodí. Dále jsou přítoky do Labe vcelku pravidelně rozloženy po celé délce toku, můžeme ho tedy označit jako typ stromový. (Ducháček, 2009).

Název toku	Plocha povodí $F \text{ (km}^2\text{)}$	Délka povodí $L \text{ (km}^2\text{)}$	Charakteristika povodí $\alpha$	Typ
Labe	60,68	11,1	0,5	vějířovitý/stromový

Tabulka 5: Charakteristiky řešeného povodí (Flousek a kol. 2007)

### 4.3. Sněhové poměry

Sněhová pokrývka v zájmovém území je především závislá na nadmořské výšce, projevují se zde ale i další faktory, jako jsou orientace, tvar svahů a proudění vzduchu, které má velký vliv na ukládání množství sněhových zásob na návětrných a závětrných stranách svahů. Sněžení se v hřebenových partiích může vyskytnout prakticky celoročně, zůstává ale ležet většinou od poloviny října do konce května. Okolí Labské boudy a pramene Labe najdeme často extrémní hodnoty sněhové pokrývky v rámci celé České republiky (např. v březnu 2005 byla na Labské boudě naměřena 345 cm vysoká sněhová pokrývka), (Ducháček, 2009). Český hydrometeorologický ústav průběžně zpracovává mapy s rozložením vodní hodnoty sněhu v České republice. Příklad takovéto mapy z 29.2.2016 ukazuje obrázek č. 8.

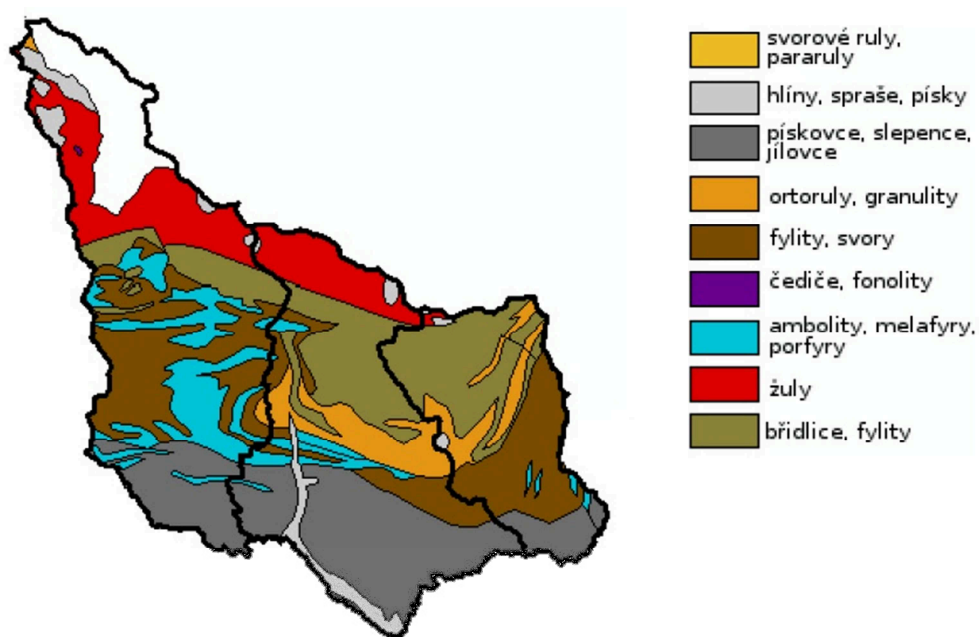


Obrázek 9: Rozložení vodní hodnoty sněhu na území České republiky (ČHMÚ 2016)

#### 4.4. Geologie a geomorfologie

Geomorfologický celek Krkonoš patří do Krkonošsko-jesenické soustavy a tvoří ho členitá hornatina při severní hranici s Polskem. Dělí se na Krkonošské rozsochy (okolí Černé hory), Krkonošské hřbety a Vrchlabskou vrchovinu (Demek 1987). Svahy jsou rozčleněny hluboce zaříznutými údolními historicky přemodelovány údolními ledovci. Krkonoše byly vyvrásněny v období prvohor před 600 mil. let. Převážně je tvoří žuly, krystalické břidlice a fylity (David a kol., 2010). K nejmladším horninám patří jílovce, pískovce a slepence (obrázek 9). Krkonošský reliéf tvořily údolní zářezy hlavních řek Labe, Jizery a Úpy, dále pak údolní ledovce čtvrtohor (Čihař, 2002). V období třetihor došlo k vytvoření některých zarovnaných povrchů (např. v okolí Luční a Labské boudy). Následovalo alpínské vrásnění při kterém došlo ke zvýšené erozi a zahlubování řek s větším spádem. Na přelomu třetihor a čtvrtohor nastalo ochlazení (Štursa, 2009). Z polské strany se přibližoval kontinentální ledovec, který začal ovlivňovat klima Krkonoš. Vytvořilo se mnoho periglaciálních a glaciálních tvarů (ledovcové kary – Úpská kotelní jáma, karová jezera – Wielky a Maly Staw na polské straně Krkonoš, tory – Mužské kameny). (Murdychová, 2012)





Obrázek 10: Geologické podloží Krkonoš (Narodní geoportal INSPIRE, 2015)

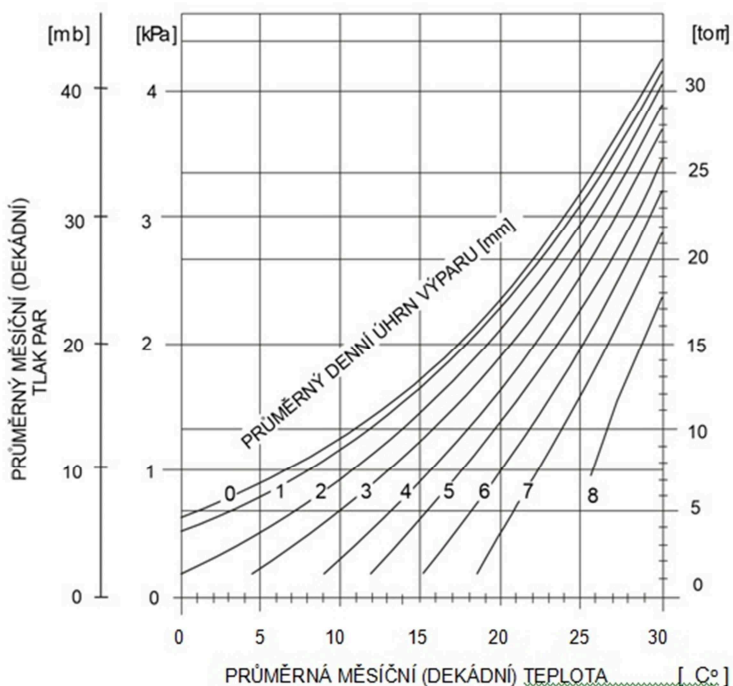
#### 4.5. Druhy pozemků

Zkoumané území se nachází v horských a vysokohorských oblastech středních Krkonoš, kde osídlené oblasti jsou kromě Špindlerova Mlýna jen velmi zřídka. Proto největší část zaujímají lesní pozemky – 90,8 % - 55,56 km<sup>2</sup>. Dalšími jsou pak podle velikosti ostatní plocha – 4,5 % - 2,42 km<sup>2</sup>, trvalý travní porost – 3,2 % - 1,93 km<sup>2</sup>, vodní plochy – 1 % - 0,6 km<sup>2</sup> a zastavěná plocha a nádvoří – 0,5 % - 0,3 km<sup>2</sup> (GEPRO, 2016)

## 5. Metodika

### 5.1. Metodika zpracování dat

Pro výpočet hydrologické bilance byla použita data povrchových vod. V rámci bilance povodí je počítáno s průměrnými srážkami přepočtenými na plochu povodí, výparem, odběrem vody pro zasněžování sjezdových tratí a odběrem vody pro úpravnu vody ve Špindlerově Mlýně. Byla dohledána data od roku 1998 (průměrné měsíční a roční srážky), odběr vody pro úpravnu na Bílém Labi je počítán z povoleného průměrného odběru 22 l/s uvedený v rozhodnutí o Povolení k odběru povrchových vod z Bílého Labe pro úpravnu vody ve Špindlerově Mlýně z roku 2007. (Paučková H. 2007) Data z odběrných míst pro technické zasněžování ze skiareálu Špindlerův Mlýn jsou k dispozici pouze od roku 2009. Starší data ve Ski areálu Špindlerův Mlýn ani na Městském úřadě ve Vrchlabí bohužel nejsou k dispozici. Jelikož nejsou dostupné hodnoty napětí vodních par, nebylo možné použít k výpočtu empirické vztahy. K výpočtu průměrného denního výparu z volné vodní hladiny byl proto použit nomogram dle Petroviče, jelikož z dat získaných na Povodí Labe známe průměrné teploty vzduchu i vody za jednotlivé roky. (Hrádek a Kuřík 2002) Dle průměrné teploty vzduchu 4,5 st.ve sledovaném období (1998 – 2015) byl stanoven výpar z volné hladiny dle Petroviče 1,5 mm/den.



Obrázek 11: Nomogram pro výpočet výparu z volné vodní hladiny dle Petroviče (Hrádek a Kuřík 2002)

Aby bylo možné lépe porovnat odběr vody pro technické zasněžování a srážky pouze v měsících zasněžování, byla vytvořena tabulka samostatně jen pro měsíce, kdy došlo k odběru vody pro technické zasněžování tabulka 13. Vzhledem k diametrálním rozdílům v množství odebrané vody pro technické zasněžování (řádově tisíce m<sup>3</sup>) a srážkami (řádově miliony m<sup>3</sup>) nebyl vyhotoven graf (měl by nevypovídací schopnost). Výpočet výparu pro hydrologickou bilanci v zimních měsících se sněhovou pokrývkou, kdy dochází k odběrům pro technické zasněžování, byla použita hodnota průměrného denního výparu ze sněhu 1 mm/den, jak je uvedeno v publikaci Lesotechnické meliorace. (Riedel, Zachar a kol., 1972) Pro větší přesnost výpočtu výparu z povodí by bylo možné počítat s koeficienty pro procentické zastoupení vodní plochy, lesů a travnaté plochy. Jelikož se tato bakalářská práce zabývá srovnáním vodní bilance za jednotlivé roky, tato nepřesnost odhadu výparu nám výsledek nijak nezkrusluje, proto odhad výparu vychází z hodnoty výparu z volné vodní hladiny.

Výše ročního množství odebrané vody na úpravnu vody ve Špindlerově Mlýně byla vypočítána ze stanoveného povoleného průměrného odběru uvedeného v rozhodnutí MěÚ Vrchlabí. (Paučková 2007)

Pro lepší představu, jak velké území ovlivňuje technické zasněžování, byla porovnána technicky zasněžovaná plocha s množstvím odebrané vody a počtem hodin, kdy probíhalo zasněžování (tabulka 8). Výsledkem je zjištění, kolik vody z technického zasněžování spadlo na 1m<sup>2</sup> sjezdovky a jaká vznikla ve sněhu skutečná zásoba vody (kapitola 6.1.3.)

## 5.2. Sběr dat

Data pro tuto bakalářskou práci byly získány z několika zdrojů. Osobní návštěva a vyhledávání dat z dokumentů bylo provedeno na Povodí Labe v Hradci Králové. Jedná se zejména o úhrny srážek v povodí a data k vodní nádrži Labská (tabulka 6). Další data ohledně odběrů povrchových vod pro technické zasněžování, počty dní a hodin technického zasněžování a velikosti sjezdových tratí byla poskytnuta ve Skiareálu Špindlerův Mlýn (tabulky 9-12) , pod který patří všechna odběrná místa pro technické zasněžování řešená v této bakalářské práci. Vyjímkou je pouze odběrné místo pod sjezdovkou Stoh, které vlastní spol. STOH s.r.o. Bohužel data k technickému zasněžování nejsou k dispozici ani na odboru ŽP MěÚ Vrchlabí, který vydával povolení k nakládání s vodami pro odběr k technickému zasněžování sjezdové trati Stoh. Toto rozhodnutí z roku 2005 mělo platnost do 31.12. 2010.

*(Poláková H. 2005)* Nastalou situaci řeší Vodoprávní úřad na odboru ŽP MěÚ Vrchlabí. Z tohoto důvodu není toto odběrné místo zahrnuto v hydrologické bilanci povodí.

Z důvodu lepší představy o vyrobeném množství sněhu z technického zasněžování byla zjištěna data o rozloze sjezdových tratí, množství vody použité k zasněžování a počtu dní a hodin skutečného zasněžování (tabulka 9 a 11).

## 6. Výsledky

### 6.1. Výpočty

#### 6.1.1. Výpočet hydrologické bilance povodí horního toku Labe s uzavěrovým profilem vodní nádrž Labská

Hydrologickou bilanci povodí ukazuje tabulka 7. Podkladem pro výpočet jsou průměrné srážky za jednotlivé roky 1998 – 2015 přepočtené na plochu povodí (tabulka 6), odběry pro technické zasněžování 2009 – 2015 (tabulka 9 a 10), úpravnu vody a výpar (tabulka 7), který byl počítán z volné vodní hladiny.

Vodní bilanci vyjádříme rovnicí:

$$Q_r + Q_p + S + K - Q_r - Q_p - E - E_{tr} = \pm W \text{ [m}^3\text{]}$$

$Q_r$  - vtok říční vody ( $\text{m}^3$ ),  $Q_p$  – vtok podzemní vody ( $\text{m}^3$ ),  $S$  - spadlé srážky na plochu povodí [ $\text{m}^3$ ],  $K$  - kondenzace par ze vzduchu [ $\text{m}^3$ ],  $E$  - výpar [ $\text{m}^3$ ],  $E_{tr}$  - transpirace [ $\text{m}^3$ ].

Rovnici si zjednodušíme:

$$Q_s + Q_p + E + E_{tr} = W + S + K \text{ [m}^3\text{]}$$

Protože porovnáváme spadlé srážky s odečteným množstvím vody, rozdělíme pro přehlednost rovnici podle faktorů ovlivňující jednotlivé složky a upravíme pro známé hodnoty:

$$Q_s + Q_p = S + W + K - E - E_z - E_u \text{ [m}^3\text{]}$$

$Q_s$  - objem říčního odtoku ( $\text{m}^3$ ),  $Q_p$  – objem podzemního odtoku ( $\text{m}^3$ ),  $S$  – úhrn srážek [ $\text{m}^3$ ],  $W$  – objem vody ve sněhové pokrývce (hodnota není známá = 0),  $K$  – kondenzace a desublimace par ze vzduchu [ $\text{m}^3$ ] (hodnota není známá = 0),  $E$  – celkový výpar [ $\text{m}^3$ ],  $E_z$  – odběr povrchové vody na zasněžování [ $\text{m}^3$ ],  $E_u$  – odběr povrchové vody pro úpravnu vody [ $\text{m}^3$ ]

Jako příklad pro výpočet zvolíme rok 2015, kdy ve sledovaném období byl jeden z nejmenších říčních odtoků. Za všechny sledované roky máme vypočtenou bilanci v tabulce 7.

$$69\,410\,736 + Q_p = 81\,377\,948 + 0 + 0 - 33\,222\,300 - 267\,585 - 693\,792$$

$$69\,410\,736 + Q_p = 47\,193\,998$$

$$Q_p = -22\,216\,465 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Celková bilance povodí v roce 2015 = - 22 216 465 m<sup>3</sup>/rok.

### 6.1.2. Výpočet hydrologické bilance vodní nádrže Labská

Hydrologickou bilanci VN Labská ukazuje tabulka 8. Podkladem pro výpočet jsou průměrné srážky za jednotlivé roky 1998 – 2015 přepočtené na plochu vodní nádrže. (tabulka 8), odběry pro technické zasněžování 2009 – 2015 jen pro sjezdovku na Přední Labské, která má odběrné místo ve VN (tabulka 9 a 10) a výpar (tabulka 8), který byl počítán z volné vodní hladiny.

Vodní bilanci vyjádříme rovnicí:

$$Q_r + Q_p + S + K - Q_r - Q_p - E - E_{tr} = \pm W \text{ [m}^3\text{]}$$

$Q_r$  - vtok říční vody (m<sup>3</sup>),  $Q_p$  - vtok podzemní vody (m<sup>3</sup>),  $S$  - spadlé srážky na plochu povodí [m<sup>3</sup>],  $K$  - kondenzace par ze vzduchu [m<sup>3</sup>],  $E$  - výpar [m<sup>3</sup>],  $E_{tr}$  - transpirace [m<sup>3</sup>].

Rovnici si zjednodušíme, tak jako u bilance povodí:

$$Q_s + Q_p + E + E_{tr} = W + S + K \text{ [m}^3\text{]}$$

Protože porovnáváme spadlé srážky s odečteným množstvím vody, rozdělíme pro přehlednost rovnici podle faktorů ovlivňující jednotlivé složky a upravíme pro známé hodnoty:

$$Q_p - Q_o = S + K - E - E_z \text{ [m}^3\text{]}$$

$Q_p$  - objem přítoku (m<sup>3</sup>),  $Q_o$  - objem odtoku (m<sup>3</sup>),  $S$  - úhrn srážek [m<sup>3</sup>],  $K$  - kondenzace a desublimace par ze vzduchu [m<sup>3</sup>] (hodnota není známá = 0),  $E$  - celkový výpar [m<sup>3</sup>],  $E_z$  - odběr povrchové vody na zasněžování [m<sup>3</sup>].

Jako příklad pro výpočet zvolíme rok 2015, tak jako u bilance povodí.

$$69\,442\,272 - 69\,410\,736 = 203\,445 + 0 - 83\,056 - 17\,971$$
$$31\,536 = 102\,418 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Celková bilance VN v roce 2015 = 133 954 m<sup>3</sup>/rok.

### 6.1.3. Výpočet průměrného odběru vody a spadlého množství vody na 1m<sup>2</sup> při technickém zasněžování

Jako příklad pro výpočet zvolíme rok 2014, kdy došlo ve sledovaných letech k druhému největšímu odběru vody za nejkratší čas (tabulka 9). Porovnání roků 2009 – 2015 je uvedeno v tabulce 12.

Odebráno	324 556 m <sup>3</sup>
Počet dní odběru zasněžování	148 dní

Počet hodin zasněžování 1 301 hod.

Plocha zasněžovaných sjezdovek 76,06 ha (tabulka 11)

Pro přesnější výpočet použijeme počet hodin a hektary převedeme na m<sup>2</sup>

Průměrný odběr vody –  $324\,556 / 1\,301 = 249 \text{ m}^3/\text{hod.}$

Průměrné množství vody na 1m<sup>2</sup> -  $324\,556 / 760\,600 = 0,43 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 43 \text{ cm vody.}$

Při průměrné objemové hmotnosti technického sněhu  $400\text{kg}/\text{m}^3 = 108 \text{ cm sněhu.}$

## 6.2. Vyhodnocení

Pro lepší názornost sebraných dat bylo vytvořeno několik grafů.

Graf 1 porovnává vývoj přítoků, odtoků a srážek v letech 1998 – 2015 VN Labská. Vzhledem k velkému přítoku a odtoku jsou srážky spadlé na plochu VN Labská zanedbatelné a v grafu neviditelné.

Graf 2 porovnává vývoj srážek, výparu a vody pro technické zasněžování v letech 1998 – 2015 VN Labská. Na grafu je patrné, že odběr vody pro technické zasněžování není v celkové roční bilanci nijak zásadní, zejména když se jedná o regulovanou vodní nádrž. Hlavním ukazatelem v tomto grafu je vývoj srážek.

Graf 3 porovnává vývoj srážek a odtoků z povodí. Od roku 2008 vcelku srážky korespondují s odtokem. Rozrůznění může být způsobeno větším rozdílem v přítoku a odtoku z VN, tedy zadržování vody v nádrži. Roky 2001 a 2006 jsou zřejmě poznamenány chybou, jelikož odtok z povodí je více než dvojnásobný oproti srážkám.

Graf 4 porovnává vývoj odebrané vody pro technické zasněžování. Vývoj měl v letech 2011 – 2014 stoupající tendenci, v roce 2015 se ustálil. Řádově ale nedochází k velkému navyšování odebrané vody. Odběry nepřekračují povolená množství stanovená v rozhodnutí vodoprávním úřadem (Paučková 2007)

Graf 5 porovnává vývoj odebrané vody pro technické zasněžování po měsících. Jednoznačně k největšímu odběru vody dochází každý rok v prosinci.

## 6.3. Tabulky

Rok	Srážky			Průměrná teplota (°C)	
	Ø přítok (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Ø odtok (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Σsrážky(mm)	voda	vzduch
1998	2,055	2,055	1 424,4		4,3
1999	1,940	1,985	733,0		4,6
2000	3,400	4,022	1 477,4		5,3
2001	6,079	7,376	1 535,8	5,5	4,6
2002	5,042	5,106	1 434,3	11,7	5,2

2003	1,564	1,428	907,9	10,2	3,6
2004	3,152	3,148	1 235,3	7,0	4,1
2005	3,494	3,547	1 403,2	7,2	3,5
2006	7,007	7,187	1 298,6	8,2	4,4
2007	4,541	4,871	1 773,5	8,4	5,3
2008	3,211	3,190	1 306,5	7,7	5,3
2009	2,536	2,641	1 315,1	7,2	4,6
2010	3,253	3,428	1 510,1	8,6	3,7
2011	2,510	2,494	1 332,0	8,6	4,9
2012	2,329	2,358	1 195,0	9,6	4,3
2013	3,693	3,609	1 296,8	7,6	4,6
2014	2,244	2,189	1 119,6	10,5	6,3
2015	2,202	2,201	1 341,1	10,5	5,6
<b>Celkem:</b>	<b>93,203</b>	<b>95,732</b>	<b>34 830,300</b>	<b>8,567</b>	<b>4,476</b>

Tabulka 6: Roční přehled nádrží povodí Labe – VN Labská. (*Povodí Labe, 2015*)

Rok	Srážky povodí (m <sup>3</sup> )	Odtok (m <sup>3</sup> )	Výpar (m <sup>3</sup> )	Odběr úpravna	Zasněžování (m <sup>3</sup> )	Celková bilance (m <sup>3</sup> )
1998	86 432 592	64 806 480	33 222 300	693 792		-12 289 980
1999	44 478 440	62 598 960	33 222 300	693 792		-52 036 612
2000	89 648 632	126 837 792	33 222 300	693 792		-71 105 252
2001	93 192 344	232 609 536	33 222 300	693 792		-173 333 284
2002	87 033 324	161 022 816	33 222 300	693 792		-107 905 584
2003	55 091 372	45 033 408	33 222 300	693 792		-23 858 128
2004	74 958 004	99 275 328	33 222 300	693 792		-58 233 416
2005	85 146 176	111 858 192	33 222 300	693 792		-60 628 108
2006	78 799 048	226 649 232	33 222 300	693 792		-181 766 276
2007	107 615 980	153 611 856	33 222 300	693 792		-79 911 968
2008	79 278 420	100 599 840	33 222 300	693 792		-55 237 512
2009	68 877 868	83 286 576	33 222 300	693 792	211 773	-48 536 573
2010	91 632 868	108 105 408	33 222 300	693 792	368 392	-50 757 024
2011	80 825 760	78 650 784	33 222 300	693 792	197 946	-31 939 062
2012	72 512 600	74 361 888	33 222 300	693 792	230 283	-35 995 663
2013	78 689 824	113 813 424	33 222 300	693 792	252 978	-69 292 670
2014	67 937 328	69 032 304	33 222 300	693 792	324 556	-35 335 624
2015	81 377 948	69 410 736	33 222 300	693 792	267 585	-22 216 465

Tabulka 7: Souhrn vodní bilance řešeného povodí v letech 1998 – 2015 (*vlastní dokument*)



	Srážky VN (m <sup>3</sup> )	Přítok (m <sup>3</sup> )	Odtok (m <sup>3</sup> )	Výpar 1 mm	Zasněžování (m <sup>3</sup> )	Bilance (m <sup>3</sup> )
1998	216 081	64 806 480	64 806 480	83 056		133 025
1999	111 196	61 179 840	62 598 960	83 056		-1 390 980
2000	224 122	107 222 400	126 837 792	83 056		-19 474 326
2001	232 981	191 707 344	232 609 536	83 056		-40 752 267
2002	217 583	159 004 512	161 022 816	83 056		-1 883 777
2003	137 728	49 322 304	45 033 408	83 056		4 343 568
2004	187 395	99 401 472	99 275 328	83 056		230 483
2005	212 865	110 186 784	111 858 192	83 056		-1 541 599
2006	196 998	220 972 752	226 649 232	83 056		-5 562 538
2007	269 040	143 204 976	153 611 856	83 056		-10 220 896
2008	198 196	101 262 096	100 599 840	83 056		777 396
2009	172 195	79 975 296	83 286 576	83 056	35 659	-3 257 800
2010	229 082	102 586 608	108 105 408	83 056	51 444	-5 424 218
2011	202 064	79 155 360	78 650 784	83 056	13 014	610 570
2012	181 282	73 447 344	74 361 888	83 056	34 155	-850 473
2013	196 725	116 462 448	113 813 424	83 056	21 376	2 741 317
2014	169 843	70 766 784	69 032 304	83 056	27 541	1 793 726
2015	203 445	69 442 272	69 410 736	83 056	17 971	133 954

Tabulka 8: Souhrn vodní bilance nádrže Labská v letech 1998 – 2015 (vlastní dokument)

Rok	spotřeba vody v m <sup>3</sup>	počet dní	počet hodin
2009	211 773	269	2 379
2010	368 392	215	2 886
2011	197 946	165	1 895
2012	230 283	158	2 254
2013	252 978	146	1 910
2014	324 556	148	1 301
2015	267 585	130	1 996
<b>Celkem:</b>	<b>1 853 513</b>	<b>1 231</b>	<b>14 621</b>

Tabulka 9: Celkové roční odběry vody pro zasněžování. (Skiareál Špindlerův Mlýn, 2016)

Rok	leden	únor	březen	listopad	prosinec	celkem
2009	12 533	0	0	61 268	137 972	211 773
2010	95 012	30 899	10 272	92 828	139 381	368 392
2011	65 491	30 201	0	36 003	66 251	197 946
2012	52 873	13 416	0	18 567	145 427	230 283
2013	88 852	58 847	0	27 310	77 969	252 978
2014	120 261	28 817	0	26 745	148 733	324 556
2015	89 350	35 993	0	62 096	80 146	267 585
<b>Celkem:</b>	<b>524 372</b>	<b>198 173</b>	<b>10 272</b>	<b>324 817</b>	<b>795 879</b>	<b>1 853 513</b>

Tabulka 10: Celkové měsíční odběry vody pro zasněžování. (Skiareál Špindlerův Mlýn, 2016)

Sjezdové tratě	plocha v ha	délka v m	převýšení v m	ø sklon v %
Labská	6,23	1535	325	21,7
Medvědín	29,98	5795	1513	18,9
Svatý Petr	39,85	9039	2029	24,2
<b>Celkem:</b>	<b>76,06</b>	<b>16 369</b>	<b>3 867</b>	<b>21,6</b>

Tabulka 11: Plochy zasněžovaných sjezdových tratí. (Skiareál Špindlerův Mlýn, 2016)

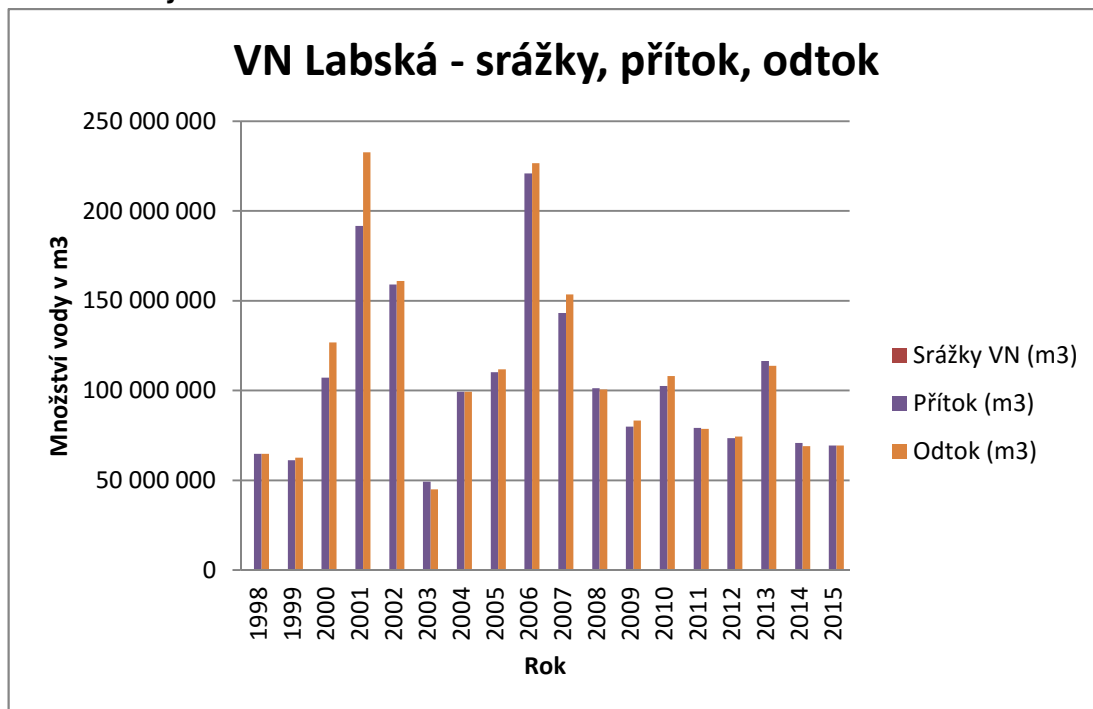
	spotřeba vody v m <sup>3</sup>	počet hodin	plocha m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> vody/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> vody/hod.
<b>2009</b>	211 773	2 379	760 600	0,278	89,018
<b>2010</b>	368 392	2 886	760 600	0,484	127,648
<b>2011</b>	197 946	1 895	760 600	0,260	104,457
<b>2012</b>	230 283	2 254	760 600	0,303	102,166
<b>2013</b>	252 978	1 910	760 600	0,333	132,449
<b>2014</b>	324 556	1 301	760 600	0,427	249,467
<b>2015</b>	267 585	1 996	760 600	0,352	134,061

Tabulka 12: Spotřeba vody pro technické zasněžování sjezdových tratí. (Skiareál Špindlerův Mlýn, 2016)

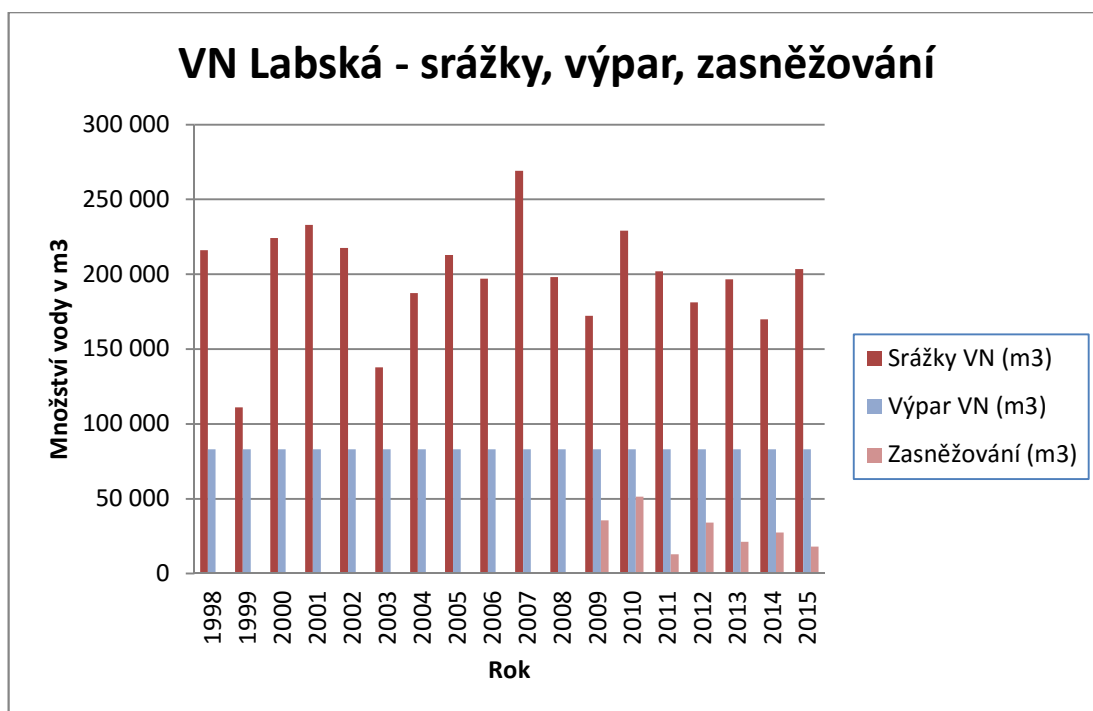
Rok	Srážky za povodí (m <sup>3</sup> )	Zasněžování (m <sup>3</sup> )
<b>2009</b>	<b>31 189 520</b>	<b>211 773</b>
<b>2010</b>	<b>39 806 080</b>	<b>368 392</b>
<b>2011</b>	<b>29 369 120</b>	<b>197 946</b>
<b>2012</b>	<b>36 741 740</b>	<b>230 283</b>
<b>2013</b>	<b>33 125 212</b>	<b>252 978</b>
<b>2014</b>	<b>27 494 108</b>	<b>324 556</b>
<b>2015</b>	<b>47 087 680</b>	<b>267 585</b>

Tabulka 13: Porovnání srážek v měsících zasněžování a odběrů vody pro zasněžování (Povodí Labe, 2015 a Skiareál Špindlerův Mlýn, 2016)

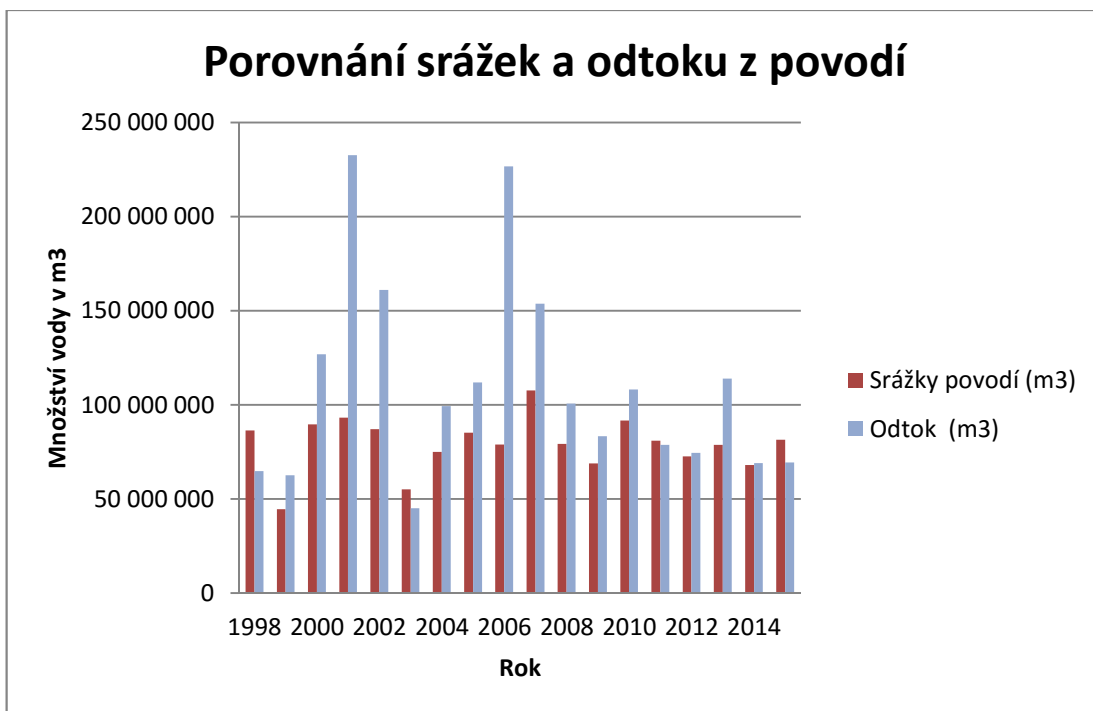
## 6.4. Grafy



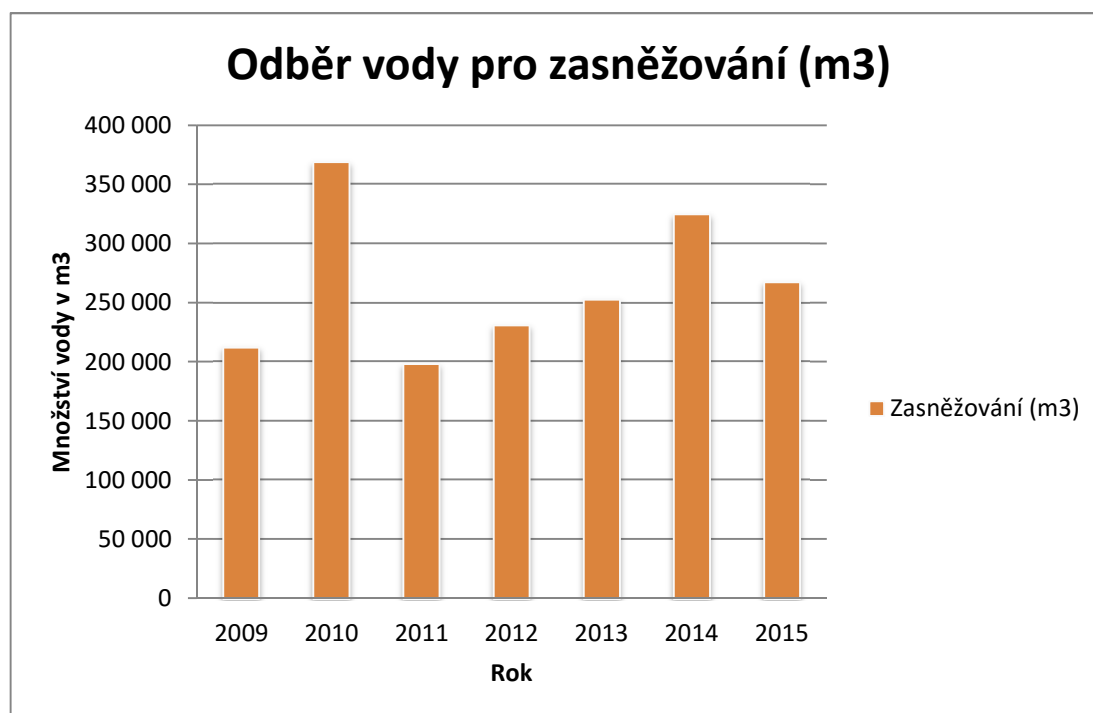
Graf 1: Porovnání přítoků, odtoků a srážek VN Labská (Povodí Labe, 2015)



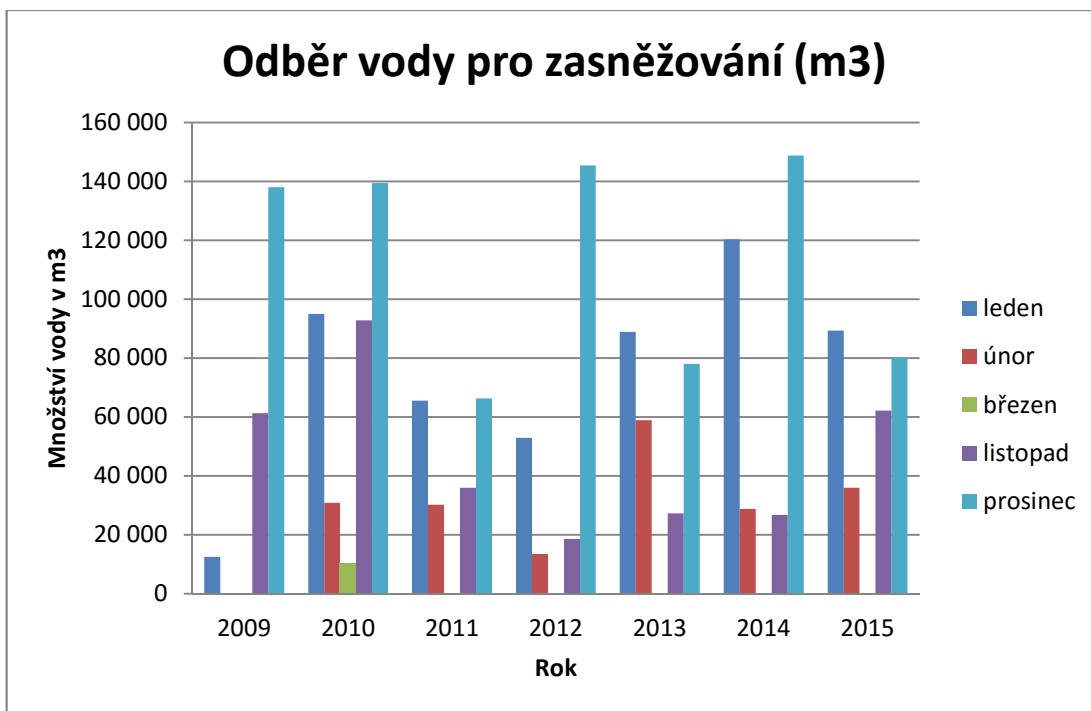
Graf 2: Hydrologická bilance VN Labská bez přítoků a odtoků (Povodí Labe, 2015 a Skiareál Špindlerův Mlýn, 2016)



Graf 3: Vývoj srážek a odtoku v povodí 1998 – 2015 (Skiareál Špindlerův Mlýn, 2016)



Graf 4: Vývoj spotřeby vody po letech pro technické zasněžování 2009 - 2015 (Skiareál Špindlerův Mlýn, 2016)



Graf 5: Vývoj spotřeby vody po měsících pro technické zasněžování 2009 - 2015 (Skiareál Špindlerův Mlýn, 2016)

## 7. Diskuze

### 7.1. Shrnutí

Oblast horního toku Labe je z hlediska hydrologického velmi zajímavá a členitá, po stránce sběru dat je ale vcelku obtížná. Proto je potřeba připomenout, že tato bakalářská práce z důvodu nekomplexnosti dat může obsahovat nepřesnosti. Hlavním cílem práce je porovnání dostupných hydrologických dat a zjištění, jak velký vliv má odběr vody pro technické zasněžování sjezdových tratí na vodní bilanci.

Množství vody odebrané pro technické zasněžování z celkové roční bilance povodí je většinou zanedbatelné. Potvrzuje to i zmíněná diskuze J. Fuksy (Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka) s L. Knotem (ředitel Asociace horských středisek ČR) v pořadu Pro a proti. (ŠEVČÍKOVÁ M., 2016) Největším problémem je odběr velkého množství vody za krátký časový úsek, navíc v období s minimálním průtokem. Při velkém snížení průtoků v zimních měsících dochází k vymrznutí koryt vodních toků a tím k likvidaci živých organismů žijících ve vodě.

Dalším problémem souvisejícím s technickým zasněžováním je prodloužení doby sněhové pokrývky na horských loukách o 2-3 týdny, čímž dochází ke změně původní druhové skladby rostlin, jak uvádí J. Flousek v pořadu Natura. (Ševčíková, 2016) Z květnatých luk se tak postupně stanou v horizontu 10 – 20 let louky s chudou druhovou skladbou. S tímto problémem je spojen i další negativní faktor, eroze půdy. K té dochází vlivem rychlého tání v jarních měsících a změnou druhové skladby rostlin. Každodenní úpravou sjezdových tratí je zhutňován nejen sníh na sjezdovce, ale i půda pod sněhem. Zhutnělá půda nemá takovou zasakovací schopnost jako nezhutnělá a dochází k rychlému povrchovému odtoku, což může mít za následek nejen erozi půdy, ale i zvýšení hladin řek potažmo povodně.

Provozovatelé lyžařských areálů mají na toto téma trochu jiný pohled. Jak uvádí pan L. Knot v pořadu Pro a proti. (ŠEVČÍKOVÁ M., 2016), technickým zasněžováním pouze dochází k zadržování vody v krajině, což ničemu nevadí.

Pokud bude pokračovat dlouhodobý trend oteplování, bude téma technické zasněžování stále více aktuální. Pro zimní střediska nejen v České republice je dostatek sněhu v zimním období alfa a omegou podnikání. Vývoj v posledních letech nám ukázal, že hranice přírodního sněhu se posouvá stále výš, proto se zimní střediska bez technického zasněžování již neobejdou.

## 7.2. Návrh doporučených změn

Vhodnou alternativou pro eliminaci odběru vody pro technické zasněžování při nízkých průtocích je výstavba retenčních nádrží. Výhoda spočívá v naplnění nádrží při průměrných či nadprůměrných průtocích v korytech toků, čímž nedochází k negativnímu ovlivnění toku. Nádrže bývají většinou víceúčelové, pro požární účely a pro zasněžování. V Krkonoších je postavena retenční nádrž na Černé hoře, u horní stanice kabinkové lanovky.



*Obrázek 12: Požární a retenční nádrž na Černé hoře v Krkonoších (vlastní fotodokumentace)*

Nevýhodou retenčních nádrží je zábor zemědělské či lesní půdy a velká zátěž přírody většinou v těžko dostupných místech. V Krkonoších by se vždy jednalo o území národního parku KRNAP.

Pro lepší vyhodnocení vlivu technického zasněžování na hydrologii povodí by bylo vhodné získat přesnější a dlouhodobější data z povodí. Dále se zaměřit na výpar z měnícího se pokryvu v důsledku druhového zchudnutí a erozi na strmých svazích. Z těchto důvodů je toto téma vhodné pro další detailnější studie.

## 8. Přehled literatury a použitých zdrojů

**BROŽA V. A KOL., 2005:** Přehrady Čech, Moravy a Slezka, Knihy 555, Praha, 256s.

**2005:** Knihy 555, Liberec

**ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2015:** Síť monitoringu povrchových vod, online: <http://hydro.chmi.cz/hydro/>, cit. 19.3. 2016

**ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2016:** Rozložení vodní hodnoty sněhu, online: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snih/aktual.htm>, cit. 19.3.2016

**ČIHAŘ, M. (2002):** Naše hory, Ottovo nakladatelství, Praha, 280 s.

**DAVID, P., DAVID, P. ml., LUDVÍK, P., 2010:** Česko všemi smysly, Krkonoše, Praha, 175 s.

**De JONG, C., 2007:** Artificial snow drains mountain resources, online: <http://environmentalresearchweb.org/cws/article/opinion/3070>, cit. 14.10.2015

**DEMEK, J. A KOL., 1987:** Zeměpisný lexikon ČSR, Hory a nížiny, Brno, 584 s.

**DUCHÁČEK, 2009:** Hydrologický režim Labského dolu, 90 s.

**HRÁDEK F. a PETR K. 2002:** Hydrologie. Vyd. 1. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, Lesnická fakulta ve vydavatelství Credit, 2002, 271 s. ISBN 80-213-0950-4.

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

**FLOUSEK J., HARTMANOVÁ O., ŠTURSA J., POTOCKI J., 2007:** Krkonoše - příroda, historie, život, Baset, Praha, 863 s.

**GEPRO (2016):** MISYS pro Microsoft Windows

**JONES H. G., DEVARENNES G., 1995:** The chemistry of artificial snow and its influence on the germination of mountain flora. IAHS Publication, 228, s. 350-360.

**KUKLIŠ L., 2007:** Umělé zasněžování škodí přírodě a vyčerpává vodní zdroje, online: <http://gnosis9.net/search3.php>, cit. 19.3.2016



**MURDYCHOVA, P. 2012:** Vliv umělého zasněžování na bilanci odtoku v horských povodích, 61 s.

**MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2001:** Vyhláška ministerstva zemědělství č. 403/2001Sb.: o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci, § 3.

**NARODNI GEOPORTAL INSPIRE (2015):** Mapové výstupy fyzicko geografických charakteristik povrchu, online: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>, cit. 14.10.2015

**NĚMEC J. 1953, HLADNÝ J. 1932:** Voda v České republice, editoři Jan Němec, Josef Hladný, Akvarely Karel Kubíček, Praha, Consult, 2006, 253 s., ISBN 80-903482-1-1.

**NETOPIIL, R. (1984):** Fyzická geografie I. Praha: SPN, 274 s.

**NOVOTNÁ H. A BARTOŠOVÁ S., 2014:** Umělé zasněžování zatěžuje přírodu a je energeticky náročné, varují experti, online: [http://www.rozhlas.cz/zpravy/priroda/\\_zprava/1328436](http://www.rozhlas.cz/zpravy/priroda/_zprava/1328436), cit. 18.3.2016.

**PACCARD, P. 2010:** Gestion durable de l' eau en montagne : Le cas de la production de neige en stations de sports d' hiver. These de doctorat de geographie, Universite de Savoie, 482 s.

**PATOČKA C., NĚMEC J., 1956:** Základy hydrologie pro zemědělce a lesníky, 193 s.

**PAUČKOVÁ M., 2007:** Povolení k odběru povrchových vod z Bílého Labe pro úpravu vody ve Špindlerově Mlýně, 3 s.

**POLÁKOVÁ H., (2005):** Povolení k nakládání s povrchovými vodami – zasněžovací systém lyžařského areálu STOH, 5 s.

**POVODÍ LABE 2015:** Roční přehled nádrží povodí Labe – Labská 1998 – 2015.

**PŘÍSPĚVOVATELÉ WIKIPEDIE, 2016:** Technický sníh, online: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Technický\\_sníh](https://cs.wikipedia.org/wiki/Technický_sníh), cit. 19.3.2016.

**RIEDL O., ZACHAR D. A KOLEKTIV 1972:** Lesotechnické meliorace, SZN 1972, 568s.

**SOSNA I., 2008:** Technický sníh není zlý, online: (<http://snow.cz/clanek/1495-technicky-snih-neni-zly>), cit. 19.3.2016

**SYNÁČKOVÁ M. 2001:** Základy vodního hospodářství

**ŠÁMALOVÁ Z., 2014:** Labe v Krkonoších, Hradec Králové: Povodí Labe, státní podnik, 32 s.

**ŠEVČÍKOVÁ M., 2016:** Jaký dopad mají zimní sporty na přírodu a životní prostředí? Jaké jsou klady a zápory umělého zasněžování? Jaký dopad má umělý sníh na vegetaci, co dělá s půdou a říčními koryty?, online: <http://hledani.rozhlas.cz/iRadio/?query=&reader=&stanice%5B%5D=%C4%8CRo+Plus&porad%5B%5D=Natura+Plus&offset=10>, cit. 19. 3.2016

**ŠTURSA J., 1977:** Prameny Labe, Vrchlabí, Správa Krkonošského národního parku, 120 s.

**ŠTURSA J., 1997:** Krkonoše: Kouzlo Národního parku, Jilemnice, Gentiana, 32 s., ISBN 80-902133-4-0.

**ŠTURSA J., 2009:** Voda v Krkonoších, Vrchlabí, Správa Krkonošského národního parku, Ministerstvo životního prostředí Prah, 32 s. ISBN 978-80-86418-68-1.

**VANHAM D., A KOL., 2009:** Water demand for snowmaking under climate change conditions in an alpine environment. In: Borsdorf, A.; Stotter, J.; Veulliet, E. (Ed.): Managing Alpine Future. Proceedings of the Innsbruck Conference 15-17 October 2007. IGFForschungsberichte, Band 3, Wien.

**ZÁKON Č. 254/2001 Sb.,** Vodní zákon, ve znění pozdějších předpisů

**ZEZULA, P., 2011:** Historie výroby umělého sněhu, online: <http://www.skivm.cz/cs/ski-areal/historie>, cit. 15.10.2015

**ZÍTEK J., 1965:** Hydrologické poměry Československé socialistické republiky, Vyd. 1. Editor, Praha, 414s.

## 9. Seznam obrázků

Obrázek 1: Povodí

Obrázek 2: Hypsografická křivka

Obrázek 3: Orientační hodnoty výparu z volné vodní hladiny

Obrázek 4: Struktura přírodního a technického sněhu

Obrázek 5: Ventilátorové sněžné dělo

Obrázek 6: Zasněžovací tyč

Obrázek 7: Přehledová mapa horního toku Labe

Obrázek 8: Mapa povodí Labe s uzávěrovým profilem na VN Labská

Obrázek 9: Rozložení vodní hodnoty sněhu na území České republiky

Obrázek 10: Geologické rozložení Krkonoš

Obrázek 11: Geologické podloží Krkonoš

Obrázek 12: Požární a retenční nádrž na Černé hoře v Krkonoších

## 10. Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení srážek

Tabulka 2: Přibližné rozdělení výparu na jednotlivé měsíce v roce

Tabulka 3: Hodnoty teplotního faktoru

Tabulka 4: Orientační hodnoty objemové hmotnosti sněhu

Tabulka 5: Charakteristiky řešeného povodí

Tabulka 6: Roční přehled nádrží povodí Labe – VN Labská

Tabulka 7: Souhrn vodní bilance řešeného povodí v letech 1998 – 2015

Tabulka 8: Souhrn vodní bilance nádrže Labská v letech 1998 – 2015

Tabulka 9: Celkové roční odběry vody pro zasněžování

Tabulka 10: Celkové měsíční odběry vody pro zasněžování

Tabulka 11: Plochy zasněžovaných sjezdových tratí

Tabulka 12: Spotřeba vody pro technické zasněžování sjezdových tratí

Tabulka 13: Porovnání srážek v měsících zasněžování a odběrů vody pro zasněžování

## 11. Seznam grafů

Graf 1: Porovnání přítoků, odtoků a srážek VN Labská

Graf 2: Hydrologická bilance VN Labská bez přítoků a odtoků

*Graf 3: Vývoj srážek a odtoku v povodí 1998 - 2015*

Graf 4: Vývoj spotřeby vody po rocích pro technické zasněžování 2009 – 2015

Graf 5: Vývoj spotřeby vody po měsících pro technické zasněžování 2009 - 2015

## **12. Seznam rovnic**

Rovnice 1: součinitel tvaru povodí

Rovnice 2: Spád povodí

Rovnice 3: Sklon svahů

Rovnice 4: Objem vypařené vody

Rovnice 5: Bilanční rovnice nádrže a povodí

Rovnice 6: Intercepce

Rovnice 7: Zásoba vody ve sněhové pokrývce