

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



Česká
zemědělská
univerzita
v Praze

BAKALÁRSKA PRÁCA

2023

MARTIN DZURNÁK

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ
A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

DLOUHODOBÝ VÝVOJ VYHLAŠOVÁNÍ STUPŇŮ
LAVÍNOVÉHO NEBEZPEČÍ NA ČESKÝCH
A SLOVENSKÝCH HORÁCH

DLHODOBÝ VÝVOJ VYHLASOVANIA STUPŇOV
LAVÍNOVÉHO NEBEZPEČENSTVA NA
ČESKÝCH A SLOVENSKÝCH HORÁCH

BAKALÁRSKA PRÁCA

Vedúci práce: Ing. Roman Juras, Ph.D.
Bakalant: Martin Dzurňák

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Dzurňák

Krajinářství

Název práce

Dlouhodobý vývoj vyhlásování stupňů lavinového nebezpečí na českých a slovenských horách

Název anglicky

Long-term development of avalanche danger levels in the Czech and Slovak mountains

Cíle práce

1. Literární rešerše k problematice vyhlásování stupňů lavinového nebezpečí.
2. Vyhodnocení četností lavinových stupňů v průběhu zimních sezón ve vybraných pohořích.

Metodika

Student na základě poskytnutých denních dat lavinových stupňů vyhodnotí vývoj četnosti jednotlivých případů na několika českých a slovenských pohořích. Analýza uvažuje především sezónní a měsíční vyhodnocení četností.

Zároveň vypracuje literární rešerši, kde vyhodnotí současné poznatky v dané problematice.

Doporučený rozsah práce

35 stran

Klíčová slova

lavinové nebezpečí, lavinový stupeň, pohoří, laviny

Doporučené zdroje informací

Schweizer, J., Mitterer, C., Techel, F., Stoffel, A. and Reuter, B.: On the relation between avalanche occurrence and avalanche danger level, *Cryosph.*, 14, 1–20, doi:<https://doi.org/10.5194/tc-14-737-2020>, 2019.

Strapazzon, G., Schweizer, J., Chiambretti, I., Brodmann Maeder, M., Brugger, H. and Zafren, K.: Effects of Climate Change on Avalanche Accidents and Survival, *Front. Physiol.*, 12(April), doi:10.3389/fphys.2021.639433, 2021.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Roman Juras, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2023

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2023

Prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému: dlhodobý vývoj vyhlasovania stupňov lavínového nebezpečenstva na českých a slovenských horách vypracoval samostatne a citoval som všetky informačné zdroje, ktoré som v práci použil a ktoré som rovnako uviedol na konci práce v zozname použitých informačných zdrojov.

Som si vedomý, že sa na moju bakalársku prácu plne vzťahuje zákon . 121/2000 Sb., o právu autorskom, o právach 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.

Som si vedomý, že odovzdaním bakalárskej práce súhlasím s jej zverejnením podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to aj bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

Svojim podpisom taktiež prehlasujem, že elektronická verzia práce je totožná s verziou tlačenou a že s údajmi uvedenými v práci bolo zaobchádzané v súvislosti s GDPR.

V..... dňa.....

.....

(podpis autora práce)

Pod'akovanie

Na tomto mieste sa chcem poďakovať vedúcemu mojej práce, Ing. Romanovi Jurasovi P.hD., za jeho nápomocný a trpezlivý prístup v priebehu písania tejto práce. Ďalej sa chcem poďakovať rodine a blízkym, za ich podporu a motiváciu.

ABSTRAKT

Problematika lavínového nebezpečenstva sa týka najmä ľudí pohybujúcich sa v oblastiach potenciálne ohrozených lavínami. Lavínové nebezpečenstvo je ako jav podmienený určitými faktormi na základe ich analýzy predpovedateľné, čoho výsledkom je stupeň lavínového nebezpečenstva, ktorý je s cieľom ochrany životov a majetku ľudí v horských oblastiach denne vyhlasovaný službami lavínovej prevencie podľa zásad Medzinárodnej stupnice lavínového nebezpečenstva.

Cieľom práce je na základe dát poskytnutých Slovenským Strediskom lavínovej prevencie a Horskou službou Českej republiky obsahujúcich záznamy vyhlásených stupňov lavínového nebezpečenstva pre konkrétne pohoria hodnotenie vývoja počtov stupňov, najmä v kontexte ich sezónnych a mesačných zmien a pomocou vhodnej úpravy a následnej vizualizácie v grafoch. Práca predstavuje prvé hodnotenie dlhodobých záznamov o stupňoch lavínového nebezpečenstva prevedené v slovenských a českých horách a otvára ďalšie možnosti výskumu problematiky vývoja vyhlasovania lavínových stupňov práve na území českých a slovenských pohorí. Rešeršná časť práce sa zaoberá základmi lavínovej problematiky, históriou a súčasnosťou lavínovej prevencie.

Kľúčové slová:

Lavínové nebezpečenstvo, stupeň lavínového nebezpečenstva, pohorie, lavíny

ABSTRACT

The issue of avalanche danger mainly concerns people moving in areas at risk of avalanches. Avalanche danger is as a phenomenon conditioned by certain factors and based on their predictability, avalanche danger, which is the goal of protecting the life and property of people in mountain areas declared daily by avalanche prevention services based on the International Avalanche Danger scale.

The aim of the thesis is to evaluate development of the number of degrees, especially in the context of seasonal and monthly changes, based on data provided by the Slovak Center for Avalanche Prevention and the Mountain Service of the Czech Republic on all records of declared avalanche danger levels for specific mountain ranges by using the help of appropriate modification and subsequent visualization in graphs. The work represents the first assessment of records of avalanche danger levels carried out in Slovak and Czech mountains and opens up further possibilities for research into the issue of the development of the declaration of avalanche levels in the territory of the Czech and Slovak mountains. The review part of the work is about basics of avalanche issues, the history and the present of avalanche prevention.

Keywords:

Avalanche danger, avalanche danger level, mountain range, avalanches

Obsah

1. Úvod	12
2. Ciele	13
3. Rešerš	14
3.1 Snehová lavína	14
3.1.1 Vznik lavín.....	14
3.1.2 Morfológická klasifikácia lavín	14
3.1.3 Typické lavínové problémy	15
3.2 Klasifikácia lavín.....	17
3.2.3 Podľa obsahu tekutej vody	19
3.2.4 Podľa polohy klznej plochy	20
3.3 Následky lavín	20
3.4 Činnosť človeka.....	20
3.4.1 Historický vývoj lavínovej prevencie na Slovensku	21
3.4.2 Historický vývoj lavínovej prevencie vo Švajčiarsku	22
3.4.3 Historický vývoj lavínovej prevencie v Rakúsku	22
3.4.4 Historický vývoj lavínovej prevencie v Česku.....	23
3.4.5 Historický vývoj lavínovej prevencie v USA.....	23
3.4.6 Historický vývoj lavínovej prevencie v Kanade	24
3.5 Lavínová predpoveď.....	24
3.5.1 Stupnica lavínového nebezpečenstva.....	24
3.5.2 Medzinárodné zjednotenie stupnice	25
3.5.3 Popis stupnice.....	25
3.5.4 Popis jednotlivých stupňov	25
3.5.5 Obsah lavínovej predpovede	27
3.5.6 Zostavenie lavínovej predpovede.....	28
3.5.7 Pracovný postup určenia stupňa lavínového nebezpečenstva.....	29
3.5.8 Bližšia špecifikácia výskytu lavínových problémov	31
3.6 Závislosť stupňa nebezpečenstva a pádu lavín	33
4. Metodika	34
4.1 Dáta	34
4.1.1 Úprava dát	34
4.1.2 Vizualizácia dát	35
5. Výsledky	37
5.1 Porovnanie dĺžky sezón	37
5.2 Porovnanie zmeny počtu stupňov v sezónach.....	38
5.3 Porovnanie zmeny počtu stupňov v priebehu sezón.....	39
5.4 Celkový počet stupňov v pohoriach.....	40
6. Diskusia	41

6.2 Porovnanie výsledkov medzi dekadami.....	42
6.2 Porovnanie výsledkov s inými zdrojmi.....	42
6.4 Možnosti ďalšieho výskumu	43
8. Záver	44
9. Zoznam použitej literatúry	45

1. Úvod

Jav snehových lavín predstavuje objektívny faktor ohrozujúci životy a majetok ľudí vo vysokohorskom prostredí. Neprebádanosť tohto prírodného javu vyvolávala v ľuďoch spočiatku strach z neznámej, obrovskej sily, ohrozujúcej ich životy, čo sa však časom a hlavne skúmaním tohto javu zmenilo. V súčasnosti sú lavíny popísané, klasifikované a aj predpovedané. Ako komplexný jav ovplyvnený množstvom faktorov, ktorých detailný výskum je v súčasnosti prakticky nemožné vykonať v rozsahu pohorí v ktorých lavínové nebezpečenstvo hrozí, je lavínové nebezpečenstvo predpovedané na základe analýzy lavínovotvorných činiteľov v jednoducho komunikovateľnom stupni lavínového nebezpečenstva.

Medzinárodná stupnica lavínového nebezpečenstva používaná práve aj na českých a slovenských horách, ktorej predchádzali pôvodne medzi krajinami nejednotné stupnice (s rôznym počtom a definíciou jednotlivých stupňov lavínového nebezpečenstva) tvorí v súčasnosti základ lavínovej prevencie. Samotné stupne lavínového nebezpečenstva sú komunikované širokej spoločnosti v rámci predpovede počasia, avšak pre potreby a ochranu ľudí pohybujúcich sa vo voľnom teréne, v českých a slovenských horách najmä za účelom rekreácie, je lavínová predpoveď doplnená detailnejším popisom hroziaceho lavínového nebezpečenstva. Stupeň lavínového nebezpečenstva, v súčasnosti na päťstupňovej škále, je vyhlasovaný pre jednotlivé pohoria denne, v prípade hrozby lavínového nebezpečenstva.

Dlhodobý vývoj vyhlasovania lavínovej predpovede na českých a slovenských horách nebol doposiaľ hodnotený. Jeho analýza v tejto práci má za cieľ preskúmať vývojové trendy vo vyhlasovaní stupňov lavínového nebezpečenstva, potenciálne zmeny v ich počtoch v rámci jednotlivých sezón, ale aj dlhodobo, medzi jednotlivými sezónami. Základ analýzy tvoria dáta obsahujúce pre každé pohorie dátum a úroveň stupňa v tom dni vyhláseného. Dáta boli poskytnuté Slovenským Strediskom lavínovej prevencie Horskej služby (dáta z Vysokých, Nízkyh a Západných Tatier, Veľkej a Malej Fatry) a Horskou službou Českej republiky (z pohoria Krkonoše). Práca je doplnená literárnou rešeršou problematiky lavín a lavínovej prevencie (jej históriou, princípmi a metódami).

2. Ciele

Cieľom práce je v prvom rade vyhodnotiť trendy vo vyhlasovaní stupňov lavínového nebezpečenstva v jednotlivých pohoriach na Slovensku a v Česku. Z dôvodu doteraz chýbajúcej analýzy podobného typu (porovnania dlhodobých záznamov o stupňoch lavínového nebezpečenstva), je cieľom tejto práce zistiť prítomnosť a charakter prevládajúcich trendov v ich vyhlasovaní a to čiastkovými cieľmi:

Literárnej rešerše lavínovej problematiky, historického vývoja lavínovej prevencie a najmä súčastí vyhlasovania stupňov lavínovej prevencie.

Úpravy poskytnutých dát do vhodnej formy k ich úprave.

Vizualizácie dát, konkrétne počtov jednotlivých stupňov v priebehu sezón (po jednotlivých mesiacoch), alebo medzi sezónami (počtov stupňov naprieč pohoriami v sezónach), s možnosťou ich porovnania medzi dekadami.

Porovnanie informácií z grafov, hľadanie prípadných trendov vo vývoji ich počtov, ich popis a hypotetické stanovenie dôvodov týchto trendov.

3. Rešerš

3.1 Snehová lavína

Lavína je prírodný jav charakteristický pre zasnežený horský terén, pri ktorom nastáva náhly posun masy snehu po svahu, hlavne pôsobením gravitácie. Lavína predstavuje pre ľudí pohybujúcich sa v horách jedno z najväčších nebezpečenstiev (Biskupič M., 2018). Pre svoju kinetickú energiu v kombinácii s vysokými tlakmi v nej pôsobiacimi znamená lavína vážnu hrozbu pre ľudský život a majetok (Ancey C., 2001). Pojem lavíny opisuje celý pohyb od uvoľnenia, cez transport až po ustálenie pohybu v zóne akumulácie (Hanausek, 2000).

3.1.1 Vznik lavín

Snehová lavína je uvoľnená v prípade, že hmotnosť snehu akumulovaného na svahu presahuje sily v rámci snehovej pokrývky, alebo medzi snehovou pokrývkou a základnou vrstvou, ktoré držia sneh na mieste. Rovnováha medzi týmito silami môže byť narušená novou snehovou nádielkou, vnútornou metamorfózou snehu, alebo externým dodatočným zaťažením, spôsobeným napríklad lyžiarom (Daffern, 2017). Väčšina lavín sa pohybuje stovky metrov pomerne nízkou rýchlosťou, avšak niektoré môžu dosiahnuť vzdialenosť 15 kilometrov a rýchlosť až 100 m/s (360 km/h). Proces spomaľovania lavíny a akumulácie nastáva až v prípade že sa sklon svahu na dostatočnú vzdialenosť zníži na 20 - 10° (Ancey C., 2001).

Tri hlavné skupiny ovplyvňujúce vznik lavín sú podľa (Delparte, 2008) terén, snehová pokrývka a meteorologické podmienky. Komplexnú interakciu medzi nimi je možné preskúmať podľa (Schweizer et al., 2003) pomocou metódy asociácie lavínotvorných faktorov, alebo štúdiom a modelovaním fyzikálnych a mechanických procesov tvorby lavín. Práve prvý prístup je väčšinou používaný k predpovedi lavín, pri čom sa empirickým hodnotením vplyvu faktorov prispievajúcich formovaniu lavín odhaduje pravdepodobnosť a charakteristika lavín a vytvára sa tak lavínová predpoveď.

3.1.2 Morfológická klasifikácia lavín

Pásmo vzniku - odtrhu

Topograficky najvyšší bod lavíny s najväčším ťahovým napätím v rámci snehovej pokrývky. Miesto v ktorom nastáva odtrh – rozpojenie snehovej pokrývky a vzniká lavína (Milan, 2006).

Transportné pásmo

Úsek lavíny, v ktorom je prúdením snehu zreteľne vytvorená lavínová dráha. Nachádza sa medzi zlomom odtrhu a miestom spomalenia pohybu snehu. Podľa priečného tvaru dráhy sú lavíny rozdelené na **plošné**, pri ktorých je prevládajúci rozmer šírky a hranice nie sú tvorené terénom a **žľabové**, ktorých priečny profil terénu je konkávny a dráha úzka a dlhá (Milan, 2006).

Pásmo nánosů

Miesto najnižšieho bodu lavíny, v ktorom sú snehové masy nepravidelne hromadené a pohyb lavíny úplne zastavený. Vzniká nános, ktorého prímеси ukazujú ničivé účinky lavíny. Jeho prieskum je zo všetkých častí lavíny najjednoduchší, keďže nánosy sú dlhší čas dostupné a je možné z nich získať množstvo údajov, ako rozmery (šírka, dĺžka, maximálna výška čela a priemerná hĺbka haldy), z ktorých je vypočítavaný obsah a hmotnosť snehu v lavíne (Milan, 2006).

3.1.3 Typické lavínové problémy

K hodnoteniu situácií nastávajúcich v lavínovom teréne Európska služba varovania pred lavínami (EAWS) definovala päť typických lavínových problémov. Päť lavínových problémov opisuje opakujúce sa lavínové situácie na základe vlastností snehu.

Tento zoznam používajú ako rekreanti, pri stanovovaní lavínového nebezpečenstva, tak aj profesionáli, pri zostavovaní predpovede lavínového nebezpečenstva. Konkrétne definície klasifikujú pre jednotlivé lavínové problémy očakávané typy lavín, lokalizáciu slabšej vrstvy v snehovom profile, charakteristiku uvoľňovacieho mechanizmu lavíny a okrem opisu trvania problému aj odporúčania pohybu a správania sa v lavínovom teréne (EAWS, 2017).

a) Nový sneh

Tento lavínový problém súvisí s pribúdajúcim alebo pribudnutým snehom a vznikom novej vrstvy v snehovom profile a prejavuje sa na vrstevnatosti snehovej pokrývky. Nový sneh ešte nie je dostatočne previazaný s podkladom (starou vrstvou snehu alebo so základom) a zároveň svojou váhou vytvára kritickú záťaž na vrstvu pod ním, čo zvyšuje riziko pádu lavíny do doby, kým sa vrstva nového snehu dostatočne nespevní. Podľa (Schweizer et al., 2003) sa vo všeobecnosti považuje za kritické množstvo k prirodzenému uvoľneniu nového snehu



Obrázok 1: Znárodnenie lavínového problému "nový sneh"

vrstva hrúbky 30 – 50 cm. Vrstva nového snehu hrúbky asi 1 m nahromadená v rámci jednej periódy sneženia je dostatočná k iniciácii lavín extrémnych. (Schweizer et al., 2003) zároveň dodáva, že samotná informácia o množstve nového snehu nie je dostatočná k vysvetleniu lavínovej problematiky. Pre extrémne lavíny sú ale nové snehové zrážky najsilnejším predpovedným parametrom (Föhn, 2002).

b) Vetrom naviaty sneh

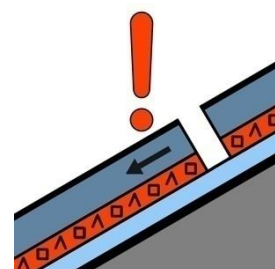
Vietor je po novom snehu považovaný za najvýznamnejší lavínový faktor. Silou vetra je sneh prenášaný počas sneženia, ale aj mimo neho. Sneh transportovaný vetrom sa môže rýchlo nerovnomerne hromadiť a v záveterných svahoch, čím vytvára oblasti s vysokou koncentráciou napätia (tzv. snehové dosky). Tie v snehovom profile spôsobujú nestabilné vrstvy rôznej tvrdosti a hustoty (Föhn, 2002). Podľa (de Quervain, 1965) je sneh pôsobením vetra krehkejší a novovytvorené vrstvy sú náchylnejšie na lavíny. Vďaka faktu, že následky vetra sú závislé na jeho vlastnostiach, vieme predpokladať veľkosť lavínového nebezpečenstva z meteorologických dát (smer, rýchlosť vetra).



Obrázok 2: znázornenie lavínového problému "vetrom naviaty sneh"

c) Starý sneh/trvalo slabé vrstvy

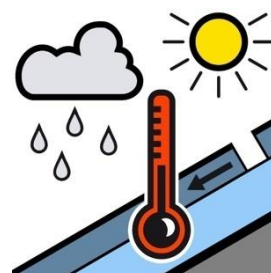
Problém spôsobený prítomnosťou kritických vrstiev nachádzajúcich sa v rámci starej snehovej pokrývky, ktoré sú typicky tvorené druhmi snehu vzniknutými premenou snehových kryštálov na nestabilné formy (EAWS, 2017). Tento lavínový problém pretrváva dlhú dobu a je náročné ho v teréne rozpoznať (Mair, 2018).



Obrázok 3: znázornenie lavínového problému "trvalo slabé vrstvy"

d) Mokrý sneh

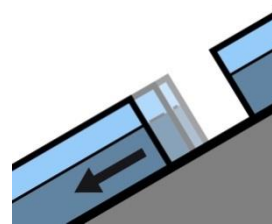
Problém nastávajúci v jarnom období v súvislosti s oteplením a roztápaním snehu, alebo pôsobením dažďa, kedykoľvek počas zimnej sezóny. Snehový profil sa nasycuje vodou, následkom čoho oťažieva, stráca svoju vnútornú súdržnosť, a stáva sa náchylným k pádu lavíny (EAWS, 2017).



Obrázok 4: znázornenie lavínového problému "mokrý sneh"

e) Kĺzavý sneh

Na svahoch trávnatých alebo skalnatých s minimom nerovností môže nastať zosun celej snehovej pokrývky po základovom teréne. Často je tento lavínový problém spojený so situáciami, kedy je snehová pokrývka hrubá, ale nemá žiadne, alebo má len málo krehkých vrstiev. Lavíny tohto typu sa môžu vyskytnúť bez ohľadu na to, či je snehová pokrývka studená a suchá alebo teplá a mokrá. Je ich ťažké predvídať, ale v mnohých prípadoch sa trhliny na povrchu snehu objavujú ešte pred spustením lavíny (EAWS, 2017).



Obrázok 5: znázornenie lavínového problému "kĺzavý sneh"

3.2 Klasifikácia lavín

Snehové lavíny sú klasifikované z viacerých dôvodov. Jedným z hlavných je lepšie porozumenie a možnosť analýzy ich vlastností, príčin a správania. Kategorizáciou snehových lavín podľa kritérií ako je ich veľkosť, tvar a spôsob formovania môžu byť vyvinuté lepšie stratégie k zmierneniu ich rizík a predpovede ich výskytu. Klasifikácia snehových lavín môže byť užitočná aj ku komunikačným účelom, najmä medzi profesionálmi v oblasti lavín a verejnosťou. Jednotný klasifikačný systém umožňuje ľuďom efektívnu komunikáciu o jednotlivých lavínových incidentoch a jednoduchšie zdieľanie informácií o nich.

3.2.1 Podľa veľkosti

Pri hlásení lavínových udalostí je potrebné zahrnúť odhad alebo zameranie ich veľkostí, čo môže pri jednotnom (jednoduchom a konzistentnom) postupe priniesť značné výhody, napríklad možnosť porovnania dát z rôznych snehových cyklov, oblastí alebo rokov, z čoho profitujú prognostici, pozorovatelia a aj lyžiar. Po lavínových udalostiach je však len minimum vizuálnych záznamov a tým pádom pozorovateľom ostáva len pár merateľných faktorov, ako napríklad hmotnosť, rozmery dráhy, vzdialenosť dobehu lavíny, hĺbka nánosu, a obsah vody v lavínovom nánose. Ďalšie premenné ktoré je možné odhadnúť sú plocha zasiahnutá padajúcou lavínou, poškodenie stavieb a vegetácie a stupeň zadržania terénom (McClung & Schaerer, 1981).

Európska služba varovania pred lavínami (EAWS, 2017) rozdeľuje veľkosti lavín do piatich veľkostných tried (na základe kanadskej klasifikácie). Používaná veľkostná trieda lavín je podľa (McClung & Schaerer, 1981) definovaná deštruktívnym potenciálom, dĺžkou dojazdu a rozmermi. Nevýhodou Integrácie všetkých merateľných lavínovotvorných premenných s cieľom odhadu veľkosti lavín môže byť potrebný subjektívny úsudok, ktorý je však u skúsených pozorovateľov jednotný (McClung & Schaerer, 1981).

Veľkosť 1: Malá (splaz)

Predstavuje minimálne nebezpečenstvo zasypania (hrozí ale nebezpečenstvo pádu). Zosun snehu sa zvyčajne zastavuje ešte na svahu. Typická hmotnosť lavíny je do 10 ton, dĺžka dojazdu je do 10 metrov, a spôsobený nárazový tlak je do 1 kilopascalu.

Veľkosť 2: Stredná

Môže zasypať, zraniť alebo zabiť človeka. Zvyčajne sa lavína zastavuje na konci svahu. Typická hmotnosť lavíny je do 100 ton, dĺžka dojazdu je do 100 metrov, a spôsobený nárazový tlak je do 10 kilopascalov.

Veľkosť 3: Veľká

Môže zasypať a zničiť auto, poškodiť nákladné auto, zničiť malú budovu alebo zlomiť niekoľko stromov. Takáto lavína môže prejsť rovinným terénom (sklonu značne pod 30°), na vzdialenosť menšiu ako 50 m. Typická hmotnosť lavíny je do 1000 ton, dĺžka dojazdu je do 1000 metrov, a spôsobený nárazový tlak je do 100 kilopascalov.

Veľkosť 4: Veľmi veľká

Môže zasypať a zničiť železničný vagón, veľké nákladné auto, niekoľko budov alebo časť lesa (do štyroch hektárov). Prechádza rovinným terénom (výrazne pod 30°) na vzdialenosti viac ako 50 m a môže dôjsť do údolia. Typická hmotnosť lavíny je do 1000 ton, dĺžka dojazdu je do 2 000 metrov, a spôsobený nárazový tlak je do 500 kilopascalov.

Veľkosť 5: Extrémne veľké

Lavína s potenciálom zničiť dedinu alebo les s rozlohou 40 hektárov. S potenciálom spôsobiť katastrofálne škody zasahuje až dno údolia. Typická pre 5. stupeň lavínového nebezpečenstva (EAWS). Hmotnosť lavíny je do 10 000 ton, dĺžka dojazdu je do 3 000 metrov, a spôsobený nárazový tlak je do 1 000 kilopascalov.

3.2.2 Podľa spôsobu vzniku

Odlíšne typy lavín predstavujú rôzne úrovne nebezpečenstva a tým pádom si vyžadujú rozdielne bezpečnostné opatrenia. Porozumenie typu lavíny, ktorá sa pravdepodobne vyskytne v určitej oblasti, môže ľuďom pomôcť prijať vhodné bezpečnostné opatrenia. Vznik lavín ovplyvňujú faktory, ako je napríklad typ snehu, teplota a sklon svahu. Vďaka pochopeniu týchto faktorov spôsobujúcich odlišné typy

lavín, môžu lavínové služby presnejšie predpovedať miesto a čas výskytu lavín. Rozdeľujú sa na:

Lavíny z voľného snehu

Lavíny trojuholníkového tvaru a začínajúce v jednom bode. Obvykle spôsobené stratou súdržnosti v rámci povrchovej snehovej vrstvy, čo zvyčajne zahŕňa uvoľnenie malého množstva snehu, ktoré pohybom dole svahom postupne naberá ďalší sneh. Úvodná strata súdržnosti súvisiaca s relatívne vyššími teplotami vzduchu môže byť zapríčinená zmenami vlastností snehu, alebo vplyvom slnečného žiarenia či dažďa (Hollý, 1990).

Doskové lavíny

Lavíny ľahko identifikovateľné podľa ich širokej línie zlomu. Vznikajú v prípade, že súdržná vrstva snehu (označovaná ako doska) ležiaca na slabšej vrstve a dostatočne veľkej ploche je dodatočne zaťažená. Sklon svahu na ktorom je možné uvoľnenie doskovej lavíny je minimálne 30°. Doskové lavíny sú kvôli väčšiemu množstvu uvoľneného snehu nebezpečnejšie ako lavíny z voľného snehu a predstavujú aj väčšinu smrteľných lavín (Schweizer J. , 2014).

Kízavé lavíny

Vyskytujú sa na hladkom podklade ako je sploštená tráva alebo hladké skalné dosky. Tento typ lavín často uvádza do pohybu veľký objem snehu a má veľký deštruktívny potenciál. Kízavé lavíny sa uvoľňujú v situáciách, kedy sa znižuje trenie na rozhraní so zemou v dôsledku navlhčenia snehu (Jones, 2004).

3.2.3 Podľa obsahu tekutej vody

Obsah tekutej vody v snehu, z ktorého je lavína formovaná, je dôležitý faktor ovplyvňujúci jej vlastnosti (veľkosť, tvar, mechanizmus uvoľnenia a v konečnom dôsledku aj závažnosť jej následkov). Rozlišujeme lavíny zo suchého snehu, ktoré sú tvorené snehom s minimálnym obsahom tekutej vody a uvoľnené v dôsledku externého zaťaženia a naopak lavíny mokré, tvorené okrem snehu aj tekutou vodou, vznikajúce nedostatočnou súdržnosťou v rámci snehovej pokrývky (International Commission on Snow and Ice, 1981).

3.2.4 Podľa polohy klznej plochy

Rozlišujú sa lavíny povrchové a základové. U povrchových lavín sa sklzný horizont nachádza v rámci snehového profilu. Po páde povrchovej lavíny na mieste odtrhu ostáva vrstva snehu. Lavíny základové sa uvoľňujú na mieste kontaktu snehovej pokrývky so zemou a po ich páde na mieste odtrhu ostáva základový materiál (tráva, skala).

3.3 Následky lavín

Každá lavína sa prejavuje mnohými následkami v zasiahnutom priestore. Evidentné a závažné následky lavín sú škody spôsobené na technickej infraštruktúre, budovách a najmä na životoch ľudí. Následky na prírodnom prostredí na miestach s častým výskytom lavín sú negatívne ovplyvnenie klimatických, vodohospodárskych, vegetačných a pôdných pomerov (topením nahromadených más), čo má vplyv na oneskorenú vývoj alebo zmenu zloženia rastlinných spoločenstiev. Významnejšie sú pôdno-deštruktívne účinky spôsobujúce zhoršenie pôdno-ekologických pomerov na lavíniskách. Uvoľnená masa snehu s nadobudnutou ničivou silou taktiež ničí porasty kosodreviny a stromov, spôsobuje odlesnenie veľkých plôch a zvyšuje straty drevnej hmoty a náklady na ťažbu. Budovy zasiahnuté lavínami bývajú poškodené až zdemolované. Najvýznamnejšie následky majú lavíny na živote a zdraví zasiahnutých ľudí (Milan, 2006).

Vďaka štatistickému spracovaniu historických lavínových záznamov vieme, že v období medzi rokmi 1850 – 2000 je vo Vysokých Tatrách počet obetí lavín 128 (Vojtek, 2004) a (EAWS, 2023) uvádza 248 obetí v rámci všetkých pohorí na Slovensku. V Alpách prichádza v posledných desaťročiach o život v dôsledku lavín približne 100 ľudí ročne. Tento počet ostáva aj napriek medziročným zmenám relatívne konštantný. Zmena ale nastáva v počte obetí podľa lokality. Výrazne sa od 70. rokov 20. storočia znižuje počet úmrtí v kontrolovanom teréne (sídla a dopravné koridory) a naopak zvyšuje v nekontrolovanom teréne (väčšinou rekreačné nehody). Počet obetí lavín vo voľnom teréne sa v období medzi 60.- 80. rokmi 20. storočia takmer zdvojnásobil, avšak odvtedy, napriek výraznému nárastu počtu rekreatantov vo voľnom teréne, ostáva relatívne stabilný.

3.4 Činnosť človeka

Štúdium lavín pomáha pochopiť ich príčiny a následky, ktoré môžu spôsobiť ujmu na živote, či ničiť majetok alebo prerušiť dopravné a komunikačné siete. Skúmaním lavín sú vytvárané metódy ako im zabrániť, alebo minimalizovať ich dopady. Lavíny sú, ako opakujúci sa jav podmienený konkrétnymi faktormi, predpovedateľné. Ako pri charakteristických vlastnostiach počasia (striedajúcich sa

v nerovnako dlhých časových intervaloch), tak aj pri analýze lavínových situácií je možné konštatovať, že napriek špecifickému priebehu všetkých zimných období, sú všeobecné zákonitosti, ktoré možno vzhľadom na tvorbu lavín aplikovať na každé z nich. Sú to najmä synoptické typy počasia ovplyvňujúce v kombinácii s topografickými podmienkami veľkosť, frekvenciu a druhovú skladbu lavín (Hollý, 1990). (McClung D. M., 2002) definuje lavínovú predpoveď ako predpoveď súčasnej a budúcej nestability snehu v priestore a čase, vzhľadom na danú úroveň spúšťania lavín. Nebezpečenstvo lavín je v súčasnosti predpovedané na základe vedomostí a skúseností odborníkov, ktorí využívajú informácie o minulých a súčasných vlastnostiach snehu, poveternostných podmienkach, teréne, histórii lavín a snehovom profile (Dekanová, 2018).

3.4.1 Historický vývoj lavínovej prevencie na Slovensku

Slovenský hydrometeorologický ústav sa po lavínových udalostiach v období medzi rokmi 1924 – 1972, kedy na Slovensku v piatich hlavných lavínach, ktoré spolu postihli 105 ľudí, prišlo o život päťdesiat z nich rozhodol v 60. rokoch vydať prvé lavínové výstrahy. Tie boli komunikované prostredníctvom rádia každý štvrtok, z dôvodu informovanosti ľudí pred víkendom a oznamovali len, či výstraha bola alebo nie. Od polovice šesťdesiatych bolo zriadené a vybudované prvé stále pozorovacie zázemie patriace SHMÚ s jediným zamestnancom zodpovedným za systematické pozorovanie lavínovej situácie. V roku 1967 bola vydaná prvá slovenská publikácia zaoberajúca sa lavínovým nebezpečenstvom napísaná Ladislavom Kňazovickým s názvom „Lavíny“. Rozhodnutím horskej služby bol založený špecializovaný inštitút zaoberajúci sa problematikou lavín, ktorý pod názvom „Stredisko lavínovej prevencie“ zahájil svoju činnosť v roku 1972. Pod vedením L. Kňazovického pracovalo osem ľudí. Ambíciou SLP bolo vytvoriť vedeckú inštitúciu zahŕňajúcu celý Karpatský oblúk po vzore švajčiarskeho SLF v Davose. V roku 1974 sa konala medzinárodná konferencia lavínových služieb IKARu (Medzinárodnej komisie pre horskú záchranu) vo Vysokých Tatrách, kde sa Československo stalo jej členom. Nasledovalo intenzívne mapovanie a monitoring lavín, vznik prvého tzv. lavínového katastra (mapy lavínových dráh) a plodná publikačná činnosť. Hlavnou úlohou SLP bolo vydávanie lavínovej predpovede, k čomu slúžila štvorstupňová škála lavínového nebezpečenstva. Prostredníctvom rádia, tlačovín a neskôr televízie boli stupne 1 a 2 len všeobecne oznámené, avšak 3. a 4. stupeň lavínového nebezpečenstva boli doplnené textovým popisom lavínovej situácie. Lavínový bulletin bol s malými zmenami v tejto forme publikovaný do roku 1993, v ktorom bola adaptovaná medzinárodná 5 stupňová škála, používaná dodnes (Biskupič M. L., 2015). Ďalšou zmenou bolo vyhlásenie lavínového nebezpečenstva prostredníctvom webovej stránky www.laviny.sk, ktorá obsahuje prvky medzinárodnej štruktúry lavínového bulletinu.

V súčasnosti je hlavnou úlohou SLP poskytovanie efektívnej predpovede lavínového nebezpečenstva pre verejnosť, k čomu slúži sieť automatických meteorologických staníc rozmiestnených v slovenských horách, ktoré sú vlastnené a prevádzkované Strediskom lavínovej prevencie. Medzi ďalšie činnosti SLP patria školenia horských záchranárov vedúce k vyššej efektívnosti a bezpečnosti v rámci lavínových záchranných akcií, spolupráca s psovodmi a komunikácia najnovších poznatkov a odporúčení profesionálnym a dobrovoľným záchranárom.

3.4.2 Historický vývoj lavínovej prevencie vo Švajčiarsku

Švajčiarsko je považované za krajinu priekopníkov v lavínovom povedomí, výskume a aplikácii nadobudnutých vedomostí v bežnom živote keďže prvé vedecké tvrdenia k problematike lavín sa tu objavujú už začiatkom 18. storočia (Ancey, "Some notes on the history of snow and avalanche research in Europe, Asia and America." *Ice News Bull. Int. Glaciol. Soc* 139 : 3-11., 2005). Komisia pre výskum snehu a lavín, ktorej hlavným zameraním bolo vykonávanie systematického výskumu lavín, vznikla vo Švajčiarsku v roku 1931. Na politickom význame nabral lavínový výskum počas druhej svetovej vojny v kontexte strategickej polohy švajčiarskych Álp, pamätajúc na skúsenosti z prvej svetovej vojny, počas ktorej prišlo o život v lavínach 7000 – 8000 vojakov. Záujem vojenských vodcov o činnosť Komisie pre výskum snehu podnietila lavína, ktorá v roku 1939 zasypala celú rotu horských jednotiek. Ozbrojené sily vyhovelí požiadavkám Komisie na finančnú a personálnu podporu a zintenzívnila sa spolupráca armády s komisiou, na čo v roku 1940 armáda v súčinnosti s Komisiou zriadila službu varovania pred lavínami s pozorovacími stanicami naprieč Švajčiarskom a tým inštitucionalizovala varovanie pred lavínami pre ozbrojené sily. Po ukončení druhej svetovej vojny prebral zodpovednosť varovania pred lavínami pôvodnou Komisiou zriadený inštitút WLS pre výskum snehu a lavín (SLF). Ten v rozhlase a tlači každý týždeň vydával lavínovú predpoveď, ktorá bola oceňovaná ako orgánmi zodpovednými za verejnú bezpečnosť, tak aj novovznikajúcimi strediskami zimných športov. Po zime 1950/1951 boli personálne počty kvôli mimoriadne zlým lavínovým podmienkam zvýšené z pôvodných 20 na 50 pozorovateľov. Informácie o lavínových podmienkach boli onedlho dostupné aj ako zaznamenaná správa cez telefón.

Napriek tomu že pracovná skupina slúžiaca k zlepšeniu cezhraničnej spolupráce s názvom EAWS (European avalanche warning services) bola zriadená už v roku 1983, jednotlivé krajiny naďalej používali rôzne stupnice lavínového nebezpečenstva, so škálou medzi šiestimi až ôsmimi stupňami. Až v roku 1994 bola zavedená jednotná, päťstupňová Európska stupnica lavínového nebezpečenstva. Jej prijatie znamenalo pre medzinárodné lavínové služby zjednodušenie spolupráce pre všetky zúčastnené strany. Predpovede boli spočiatku vydávané dve až tri dopoludnia v týždni až do zimy 1996/1997, odkedy po rozšírení vychádzala denne najprv jedna národná predpoveď a od zimy 2002/2003 bolo postupne zavedených sedem regiónov, pre ktoré boli predpovede každé ráno o 8:00 aktualizované. Neustále zlepšovanie produktov a základnej infraštruktúry stálo na komplexe miestnych pozorovateľov, automatických meracích staníc a od zimy 2015/2016 aj na sieti mobilných pozorovateľov dopĺňanou ich záznamami z terénu o aktuálnych podmienkach (WLS Institute for Snow and Avalanche Research SLF).

3.4.3 Historický vývoj lavínovej prevencie v Rakúsku

Lavínový výskum v Rakúsku začína v rokoch 1880 – 1884 stavbou zariadení na ochranu železnice. Prvá oficiálna inštitúcia ktorej úlohou bol výskum a prevencia lavín však bola zriadená až po druhej svetovej vojne v Innsbrucku. Po lavínových katastrofách v rokoch 1951 a 1954, ktoré si vyžiadali 271 obetí a zisteniu, že zhruba

2/3 z nich sa uvoľnili pod hranicu dreva, bola kancelária premiestnená a výskum sa zamerlal na metódy zalesňovania vo vysokých nadmorských výškach, ktoré mali nahradiť nákladné stavebné opatrenia. Po rôznych zmenách a finančných obmedzeniach (ktoré si vyžiadali úzku spoluprácu so Švajčiarskym inštitútom pre výskum snehu a lavín) bol po kritickej analýze v roku 1975 stav rakúskeho lavínového výskumu označený za nevyhovujúci. Výskumu lavín sa venovali len jednotlivci. K založeniu Lavínového Inštitútu viedli tragické lavínové udalosti v rokoch 1974 a 1981. Založený bol v roku 1985 v Innsbrucku pri Federálnom lesnom inštitúte (Ancey, 2005).

3.4.4 Historický vývoj lavínovej prevencie v Česku

V Českej republike sú lavínové pohoria Krkonoše a Jeseníky. Systematický výskum lavín a snehu bol v Krkonošiach zahájený v roku 1954. Od tohto roku tu boli v rámci Horskej služby lavíny sústavne pozorované. V roku 1972 vzniklo stredisko lavínovej prevencie v Špindlerovom Mlyne. V Jeseníkoch bol výskum zahájený neskôr, v roku 1969, vykonávaním pravidelných meraní potrebných k vyhláseniu lavínového nebezpečenstva, ktoré však boli z personálnych dôvodov vykonávané len na jednom mieste a pre celé pohorie bol aplikovaný stupeň platný pre lokalitu, v ktorej bolo meranie prevedené. Pokrokom boli podklady z pravidelných meraní na ďalších lavínových svahoch, ktoré boli od roku 1970 zahrnuté k stanovovaniu stupňa lavínového nebezpečenstva pre celú oblasť, ktorý bol celoštátne vyhlasovaný 1x do týždňa, pred víkendom. V roku 1971 bol zostavený lavínový kataster Jeseníkov (Horská služba ČR). V roku 2005 sa Česká Horská služba stala členom EAWS a začala zverejňovať lavínovú predpoveď na svojich internetových stránkach (Alpy4000).

3.4.5 Historický vývoj lavínovej prevencie v USA

Až do začiatku sedemdesiatych rokov 20. storočia bola predpoveď lavínového nebezpečenstva v Spojených Štátoch vyhlasovaná v textovej forme, ako slovný popis prevládajúcich podmienok. Správy o lavínových podmienkach síce verejnosť dokázali osloviť, ale chýbal im vzdelávací rozmer. Chýbala im jednotná forma, štandardizovaná terminológia a diskusia o možných následkoch, prevencii a trvaní lavínových problémov. V roku 1978 prebehlo stretnutie vládnych centier lavínovej prevencie a výskumníkov s cieľom odstrániť nedostatky vytvorením a uplatnením štandardizovanej škály lavínového nebezpečenstva s definíciou konkrétnych stupňov. Vytvorená bola štvorstupňová škála lavínového nebezpečenstva a sformované základy organizovanej lavínovej predpovede v Spojených Štátoch používané s určitými úpravami naprieč celou krajinou až do polovice deväťdesiatych rokov. V zimnej sezóne 1994/1995 plánovala Kanadská Lavínová Asociácia prijatie päťstupňovej stupnice používanej v Európe, čo zvýšilo tlak na Americkú lavínovú komunitu aspoň zvážiť prijatie nového medzinárodného štandardu. Spočiatku americkí odborníci zastávali názor za zmenu len ak by mala zmysel pri vydávaní lavínových predpovedí a predstavovala by pomoc pre prognostikov a používateľov predpovední. Okrem toho požadovali jasnú definíciu jednotlivých stupňov k vytvoreniu spoločného základu. Po zložitej diskusii

pripomienok amerických špecialistov v oblasti pojmov použitých pri definícii stupňov nebezpečenstva bola v sezóne 1996/1997 prijatá tabuľka popisujúca päť stupňov lavínového nebezpečenstva (Dennis, 1996).

3.4.6 Historický vývoj lavínovej prevencie v Kanade

Ako v Kanade tak aj v USA bola regionálnymi centrami lavínovej predpovede k popisu lavínového nebezpečenstva používaná štvorúrovňová stupnica, ktorej komponenty boli vytvorené koncom sedemdesiatych rokov 20. storočia. V krajinách západnej Európy, kde boli používané rôzne stupnice, bola vytvorená jednotná, päťdielna stupnica lavínového nebezpečenstva, ktorú prijala aj Kanada v roku 1994. Dôvody k prijatiu jej modifikovanej verzie (s upravenou terminológiou) v Kanade boli odstránenie zmätku spôsobeného nejednotnou terminológiou, zabezpečenie jednotného šírenia informácií a ich lepšie pochopenie. So zvyšujúcim sa počtom ľudí pohybujúcich sa v lavínovom teréne naprieč rôznymi krajinami predstavovala jednotná predpoveď lavínového nebezpečenstva lepšie porozumiteľnú a dôveryhodnejšiu alternatívu (Dennis, 1996).

3.5 Lavínová predpoveď

V kontexte lavínovej prevencie znamená predpovedanie lavín hodnotenie lavínového nebezpečenstva v danom regióne, popisujúce verejnosti aktuálnu lavínovú situáciu (informácie o mieste, čase a pravdepodobnosti uvoľnenia konkrétneho typu lavíny). Najpohodlivejším spôsobom spracovania informácií tohto druhu je ich zhrnutie do stupňa lavínového nebezpečenstva. Vo Švajčiarsku bol od roku 1985 stupeň nebezpečenstva definovaný zostupne, na sedemdielnej stupnici, podľa pravdepodobnosti uvoľnenia, plošného rozsahu nestabilit a veľkosti lavín. Lavínové nebezpečenstvo v stupnici z jedného stupňa na druhý exponenciálne stúpa, z dôvodu kopírovania vývoja (nárastu) najtypickejších lavínových situácií (Schweizer J. a., 1996).

3.5.1 Stupnica lavínového nebezpečenstva

Prevencia a správanie sa ohrozených predstavuje najvýznamnejší spôsob minimalizácie následkov lavín, keďže podľa štatistických údajov 95 % prípadov lavín je spôsobených ich obeťami. Zabezpečenie opatrení zamedzujúcich vzniku lavín vychádza z teoretických poznatkov o vývoji vlastností snehu, miestnych geografických pomerov a správnym pohybom v horskom teréne. K základným metódam lavínovej prevencie patrí stanovenie stupňa lavínového nebezpečenstva, ktorým je vyjadrený stav a závažnosť lavínovej situácie. V Európskych krajinách boli spočiatku používané stupnice nejednotné, s rôznym počtom stupňov (Milan, 2006). Švajčiarska stupnica mala do zjednotenia sedem úrovní, vo Francúzsku a Taliansku osem. V Rakúsku a Nemecku boli používané dve rôzne stupnice, jedna pre horskú infraštruktúru (dopravné trasy a obydľia) a druhá pre pohyb vo voľnom teréne. V severnej Amerike mala používaná škála štyri stupne (Stoffel, 2004).

3.5.2 Medzinárodné zjednotenie stupnice

Od roku 1983 rástol zámer koordinovať a zjednotiť Európsky systém varovania pred lavínami, až do roku 1993, s ktorým prišlo prijatie novej, jednotnej, päťdielnej stupnice, ktoré síce bolo spojené s počítačovými ťažkosťami s interpretáciou obsahu stupňov v rôznych jazykoch, tie však boli po prvej sezóne odstránené (Meister, 1994).

3.5.3 Popis stupnice

Štandardná európska stupnica pozostáva z piatich, postupne sa zvyšujúcich úrovní nebezpečenstva, definovaných stabilitou snehovej pokrývky a pravdepodobnosťou spustenia lavíny.

Pojmom stabilita snehovej pokrývky je vyjadrený pomer medzi pevnosťou snehovej pokrývky a tlakmi, ktorým je vystavená. Tento pomer je v priebehu zimy značne variabilný a vystavením rôznym poveternostným podmienkam sa môže významne meniť naprieč vrstvami snehovej pokrývky, alebo na rôznych miestach. Možnosť priameho merania snehovej stability, ako podstatného základu posúdenia lavínového nebezpečenstva, predstavuje veľké náklady a preto sú k odhadu snehovej stability používané metódy nepriame (napr. merania na testovacích poliach, alebo na záznamoch snehových profilov pomocou testov stability).

Pravdepodobnosť spustenia lavíny je štatistická miera priamo závislá na stabilite snehovej pokrývky. Podrobnejšie je v Európskej stupnici nebezpečenstva popísaná v súvislosti s jednotlivými stupňami, kde je uvádzaný ako stav bez vonkajšieho vplyvu (pri samovoľných lavínových zostupoch), tak aj miera pravdepodobnosti spustenia lavín následkom pôsobenia dodatočného stresu (lyžiarom, výbušnami). V konkrétnych prípadoch je rozlišované vysoké a nízke dodatočné zaťaženie. Za vysoké dodatočné zaťaženie sa považuje napríklad vplyv skupiny lyžiarov prechádzajúcich strmým svahom alebo bez dodatočných rozstupov, vozidlá v nebezpečných oblastiach terénu, alebo úmyselné lavínové detonácie. Nízke dodatočné zaťaženie vzniká prechodom jednotlivých lyžiarov alebo chodcov nebezpečnou zónou (Meister, 1994).

3.5.4 Popis jednotlivých stupňov

Stupeň lavínového nebezpečenstva sa zvyšuje s poklesom stability snehovej pokrývky, s čím sa zároveň zväčšuje rozšírenie oblastí ohrozených lavínou. S rastúcim stupňom nebezpečenstva sa súčasne znižuje miera dodatočného zaťaženia potrebného k uvoľneniu lavíny (Meister, 1994).

Stupeň 1 (malé):

Snehová pokrývka je ako celok stabilná. Samovoľné lavíny sa vyskytujú len ako malé splazy na strmých svahoch. Umelé spúšťanie lavín si vyžaduje aj na extrémne strmých svahoch vysoké úrovne dodatočného zaťaženia snehovej pokrývky (napr. detonáciou). Podmienky sú vo všeobecnosti mimo zabezpečených

zón považované za bezpečné. Nebezpečné zóny sú obmedzené na extrémne strmé svahy, je ich málo a ich lokalizácia je jednoduchá. V tejto úrovni sa stáva približne 7 % smrteľných nehôd (Meister, 1994).



Obrázok 6: 1. stupeň lavínového nebezpečenstva

Stupeň 2 (mierne) :

Snehová pokrývka je nedostatočne viazaná len na niektorých strmých svahoch, všeobecne opísaných v lavínovej predpovedi nadmorskou výškou a povahou terénu. Na strmých svahoch s nepriaznivými podmienkami nie je vylúčená možnosť spustenia lavíny jednotlivcom. Infraštruktúra nebýva ohrozená spontánnymi lavínami a nie sú potrebné ani zabezpečovacie opatrenia oblastí lyžiarskych stredísk. Pri precíznom výbere trasy tak lyžiarom prevažujú priaznivé podmienky, no možnosť spustenia lavíny pri väčšom dodatočnom strese (skupina lyžiarov pohybujúcich sa bez dostatočných rozstupov) nie je vylúčená. Na tejto úrovni lavínového nebezpečenstva sa odohráva približne 26 % všetkých smrteľných nehôd (Meister, 1994).



Obrázok 7: 2. stupeň lavínového nebezpečenstva

Stupeň 3 (zvýšené) :

Snehová pokrývka je na mnohých strmých svahoch len mierne alebo slabšie viazaná. K spusteniu lavíny, predovšetkým na strmých svahoch s uvedenými podmienkami expozície a nadmorskej výšky, môže viesť aj malé dodatočné zaťaženie, spôsobené jedným lyžiarom. Nebezpečenstvo pádu veľkých sa môže značne líšiť. Pri slabej štruktúre snehovej pokrývky a nízkej výške snehu sa len ojedinele vyskytujú lavíny, aj to len strednej veľkosti. Avšak pri vyhlásení 3. stupňa v súvislosti s novým snehom alebo vplyvmi počasia, ako je napríklad otepľovanie počas dňa, je nutné počítať s mimoriadnymi prípadmi veľkých lavín. Na základe súvislostí v ktorých bol 3. stupeň vyhlásený sa určujú spôsoby predchádzania lavínovým nešťastiam (napr. uvoľňovanie lavín odstrelom alebo uzatvorenie oblastí v určitých časoch). Športové aktivity vo voľnom teréne si vyžadujú skúsenosti a schopnosti posúdiť hroziace nebezpečenstvo a podľa možností vyhýbanie sa strmým svahom, nadmorským výškam a expozíciám uvedeným v lavínovej predpovedi. Približne 48 % smrteľných lavínových nehôd sa stáva na tejto úrovni (Meister, 1994).



Obrázok 8 : 3. stupeň lavínového nebezpečenstva

Stupeň 4 (veľké) :

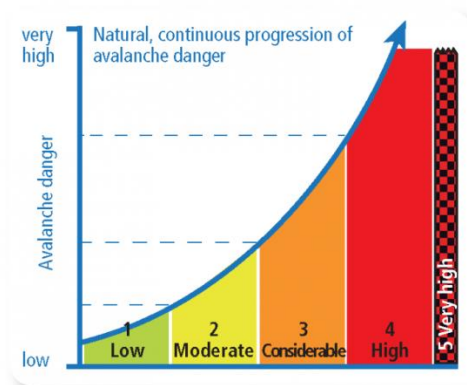
Snehová pokrývka je nestabilná na väčšine strmých svahov. Spustenie lavíny je možné aj pri malom dodatočnom zaťažení. Je predpokladaný zvýšený výskyt stredných a veľkých samovoľných lavín (v závislosti na štruktúre snehovej pokrývky a množstva nového snehu). Vzniká možnosť zasiahnutia údolných ciest a objektov, ktoré bývajú v rámci bezpečnostných opatrení uzatvárané a taktiež sa zvyšuje miera bezpečnostného odstrelu lavín. Z dlhodobého priemeru trvá 4. stupeň len pár dní v priebehu zimy a počas neho sa nastáva približne 13 % všetkých smrteľných nehôd (Meister, 1994).



Obrázok 9: spoločný obrázok pre 4. a 5. stupeň lavínového nebezpečenstva

Stupeň 5 (veľmi veľké) :

Snehová pokrývka je slabo spevnená a preto do značnej miery nestabilná. Je možné početné uvoľňovanie samovoľných lavín veľkého rozsahu aj na miernych svahoch (menej ako 30°). Piaty stupeň lavínového nebezpečenstva si vyžaduje komplexné bezpečnostné opatrenia (napr. uzávery, evakuácie). Športové aktivity vo voľnom teréne sú neodporúčané a väčšinou aj nemožné (Meister, 1994), (Mair, 2018). Pri tejto úrovni lavínového nebezpečenstva nastáva približne 6 % všetkých smrteľných nehôd (Meister, 1994).



Obrázok 10: vizualizácia rastu lavínového nebezpečenstva

3.5.5 Obsah lavínovej predpovede

Kvôli množstvu dostupných informácií neprospievajúcich prehľadnosti lavínovej predpovede je k uľahčeniu jej používania v praxi zavedená systematická štruktúra v čo najzrozumiteľnejšej forme. Predpoveď prezentovaná verejnosti pozostáva z nadpisu (informácie o dátume poslednej aktualizácie), textu so všeobecným popisom podstatných prvkov aktuálnej lavínovej situácie, popisom predpovede počasia a vlastností snehovej pokrývky (štruktúry, vrstvenia, pevnosti, množstva nového snehu) a tendenciou vývoja nadchádzajúceho nebezpečenstva.

Najpodstatnejšou časťou lavínovej predpovede je jej stupeň, súhrne pre jednotlivé regióny vyjadrený jednou z piatich úrovní Európskej stupnice lavínového nebezpečenstva sprevádzaný charakteristikou aktuálnych lavínových problémov. Pre jednotlivé oblasti je ďalej doplnený informáciami o obzvlášť kritických expozíciách k svetovým stranám, nadmorských výškach a úsekoch terénu (Meister, 1994). Prevládajúce lavínové problémy sa môžu v priebehu dňa meniť.

3.5.6 Zostavenie lavínovej predpovede

Lavínová predpoveď je zostavovaná špecializovanými inštitúciami k tomu poverenými (lavínovými službami). Pozostáva zo súvislého pozorovania vlastností snehu a vývoja počasia s jeho prvkami podieľajúcimi sa na vývoji lavínovej situácie (Milan, 2006).

Výstražná oblasť

Súhrn mikroregiónov (najmenších, statických, geograficky jasne špecifikovaných oblastí) s jednotne vyhláseným stupňom nebezpečenstva, z dôvodu podobných prevládajúcich lavínových podmienok (rovnaké kritické aspekty, nadmorské výšky) (EAWS-Working Group Matrix and Scale).

Stabilita snehovej pokrývky

Je podľa (Reuter, B., Schweizer, J., 2018) lokálna vlastnosť snehovej pokrývky popisujúca náklonnosť k uvoľneniu lavíny na zasneženom svahu a podľa náročnosti uvoľnenia lavíny rozdelená do štyroch tried:

- **veľmi slabá** – veľmi ľahké alebo prírodné uvoľnenie
- **slabá** – ľahké uvoľnenie (napr. jeden lyžiar)
- **primeraná** – náročné uvoľnenie (napr. explózia výbušnín)
- **dobrá** – stabilný stav

Rozloženie frekvencie stability snehovej pokrývky

Popisuje percentuálny podiel bodov každej triedy stability, vzhľadom na všetky body v lavínovom teréne (aká je šanca nájsť v teréne ktorý bod stability). Frekvencia stability je rozdelená do štyroch tried:

- **veľa** – množstvo bodov v teréne s touto triedou stability
- **niekoľko** – ani veľa, ani málo bodov s touto triedou, avšak ich výskyt v terénnych prvkoch so spoločnou charakteristikou
- **pár** – zriedkavý výskyt bodov s touto stabilitou, avšak význam pri celkovom posúdení stability

- **takmer žiadne** – body s touto frekvenciou buď neexistujú, alebo kvôli ich výnimočnosti nemajú význam pri posudzovaní stability (EAWS-Working Group Matrix and Scale).

3.5.7 Pracovný postup určenia stupňa lavínového nebezpečenstva

Pozostáva z popisu postupu práce od hodnotenia lavínových problémov až k určeniu úrovne lavínového nebezpečenstva pre konkrétnu oblasť. V postupe pracovníci lavínových služieb zvažujú všetky relevantné lavínové problémy, vyhodnocujú stabilitu snehovej pokrývky, frekvenciu a veľkosť potenciálnych lavín. Je popísaný v publikácii (EAWS-Working Group Matrix and Scale).

Štruktúra postupu:

1. Zhodnotenie prítomných lavínových problémov
2. Určenie miesta (nadmorská výška, expozícia) a času (dopoludnie, popoludnie) výskytu týchto problémov.
3. Určenie stability snehovej pokrývky týmto miestam/časom
4. Posúdenie frekvencie miest uvoľnenia lavíny z 3. bodu postupu
5. Posúdenie veľkosti lavín

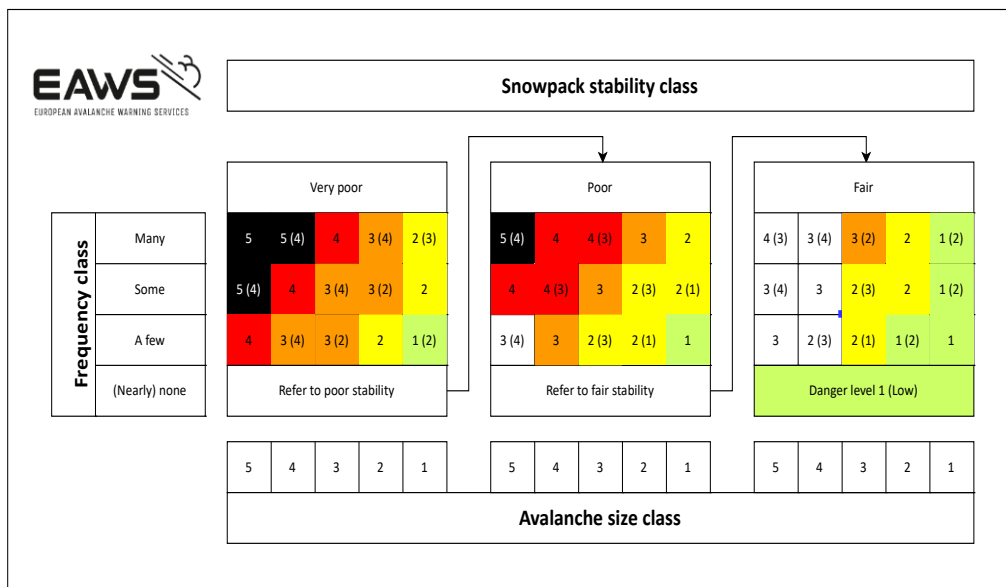
V prípade značnej rozličnosti faktorov z predchádzajúcich bodov, sú opakované kroky 3 – 5 k presnejšej identifikácii miest/časov v ktorých je kombinácia lavínovotvorných faktorov najzávažnejšia (EAWS-Working Group Matrix and Scale).

6. Zaradenie lavínovotvorných faktorov (stability, frekvencie a veľkosti lavín) do matice a jej pomocou priradenie úrovne lavínového nebezpečenstva pre konkrétnu kombináciu faktorov. opakovanie krokov 2 – 6 pre ďalšie vyskytujúce sa lavínové problémy
7. Priradenie najvyššej úrovne nebezpečenstva získanej v kroku 6 (EAWS-Working Group Matrix and Scale).

Bavorská matica

V komplexnom posudzovaní faktorov pri určovaní lavínového nebezpečenstva je prítomná určitá subjektivita lavínového prognostika - človeka vytvárajúceho predpoveď a tým pádom je nevyhnutné pri striedaní prognostikov v organizovanej štruktúre zaviesť postupy umožňujúce vysoký štandard objektivity pri určovaní stupňa nebezpečenstva. K tomuto účelu slúži Bavorská matica – podporná matica k predpovedaniu lavín, založená na európskej stupnici lavínového nebezpečenstva a vytvorená Bavorskou lavínovou službou v roku 2000. Matica tvorená farebnými a nefarebnými políčkami s priradeným stupňom nebezpečenstva. Podľa farby políčka matice je pre každý stupeň nebezpečenstva určený najbežnejší lavínový scenár (diskutovaný a schválený EAWS). Políčka nevyfarbené predstavujú

menej bežný alebo nepreštudovaný scenár a prázdne políčka značia nereálne situácie(Valt, 2014). Prognostik pri práci s maticou vyhodnocuje faktory stability snehovej pokrývky, frekvenciu stability a veľkosť lavín podľa opísaného pracovného postupu a vyberá zodpovedajúcu bunku so stupňom nebezpečenstva v rámci matice(EAWS-Working Group Matrix and Scale).

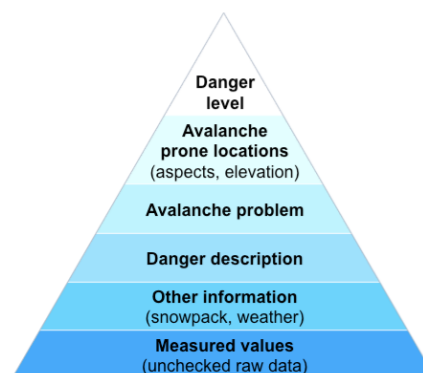


Obrázok 11: Bavorská matica používaná k určovaniu stupňa lavínového nebezpečenstva

Celočíselnou hodnotou je v bunkách matice uvedená stredná úroveň nebezpečenstva. V prípade nejednotnosti distribúcie odpovedí prognostikov je v zátvorke pri niektorých stupňoch uvedená alternatívna hodnota (predstavujúca medzikvartilový rozsah odpovedí). Primárne by mala byť pri aplikácii matice použitá prvá hodnota uvedená v bunke, alternatívna hodnota naznačuje možnosť nesúhlasu a tendenciu smerovania k vyššej úrovni nebezpečenstva. Bunky obsahujúce dve hodnoty majú byť v budúcnosti prehodnotené s získanou spätnou väzbou upravené. (EAWS-Working Group Matrix and Scale).

Štruktúra lavínovej predpovede

Prostredníctvom lavínových bulletinov (lavínových predpovedí) informujú služby lavínovej predpovede o aktuálnej lavínovej situácii na svojom území. V priebehu zimnej sezóny je bulletin pravidelne vydávaný a obsahuje predovšetkým stupeň lavínového nebezpečenstva, ďalej informácie o počasí ovplyvňujúcom lavíny a o štruktúre snehovej pokrývky, to všetko za účelom vlastného hodnotenia lavínovej situácie užívateľom.



Obrázok 12: Informačná pyramída

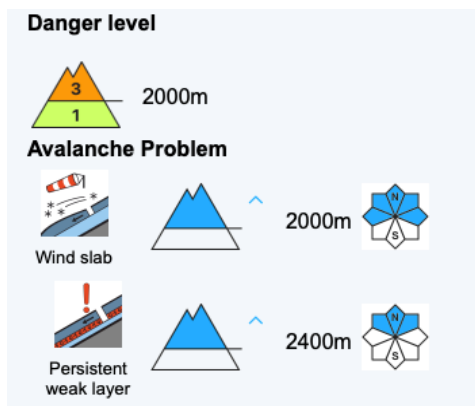
Z dôvodu obmedzených zdrojov údajov sú však informácie zahrnuté v bulletine príliš všeobecné k účelom miestneho hodnotenia podmienok a teda nenahrádzajú autonómne hodnotenie situácie v každej danej lokalite. Všetci členovia EAWS vydávajú lavínové bulletiny s rovnakým obsahom a štruktúrou, vyobrazujú princípy informačnej pyramídy. V jej vrchole, na najdôležitejšom mieste je stupeň nebezpečenstva, nasledujú miesta náchylné k pádu lavín, lavínové problémy, popis nebezpečenstva, informácie o snehovej pokrývke a o počasí. V závere môže byť bulletin doplnený údajmi zaznamenanými automatickými meteorologickými stanicami (EAWS).

3.5.8 Bližšia špecifikácia výskytu lavínových problémov

Obsahom lavínového bulletinu je aj bližšia špecifikácia lavínových problémov prevládajúcich počas dňa, pre ktorý je predpoveď vydaná, alebo v konkrétnych podmienkach. Ich špecifikáciou sa spresňuje lokalizácia nebezpečenstva, s cieľom efektívnejšej ochrany osôb pohybujúcich sa vo voľnom teréne. Význam bližšej špecifikácie lavínových problémov naznačuje aj jej postavenie v rámci hierarchie informačnej pyramídy vysvetľujúcej prioritu informácií lavínového bulletinu, kde je na druhom mieste, za stupňom lavínového nebezpečenstva a pozostáva zo špecifikácie:

- **výškového gradientu:**
Lavínové podmienky sa môžu líšiť naprieč nadmorskými výškami podľa zalesnenia, ale aj meteorologických faktorov meniacich sa s nadmorskou výškou, ako je teplota vzduchu, množstvo či typ zrážok (Milan, 2006).
- **výskytu v priebehu dňa**
Meteorologické podmienky ovplyvňujúce lavínovú situáciu sa môžu v priebehu dňa meniť. V tomto prípade lavínovú situáciu zhoršujú zmeny vlastností snehu v následku výrazného rozdielu teploty vzduchu a aj samotného snehu v priebehu dňa, čo je situácia typická najmä pre jarne obdobie v ktorom sa zvyšuje aj množstvo slnečného žiarenia (Mair, 2018).
- **expozície k svetovým stranám**
Meteorologické faktory ako vietor alebo slnečné žiarenie môžu pôsobiť na svahy určitej orientácie k svetovým stranám, podľa čoho je aj lavínová situácia v určitých expozíciách negatívne ovplyvnená výraznejšie ako v iných. Na základe predpovede počasia sú tieto faktory predpokladané a zohľadnené pri vyhlasovaní lavínovej predpovede.

Špecifikácia výskytu lavínových problémov je zahrnutá v lavínovej predpovedi graficky a bližšie popísaná v slovnom hodnotení lavínovej situácie, alebo pri významnej zmene podmienok naprieč určitým gradientom až rozdielnym stupňom lavínového nebezpečenstva.



Obrázok 13: bližšia špecifikácia lavínového nebezpečenstva, dostupné z: <https://avalanche.report/simple/en.html>

3.5.9 Doplnenie stupnice (podúrovne stupňov)

Pri popise spojitého javu, ako je lavínové nebezpečenstvo vedie podľa (Murphy, 1993) používanie diskkrétnej stupnice k strate údajov, čomu je snaha zo strany prognostikov pomocou naratívnej časti lavínovej predpovede zamedziť. Dôležité je pri príprave lavínovej predpovede čo najpodrobnejšie zhodnotenie všetkých dostupných zdrojov a údajov. Zvýšená úroveň podrobností relevantných zložiek lavínového nebezpečenstva zvyšuje rozlíšenie jeho hodnotenia, avšak rozširuje jeho škálu (vyšší počet stupňov), čo si vyžaduje jasnú definíciu nových vzniknutých úrovní. Rozšírenie škály však odporuje overenému zisteniu o nespoľahlivosti absolútnych úsudkov na škále širšej ako sedemstupňovej a nastoľuje otázku zavedenia vhodného spôsobu podúrovňového kvalifikátora slúžiaceho k predpovedi lavínového nebezpečenstva s väčšou presnosťou na zaužívanej, päťstupňovej, škále (Techel, 2022).

Švajčiarska lavínová služba od sezóny 2016/2017 používa pri päťdielnej stupnici (EAWS) k vyhláseným stupňom nebezpečenstva tri podkategórie, ordinálne upresňujúce lavínové nebezpečenstvo, či je pri danom stupni vysoké(+), stredné (=), alebo nízke(-). Rozsahy medzi podúrovňami však nie sú presne definované a nepoužívajú sa pri prvom stupni lavínového nebezpečenstva (Techel, 2022).

Na základe porovnania piatich rokov švajčiarskych lavínových predpovedí je preukazaná funkčnosť upresňovania stupňov lavínového nebezpečenstva podstupňami, ktoré v priemere odrážali očakávanú zmenu lavínových podmienok. Zistenia sú však špecifické pre aktuálne nastavenie lavínovej predpovede vo Švajčiarsku, schopné spresnenia svojho hodnotenia by však mali byť aj ostatné služby varovania pred lavínami, v prípade že majú k dispozícii dostatok relevantných údajov v priestore a čase a používajú Švajčiarsku podobný prístup, kombinujúci absolútne a relatívne úsudky pri vyhodnocovaní lavínového

nebezpečenstva. Určením podúrovní lavínového nebezpečenstva je jasne zvýšená predikčná hodnota predpovede, pred ich prijatím ďalšími lavínovými službami by však mala byť preskúmaná ich kvalita, najmä pri zámere ich zahrnutia vo vyhlasovanej lavínovej predpovedi a taktiež spôsob ich poskytovania používateľom lavínovej predpovede (Techel, 2022).

3.6 Závislosť stupňa nebezpečenstva a pádu lavín

Podľa (Schweizer J. e., 2018) sa pravdepodobnosť uvoľnenia lavín významne zvyšuje s rastúcim stupňom lavínového nebezpečenstva. Veľkosť lavín sa však s rastúcim stupňom nebezpečenstva nemení (a to či už v prípade samovoľných lavín, alebo lavín spustených človekom). S rastúcim stupňom nebezpečenstva sa nelineárne zvyšuje frekvencia lavín a pri danom stupni je vyššia frekvencia lavín v podmienkach mokrého snehu ako snehu suchého, čo môže odrážať nekonzistentné používanie stupnice. Tieto predbežné zistenia, založené na vyhodnocovaní manuálne pozorovaných lavínových udalostí v období 1998 – 2017 podmieňujú prehodnotenie definície stupnice lavínového nebezpečenstva, avšak autori tejto štúdie predpokladajú porovnanie ich výskumu s lepšie podloženými analýzami na základe diaľkového prieskumu zeme alebo výsledkov zo systémov detekcie lavín.

4. Metodika

4.1 Dáta

Dáta potrebné k vyhodnocovaniu vývoja vyhlasovania lavínových stupňov mi boli poskytnuté službami lavínovej prevencie pôsobiacimi na území Slovenska a Česka. Zdrojom dát zo slovenských hôr bolo Stredisko lavínovej prevencie Horskej záchranej služby a z hôr českých (pohoria Krkonoše) Horská služba Českej republiky. Dáta boli pôvodne vo forme tabuliek programu MS Excel obsahujúcich pre jednotlivé pohoria záznam stupňa lavínového nebezpečenstva (1 – 5) a dátum dňa, pre ktorý bol stupeň vyhlásený. Pôvodné dáta boli v niektorých sezónach doplnené informáciami o obetiach alebo počtoch lavín, ktoré však pri hodnotení neboli použité, keďže to boli informácie nejednotné (uvedené len v niektorých sezónach a nebolo možné ich využitie pri dlhodobom hodnotení). Z dôvodu nejednotnosti poskytnutých súborov bola potrebná úprava ich formy, za účelom ich neskoršieho spájania do jednej tabuľky. Pohoria v ktorých bol vývoj vyhlasovania stupňov lavínového nebezpečenstva v práci vyhodnocovaný sú: Krkonoše, Malá Fatra, Veľká Fatra, Nízke Tatry, Vysoké Tatry a Západné Tatry. Medzi pohoriami bol v dátach rozdielny časový rozsah údajov. Najdlhšiu časovú radu predstavovali dáta z Vysokých Tatier (od roku 1995), z ostatných slovenských pohorí boli prístupné záznamy stupňov od roku 2000 a v Krkonošiach od roku 2004.

V rámci rokov boli stupne postupne zaznamenávané od prvého vyhlásenia lavínového nebezpečenstva na jeseň, čo bolo pri hodnotení dĺžky sezóny považované za jej začiatok. Koniec sezónnych záznamov (na konci zimnej sezóny) v poskytnutých dátach neznamenal vždy nutne koniec vyhlasovania stupňov nebezpečenstva, ale len koniec jeho zaznamenávania do poskytnutých štatistik.

4.1.1 Úprava dát

Úprava bola najskôr prevedená v programe MS Excel vytvorením nových súborov, s jednotnými názvami pohorí, formátmi dátumov a bez spomínaných dodatočných informácií. Po zjednotení formátu bolo možné dáta nahráť do programu RStudio (R Core Team), v ktorom prebiehali všetky nasledujúce analýzy a vizualizácia dát pomocou funkcií balíčka Tidyverse (Wickham H, 2019). Na základe dátumu boli všetky sezóny zjednotené v jednej tabuľke (dátovom rámci), pre lepšiu manipuláciu a možnosť neskoršieho vzájomného porovnania. Tabuľka vzniknutá zjednotením súborov zo sezón obsahovala dátum a stupeň vyhlásený pre jednotlivé pohoria (pohoria predstavovali kategórie a stupeň predstavoval ich hodnotu). Následkom spojenia všetkých tabuliek na základe dátumu vzniklo množstvo chýbajúcich hodnôt (dáta neboli k dispozícii) naprieč novou tabuľkou kvôli tomu, že v niektorých dňoch nebol stupeň lavínového nebezpečenstva v určitých pohorách vyhlásený, ale v iných bol. Pri neskoršej vizualizácii boli tieto chýbajúce hodnoty vynechané.

Následne bola tabuľka pretransformovaná do predĺženého formátu, kde boli v tabuľke len 3 kategórie (dátum, pohorie a stupeň). Tabuľka v predĺženom formáte predstavovala vhodnú formu a tým pádom základ následných vizualizácií.

4.1.2 Vizualizácia dát

Cieľom vizualizácie dát bolo vytvorenie možnosti prezentácie údajov o počtoch stupňov lavínového nebezpečenstva a ich zmene podľa faktorov dostupných z poskytnutých dát. Vyššie spomínaná tabuľka dát v predĺženom formáte bola postupne upravovaná do foriem vhodných k vizualizácii požadovaných javov.

Vizualizácia dĺžky sezón

Za sezónu bolo v práci považované obdobie, začínajúce októbrom predchádzajúceho roka a končiace v Apríli roka, podľa ktorého bola sezóna pomenovaná. Sezónu bolo nutné jasne odlíšiť od samotných rokov, keďže hodnoty stupňov počítané pre rok by zahŕňali časy dvoch rozdielnych zimných sezón a neodrážali skutočnú dĺžku zimných sezón. Ako dĺžka sezóny bol v práci považovaný počet dní, v ktorých bol vyhlásený stupeň lavínového nebezpečenstva. Vytvorením tabuľky s počtom dní s vyhláseným stupňom nebezpečenstva v jednotlivých sezónach bolo možné vizualizovať dĺžky sezón v jednotlivých pohoriach. Ďalej boli k dĺžkam sezón priradené aj dekády (vygenerované na základe príslušnosti sezóny k dekáde) s cieľom vizualizácie potenciálnej zmeny dĺžky sezón medzi dekadami. Dekády boli v práci rozlíšené z dôvodu rozsahu poskytnutých dát len dve (2000-2010 a 2010-2020). Následne boli možné vytvoriť grafy vizualizujúce dĺžku sezón v jednotlivých pohoriach najprv celkovo a potom s rozdelením na dekády, kde boli stĺpce s počtami dní jednotlivých sezón preložené spojnicou trendu. Vizualizácia dĺžky sezón predstavuje grafy č. 1 a 2 (obrázky č. 14 a 15).

Vizualizácia počtu stupňov v jednotlivých sezónach

K porovnaniu vývoja stupňov lavínového nebezpečenstva bola potrebná vizualizácia počtu stupňov v jednotlivých sezónach naprieč pohoriami. Z pôvodnej tabuľky bol pre pohorie vypočítaný počet stupňov lavínového nebezpečenstva v jednotlivých sezónach. Pomocou funkcií balíčka tidyverse (Wickham H, 2019) boli počty stupňov vizualizované v grafoch, predstavujúcich možnosť pozorovania zmeny počtov stupňov v jednotlivých pohoriach pre každú sezónu, medzi slovenskými pohoriami od sezóny 2001 a s Krkonošami od sezóny 2005. Stĺpcom predstavujúcim počty stupňov lavínového nebezpečenstva boli priradené odpovedajúce farby. Zelená pre stupeň 1, Žltá pre stupeň 2, Oranžová pre stupeň 3 a červená stupňu 4. Týmto postupom bol vytvorený graf č.3 (Obrázok č. 16.).

Vizualizácia počtu stupňov v jednotlivých mesiacoch

Vizualizácia počtu stupňov v jednotlivých mesiacoch umožňuje sledovanie vývoja počtov vyhlásených lavínových stupňov v priebehu sezón a pridané rozdelenie počtov stupňov na dekády otvára možnosť sledovania prípadnej zmeny medzi dekádami. Tvorba grafov bola prevedená v RStudiu (R Core Team, 2022).

Pomenovanie pohorí v grafoch

V grafoch prezentovaných ako výsledky sú jednotlivé pohoria, v ktorých boli stupne lavínového nebezpečenstva analyzované pomenované z praktického hľadiska skratkami:

KRK- Krkonoše

MF – Malá Fatra

NT – Nízke Tatry

VF – Veľká Fatra

VT – Vysoké Tatry

ZT – Západné Tatry

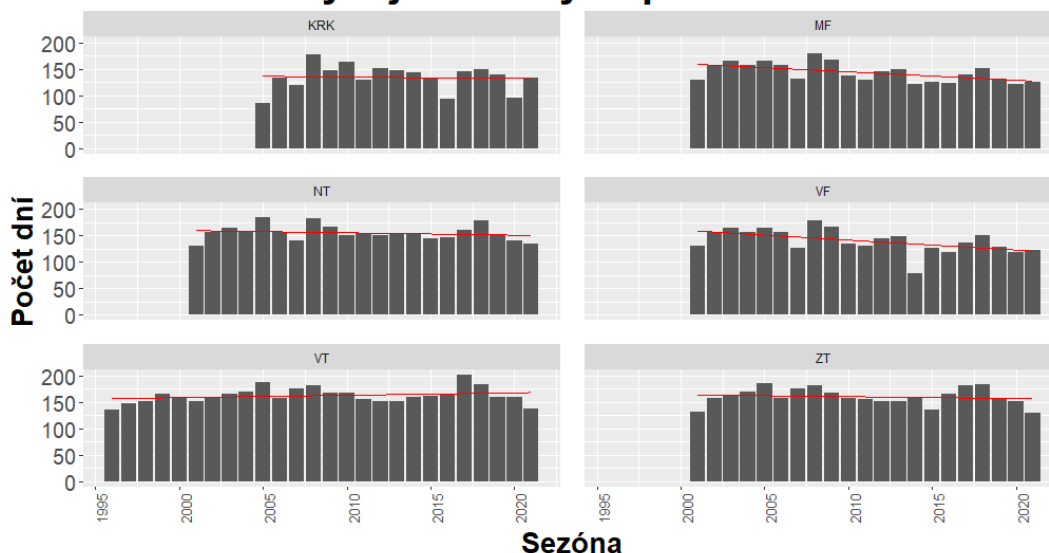
Zdroje Obrázkov

Zdrojom obrázkov použitých v tejto práci k ilustrácii typických lavínových problémov, stupňov lavínového nebezpečenstva a Bavorskej matice bola oficiálna internetová stránka EAWS (European Avalanche Warning Services). Sú to obrázky č. 1 – 12.

5. Výsledky

5.1 Porovnanie dĺžky sezón

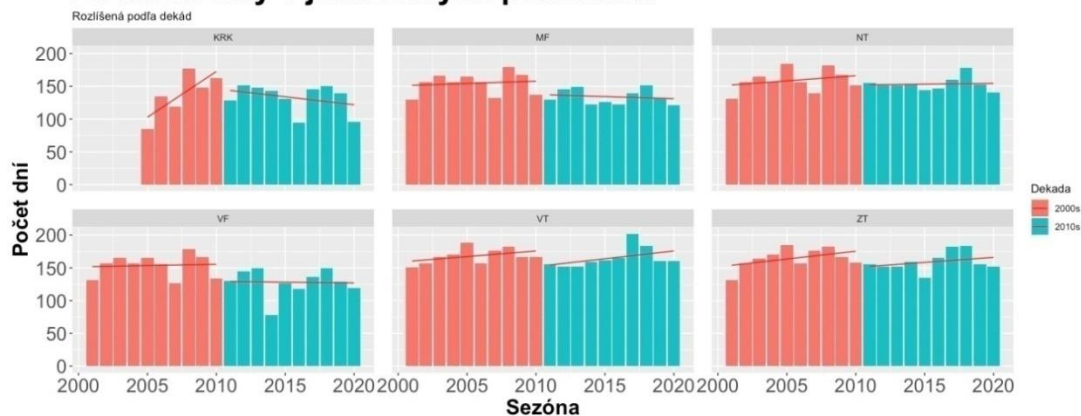
Dĺžka sezóny v jednotlivých pohoriach



Obrázok 14: Graf číslo 1, vizualizujúci dĺžku sezón v jednotlivých pohoriach

Na grafe č.1. je možné pozorovať zmenu dĺžky sezón v pohoriach počas celkového obdobia dostupných dát. Pre Vysoké Tatry od sezóny 1995, v ostatných slovenských pohoriach od sezóny 2001 a Krkonošiach od sezóny 2005. Preložená krivka označujúca tendenciu dĺžky sezón je v odlišných pohoriach rôzna, no vo všeobecnosti sa dá popísať trend dĺžky sezón ako klesajúci (dĺžka sezón sa skracuje) vo Veľkej Fatre a Malej Fatre a to v priemere až o približne 25 dní na sezónu, čo môže byť zapríčinené nižšou priemernou nadmorskou výškou v porovnaní s ostatnými pohoriami a tým pádom výraznejším prejavom klimatickej zmeny. V ostatných pohoriach je dĺžka sezón z dvadsaťročného pohľadu takmer stála.

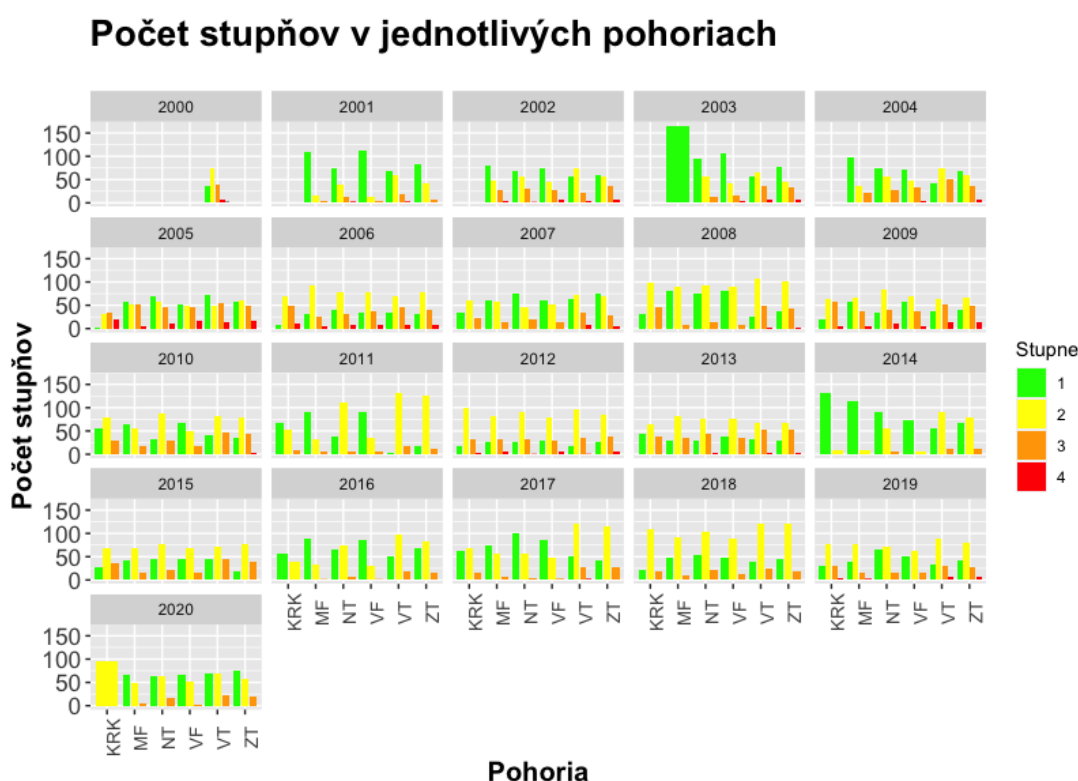
Dĺžka sezóny v jednotlivých pohoriach



Obrázok 15: Graf č.2 vizualizujúci dĺžku sezón v jednotlivých pohoriach, rozdelený podľa dekád

Graf č. 2 zobrazuje rovnaké informácie ako graf č. 1 (Dĺžky sezón v jednotlivých pohoriach), avšak s rozlíšením dekád pridáva možnosť sledovania zmeny trendov v dekádach. V Krkonošiach (kde chýbajú dáta do sezóny 2005, čo ovplyvňuje výsledok priemeru prvej dekády) pozorujeme v druhej dekáde pokles priemernej dĺžky sezón. Vo Veľkej a Malej Fatre, kde je viditeľný rozdiel priemernej dĺžky sezón medzi prvou a druhou dekádou sa však dĺžky sezón v jednotlivých dekádach výrazne v priemere nemenia, aj keď jemne klesajú. Vysoké Tatry ukazujú zvyšovanie dĺžky sezón v prvej aj druhej dekáde, čo bolo jemne viditeľné ako rast priemernej dĺžky sezón v celej časovej rade. V Nízkych a Západných Tatrách síce v celej časovej rade nebola pozorovateľná zmena dĺžky sezón, no rozdelenie dekád ukazuje jemný pokles priemernej dĺžky sezón.

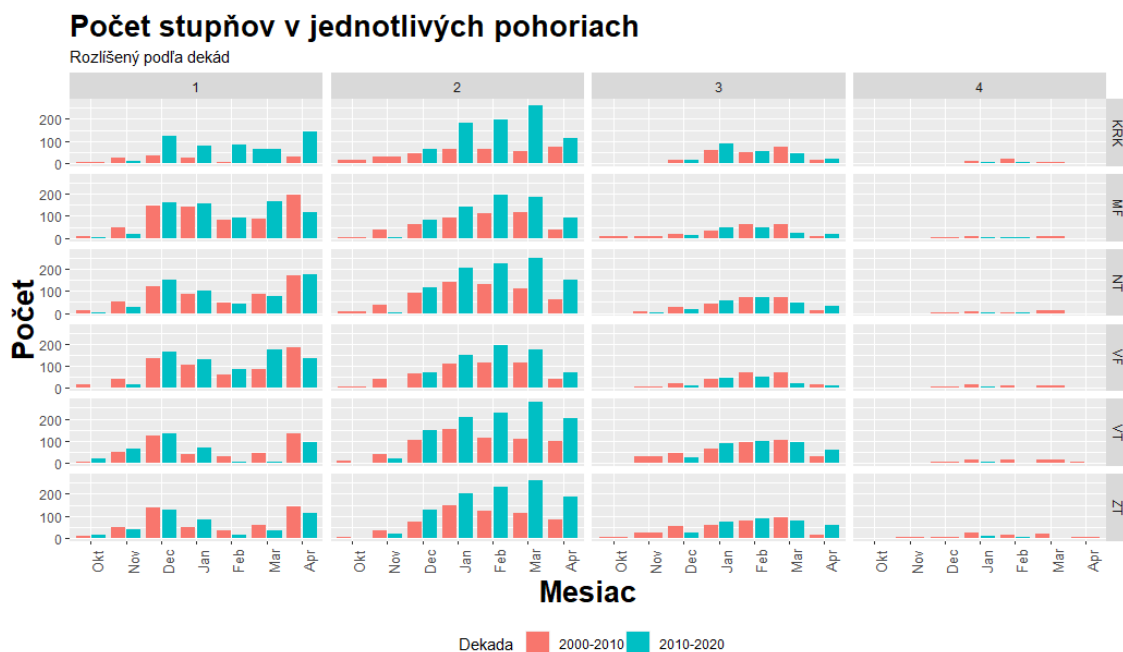
5.2 Porovnanie zmeny počtu stupňov v sezónach



Obrázok 16 : Graf č. 3, vizualizujúci počty stupňov lavínového nebezpečenstva v jednotlivých sezónach

Účelom tohto súboru grafov je možnosť pozorovania počtu stupňov naprieč sezónami a ich následné porovnanie medzi pohoriami. Dobre pozorovateľný je v súbore grafov podobný počet stupňov nebezpečenstva pre pohoria v sezónach, z čoho vyplýva, že podmienky ovplyvňujúce stupeň lavínového nebezpečenstva majú jednotný vplyv na väčšinu slovenských pohorí a dokonca aj na Krkonoše, napriek ich vzdialenosti od slovenských hôr a vyššej pravdepodobnosti rozdielnych podmienok ovplyvňujúcich lavínové nebezpečenstvo. Dobre pozorovateľná podobnosť počtov stupňov nebezpečenstva medzi pohoriami je napríklad v sezónach 2010, 2013, 2019.

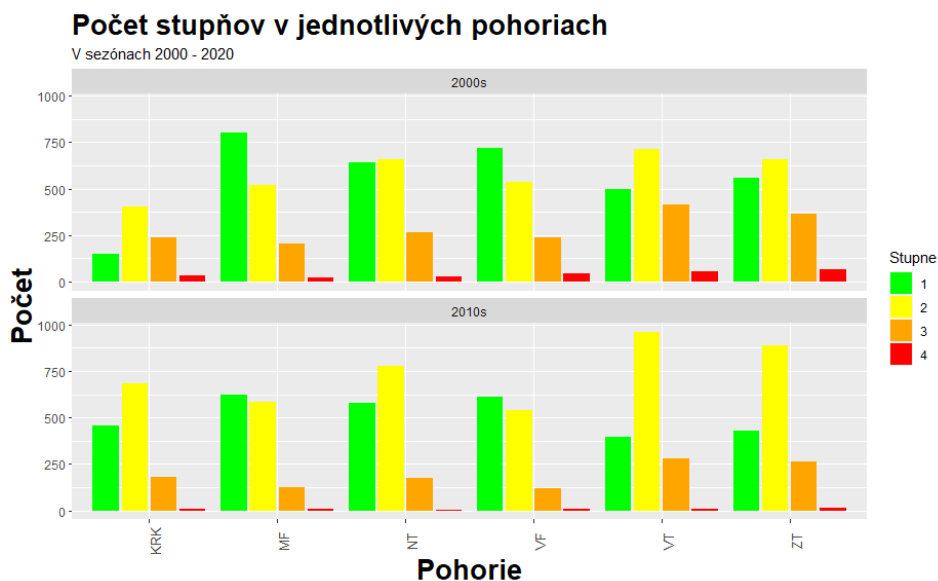
5.3 Porovnanie zmeny počtu stupňov v priebehu sezón



Obrázok 17: Graf č. 4, vizualizujúci počty stupňov lavínového nebezpečenstva naprieč sezónami, s rozdelením podľa dekád

Počet stupňov vyhlásených v jednotlivých pohoriach z pohľadu počtu ukazuje priebeh sezón. Prvá viditeľná vec z tohto grafu je potvrdenie informácie z predchádzajúceho grafu (**obrázok č.16**) a to podobné trendy počtov stupňov lavínového nebezpečenstva naprieč všetkými pohoriami aj v priebehu sezón a nie len v celkových počtoch stupňov za sezónu. Ďalej je možné pozorovať pre jednotlivé stupne rozdielne trendy početností a to pri 1. stupni lavínového nebezpečenstva dva vrcholy v priebehu sezóny (v novembri a apríli, teda na začiatku a konci hlavnej časti sezóny) a pri 2. a 3. stupni nebezpečenstva je vrchol v strede zimnej sezóny. Nakoniec, v grafe je znázornený rozdiel medzi dekadami s cieľom ich vzájomného porovnania. V Krkonošiach je rozdiel medzi dekadami najvýraznejší, čo je spôsobené chýbajúcimi sezónami 2000-2004 a tým pádom nereprezentatívny. Viditeľný rozdiel je značný pri 2. stupni lavínového nebezpečenstva, kde sa jeho počet v druhej dekáde pozorovania výrazne zväčšil (najviac vo Vysokých, Nízkych a Západných Tatrách v mesiaci marec dokonca o 100 %).

5.4 Celkový počet stupňov v pohoriach



Obrázok 18: graf č. 5, vizualizujúci celkové počty jednotlivých stupňov v pohoriach s rozdelením podľa dekád

Graf porovnávajúci celkový počet stupňov v pohoriach a jeho zmenu naprieč dekádami v absolútnych číslach, teda ukazuje reálny počet stupňov. Vo všetkých pohoriach sa v druhej dekáde zvýšil počet 2. Stupňa nebezpečenstva a značne ubudol počet 4. Stupňa nebezpečenstva.

6. Diskusia

6.1 Neistoty

V prevedenej analýze stupňov je dôležité spomenúť niekoľko faktov, ktoré mohli ovplyvniť výsledky a spôsobiť rozdiely medzi výsledkami analýzy a realitou.

Rôzniaci sa stupeň lavínového nebezpečenstva pre jednotlivé dni

Z dôvodu bližšej špecifikácie lavínových podmienok môže nastať situácia, kedy je pre jednotlivé pohoria vyhlásených viacero stupňov lavínového nebezpečenstva v priebehu dňa, čo bolo bližšie popísané v kapitole 3.5.8. Tento fakt predstavuje pre analýzu dlhodobého vývoja problém, keďže poskytnuté dáta obsahovali pre každý deň, aj v prípade v skutočnosti vyhlásených viacerých stupňov, iba jeden stupeň a to ten vyšší. Výsledné denné ale aj ročné počty analyzované v grafoch sú teda vyššie, ako skutočné vyhlásené lavínové nebezpečenstvo. Detailné dlhodobé záznamy o vyhlásených viacerých stupňoch nebezpečenstva v jednotlivých dňoch v tejto práci analyzované neboli.

Subjektivita prognostika

Významným faktorom pri vyhlasovaní stupňa lavínového nebezpečenstva je samotný prognostik, na ktorého rozhodnutí závisí konečné vyhlásenie konkrétneho stupňa . Práve subjektívny faktor jednotlivých prognostikov môže byť príčinou nerovnomerných predpovedí naprieč pohoriami alebo sezónami, čo mohlo ovplyvniť výsledné počty jednotlivých stupňov. Významný faktor vo zvýšení konzistentnosti vyhlasovania lavínového nebezpečenstva predstavuje Bavorská matica bližšie popísaná v kapitole 3.5.7. Na vyhlásení stupňa nebezpečenstva sa podieľa viacero zložiek aj kvalita ich vzájomnej koordinácie môže taktiež ovplyvniť výsledný stupeň lavínového nebezpečenstva (Williams, 1980).

Chýbajúce dáta

V dátach sa vyskytujú dni, kedy je v priebehu sezón prerušený záznam o stupni lavínového nebezpečenstva, čo nie je výnimočná situácia a deje sa z dôvodu, že nebolo žiadne lavínové nebezpečenstvo a tým pádom ani potreba vyhlásenia stupňa lavínového nebezpečenstva. Tento fakt odzrkadľuje realitu a tým pádom nijako negatívne neovplyvnil analýzu. Na druhú stranu, dĺžka sezóny zisťovaná analýzou v tejto práci môže byť ovplyvnená chýbajúcimi záznamami z koncov sezón, kedy bolo zaznamenávanie stupňov v rôznych sezónach nejednotne ukončené v niektorých prípadoch skôr ako skončilo vyhlasovanie stupňov. Táto skutočnosť vnáša do analýzy neistotu, ktorú na základe poskytnutých dát nie je možné eliminovať.

Chyby v grafoch

V grafe č. 3 (Obr. 15) sú chybné vykreslené počty stupňov nebezpečenstva, v pohorí Malá Fatra v sezóne 2004 a v Krkonošiach v sezóne 2020. Je pravda že v týchto sezónach v grafe zvýraznený stupeň ostatné prevyšoval, neznamená to však úplnú absenciu iných stupňov v týchto sezónach.

6.2 Porovnanie výsledkov medzi dekádami

K pozorovaniu zmien dlhodobého vývoja vyhlasovania stupňov lavínového nebezpečenstva sa javila v prípade tejto práce ako vhodná možnosť porovnanie jednotlivých počtov stupňov medzi dekádami. Hodnoty medzi dekádami sa síce líšia, avšak zmeny v priemernej dĺžke sezón v priebehu dekád sú nevýrazné. Vysvetlením minimálnej zmeny v dĺžke dekád môže byť buď krátky časový interval pozorovaní, na ktorom sa zmena dĺžky dekád nestihla výraznejšie prejavíť, alebo že sú dĺžky sezón aj v dlhodobejšom horizonte bez zmeny. Dlhodobejšie porovnanie dĺžky sezón však musí byť prevedené na základe iného faktora ako vyhlásený stupeň lavínového nebezpečenstva (napr. podľa výskytu snehovej pokrývky), keďže tie sú jednotne vyhlasované prikrátke.

Výraznejšie zmeny medzi dekádami sú však pozorovateľné v kontexte počtu stupňov v priebehu sezón. Tam boli medzidekadické zmeny v niektorých prípadoch až dvojnásobné. K zisteniu príčiny týchto zmien môže slúžiť analýza v kontexte dát o počasí v jednotlivých sezónach, keďže dĺžka sezón sa nemení, iba ich priebeh.

V porovnaní s Poľskými Tatrami, ktoré má po prechádzajúcej analýze výsledkov tohto výskumu zmysel, keďže sezónne dáta sú naprieč pohoriami podobné, kde boli spätne analyzované lavínové stupne v období posledných deviatich dekád (GADEK, 2016) sú v tejto práci pozorované rozdiely. V Poľských Tatrách bol pozorovaný významný pokles počtu 2. stupňa lavínového nebezpečenstva za posledných 25 rokov, zatiaľ čo na slovenských horách medzi dekádami počet 2. stupňa v dekáde 2010-2020 rástol. Porovnanie poľského výskumu (GADEK, 2016) v sezónnych informáciách korešpondovalo s týmto výskumom, keďže sa v dĺžke sezón v analýze neprejavili štatisticky významné zmeny ani v jednej z analýz no najmä vo Vysokých Tatrách, ktoré sú Poľským najbližšie, bola zmena dĺžky sezón najmenšia.

V grafoch je jasne pozorovateľný pokles 4. Stupňa lavínového nebezpečenstva. Jeho vyhlásenie je spojené s výdatnými snehovými zrážkami, čo môže indikovať ich úbytok v druhej dekáde analýzy, ale vyžaduje si detailnejšiu analýzu.

6.2 Porovnanie výsledkov s inými zdrojmi

Interpretácia stupňov nebezpečenstva sa v priebehu rokov podľa (Harvey & Zweifel, 2008) nezmenila, čo je vyvodené zo zistenia stabilného počtu lavínových incidentov naprieč vyhlásenými stupňami nebezpečenstva, avšak pozorovanej zmene proporčného rozloženia stupňov naprieč sezónami. Keďže je interpretácia stupňov lavínového nebezpečenstva od prijatia štandardov súvisiacich s jednotnou stupnicou lavínového nebezpečenstva postavená na rovnakých princípoch vo všetkých krajinách ktoré ju používajú, dal by sa tento fakt uplatniť aj na slovenské aj české pohoria. Zmeny v počtoch stupňov naprieč sezónami sa teda nedajú pripísať zmene v postupe vyhlasovania stupňov nebezpečenstva.

Pri pozorovaní zmien výšky snehovej pokrývky v pohoriach bol podľa (Siman, 2019) zaznamenaný rastúci trend, zatiaľ čo v nižších nadmorských výškach trend stagnujúci alebo až klesajúci. Počty stupňov lavínového nebezpečenstva s ich závislosťou na zmene snehovej pokrývky sa môžu meniť aj z tohto hľadiska.

Dĺžky sezón analyzované v tejto práci majú klesajúci trend práve v pohoriach s nižšou nadmorskou výškou (Malá a Veľká Fatra), zatiaľ čo v pohoriach vyšších sú trendy dĺžky sezón stagnujúce, alebo až mierne rastúce (Vysoké Tatry).

6.4 Možnosti ďalšieho výskumu

Analýza dát v tejto práci ukázala badateľné zmeny v počtoch stupňov lavínového nebezpečenstva, ktorých príčiny sú len hypoteticky načrtnuté a ich potvrdenie či vyvrátenie si vyžaduje ďalší detailnejší výskum zameraný na konkrétny faktor zmeny vyhlásených stupňov (napr. zmena v priebehu sezón v kontexte zmeny klimatických faktorov). Ďalšiu možnosť rozšírenia informácií predstavuje porovnanie vyhlásených stupňov s realitou v českých a slovenských pohoriach, teda skutočnou lavínovou situáciou prevládajúcou v pohoriach. Môže sa jednať o porovnanie vyhlásených stupňov lavínového nebezpečenstva s výskytom lavín, ich veľkosťou a vlastnosťami, čo by overilo presnosť lavínovej predpovede, keďže so zvyšujúcim sa stupňom nebezpečenstva by mali byť pozorovateľné aj dôkazy zhoršenej situácie (zvýšenie počtu, veľkosti a rozšírenie miest výskytu lavín). Analýza dát o stupni lavínového nebezpečenstva a lavínových nehodách môže ukázať využívanie lavínovej prevencie rekreatantmi v horskom prostredí (počtom lavínových nehôd v jednotlivých stupňoch). Následky klimatickej zmeny, jej ovplyvňovanie počasia, vlastností snehu a tým pádom aj lavínovej situácie predstavujú ďalšiu širokú oblasť ďalšieho skúmania a analýzy v oblasti lavínovej prevencie, keďže v následku klimatickej krízy sa môže meniť frekvencia, typy lavín a s tým aj počet obetí lavín (Strapazzon, 2021).

8. Záver

V tejto práci bola prevedená analýza dlhodobého vývoja vyhlasovania stupňov lavínového nebezpečenstva a spracovaná rešerš problematiky lavín, lavínovej prevencie, a stupnice lavínového nebezpečenstva. Poskytnuté dáta boli upravené do vhodnej formy k vizualizácii, vizualizované podľa zadania, v jednotlivých mesiacoch v priebehu sezón a aj pre sezóny celkovo, naprieč časovou radou. Navyše bola v práci pomocou grafov zobrazená dĺžka sezón v jednotlivých pohoriach. Pre možnosť pozorovania zmien boli navyše dáta rozdelené podľa prvej (2000 – 2010) a druhej (2010-2020) dekády, a bol zobrazený rozdiel viac (v prípade počtov stupňov v priebehu sezón) či menej (v prípade dĺžky sezón) významný. Prínos práce predstavuje jej poznatok o zmene počtov vyhlásených stupňov v priebehu sezón v porovnaní medzi dekadami a o jednotnosti vyhlásených počtov stupňov lavínového nebezpečenstva v jednotlivých sezónach, napriek stabilnej dĺžke sezón. Práca predstavuje motiváciu k ďalšiemu skúmaniu vývoja vyhlasovania lavínového nebezpečenstva, napríklad v kontexte s vývojom počasia a pomeru vyhlásených stupňov v jednotlivých sezónach.

9. Zoznam použitej literatúry

- EAWS - Working Group Matrix and Scale. *Determination of the avalanche danger level in regional avalanche forecasting.*
- Reuter, B., Schweizer, J. (2018). *Describing snow instability by failure initiation, crack propagation, and slab tensile support. Geophysical Research Letters* 45, 7019 – 7029. doi:10.1029/2018GL078069.
- Alpy4000.. *Alpy4000*. Cit. 11. 3 2023. Lavinová historie, Dostupné z: <https://www.alpy4000.cz/lavinova-historie>
- Ancey, C. (2005). "Some notes on the history of snow and avalanche research in Europe, Asia and America." *Ice News Bull. Int. Glaciol. Soc* 139 : 3-11.
- Ancey, C. (2001). *Snow avalanches. In: N. Balmforth & A. Provenzale: Geomorpho- logical Fluid Mechanics, Lecture Notes in Physics 582*. Berlin. *Backcountry avalanche safety : A guide to managing avalanche risk - 4th edition*. 2017RMB Rocky Mountain Books
- Biskupič, M. (2018). *Avalanche monitoring and run-out modelling using GIS*. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí. Vedoucí práce Matějček Luboš.
- Biskupič, M. (2015). *40 rokov lavínovej prevencie a záchrany na Slovensku*. Stredisko lavínovej prevencie Horská záchranná služba, Liptovský Hrádok.
- de Quervain, M. R. (1965). *Problems of avalanche research, in Symposium at Davos 1965—Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches, IAHS Publ.*, 69, 1–8,. Davos.
- Dekanová, F. et.al (2018). *Avalanche forecasting using neural network, Mikulov, Czech Republic, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/ELEKTRO.2018.8398359.*
- Delparte, D. M. (2008). *Avalanche Terrain Modeling in Glacier National Park, Canada. University of Calgary, Department of Geography*. Calgary.
- Dennis, A. a. (1996). "Evolution of public avalanche information: The North American experience with avalanche danger rating levels." *Proceedings of the International Snow Science Workshop, Banff, Alberta*.
- EAWS . (2023). *European Avalanche Warning, Fatalities statistics*. Cit. 5. 3 2023. Dostupné z: [avalanches.org://www.avalanches.org/fatalities/fatalities-statistics/](http://www.avalanches.org/fatalities/fatalities-statistics/)
- EAWS . (2023). *Information Pyramid – EAWS - European Avalanche Warning Services*. Cit. 23. 3 2023. Dostupné na Internete: <https://www.avalanches.org/standards/information-pyramid/>

- EAWS. (2017). *Avalanche Size – EAWS. EAWS – European Avalanche Warning Services [online]. Copyright © 2023 EAWS [cit. 03.03.2023].* (European Avalanche Warning Services) Cit. 3. 3 2023. Dostupné z: <https://www.avalanches.org/standards/avalanche-size/>
- EAWS. (2017). *Typical avalanche problems.* Cit. 3. 3 2023. Dostupné z: [avalanches.org: https://www.avalanches.org/wp-content/uploads/2022/09/Typical_avalanche_problems-EAWS.pdf](https://www.avalanches.org/wp-content/uploads/2022/09/Typical_avalanche_problems-EAWS.pdf)
- European Avalanche Warning Services. *DOWNLOADS/RESOURCES.* Cit. 2023. Dostupné z: <https://www.avalanches.org/downloads/>.
- Föhn, P. M. (2002). *Formation and forecasting of large (catastrophic) new snow avalanches, in Proceedings of the ISSW 2002, edited by J. R. Stevens, pp. 141–148, Int. Snow Sci. Workshop Can., B. C. Minist. of Transp., Snow Avalanche Programs.* Victoria, B. C., Canada,.
- GADEK, B. G. (2016). Variability of the snow avalanche danger in the Tatra Mountains during the past nine decades [online]. 2016. IGIPZ PAN. [Accessed 30 March 2023]. Dostupné z: <http://rcin.or>.
- Hanausek, E. (2000). *Lawinen - handbuch.* Innsbruck-Vienna: Amt der Tiroler Landesregierung (Ed.).
- Harvey, S., & Zweifel, B. (2008). "New trends of recreational avalanche accidents in Switzerland." *Proceedings ISSW.*
- Hollý, D. (1990). Meteorologické podmienky vzniku lavín v Západných Karpatoch. *Geografický časopis*, 1 (42).
- Horská služba ČR. *Historie výzkumu lavín v ČR.* Cit. 11. 3 2023. Dostupné z: [horskasluzba.cz: https://www.horskasluzba.cz/cz/horska-sluzba/laviny/informace-o-lavinach/historie-vyzkumu-lavin-v-cr](https://www.horskasluzba.cz/cz/horska-sluzba/laviny/informace-o-lavinach/historie-vyzkumu-lavin-v-cr)
- International Commission on Snow and Ice. (1981). *Avalanche atlas : illustrated international avalanche classification.* UNESCO ISBN 92-3-001696-9.
- Jones, A. (2004). Review of glide processes and glide avalanche release. *Avalanche News.*
- Mair, R. N. (2018). *Lavina.* ALPY PRAHA spol. s r.o., vydavatelství hoeské literatury Praha 5.
- McClung, D. a., & Schaerer, P. (1981). Snow avalanche size classification. Canadian Avalanche Committee. *Avalanche Workshop*, 3-5 Nov. 1980. Associate Committee on Geotechnical Research. Technical Memorandum 133, National Research Council of Canada, 12-27.
- McClung, D. M. (2002). *The elements of applied avalanche forecasting – Part I: The human issues, Nat. Hazards*, 26, 111–129, dostupné z: <https://doi.org/10.1023/a:1015665432221>.

- Meister, R. (1994). *COUNTRY-WIDE AVALANCHE WARNING IN SWITZERLAND*.
- Milan, L. (2006). *Lavíny v horstvách Slovenska*. Bratislava.
- Murphy, A. H. (1993). What is a good forecast? An essay on the nature of goodness in weather forecasting, *Weather Forecast.*, 8, 281–293.
- R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Schweizer et al., J. J. (2003). *Jürg, J. Bruce Jamieson, and Martin Schneebeli; Snow avalanche formation.* "Reviews of Geophysics 41.4.
- Schweizer, J. a. (1996). *Avalanche forecasting — an expert system approach.* *Journal of Glaciology [online]*. B.m.: Cambridge University Press, vol. 42, no. 141, pp. 318–332.
- Schweizer, J. e. (2018). "Quantifying the obvious: the avalanche danger level." *Proceedings ISSW. 2018*.
- Schweizer, J. (2014). Snow avalanches. In *In: HAEBERLI, Wilfried; Whiteman, Colin. Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters*. Elsevier.
- Siman, C. a. (2019). *VÝVOJ SNEHOVEJ POKRÝVKY NA SLOVENSKU V OBDOBÍ ROKOV 1981/1982–2017/2018*.
- Stoffel, A. M. (2004). *Ten years experience with the five level avalanche danger scale and the gis database in Switzerland*.
- Strapazzon, G. S. (2021). Effects of Climate Change on Avalanche Accidents and Survival, *Front. Physiol.*, 12(April), doi:10.3389/fphys.2021.639433, 2021.
- Techel, F. M.-G. (2022). On the correlation between a sub-level qualifier refining the danger level with observations and models relating to the contributing factors of avalanche danger, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 22, 1911–1930, <https://doi.org/10.5194/nhess-22-1911-2022>.
- Valt, M. (2014). *Avalanche danger variability in level 2 – moderate and 3 – considerable of the European danger scale following the EAWS bavarian matrix: experimental use of icons representing different weight within one degree and scenarios frequency in the last few wi.* International Snow Science Workshop Grenoble – Chamonix Mont-Blanc - 2013.
- Vojtek, M. (2004). *Štatistické spracovanie historických lavínových záznamov od r. 1850 z hľadiska meteorologických podmienok vo Vysokých Tatrách*. FMFI UK Bratislava.
- Wickham H, A. M. (2019). "Welcome to the tidyverse." *_Journal of Open Source Software_*, 4*(43), 1686. doi:10.21105/joss.01686 <<https://doi.org/10.21105/joss.01686>>.

Williams, K. (1980). Credibility of Avalanche Warnings. *Journal of Glaciology*, 26(94), 93-96. doi:10.3189/S0022143000010625 .

WLS Institute for Snow and Avalanche Research SLF. www.slf.ch. Origins of the avalanche bulletin – history and background: Dostupné z: <https://www.slf.ch/en/about-the-slf/portrait/history/origins-of-the-avalanche-bulletin.html>