

Lavine, objektivne opasnosti u planinama

Trupković, Lovro

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:925972>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)/[Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

Lovro Trupković

**LAVINE – OBJEKTIVNE OPASNOSTI U
PLANINAMA**

diplomski rad

Zagreb, rujan, 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Zagrebu
Kineziološki fakultet
Horvaćanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Hrvatska

Naziv studija: Kineziologija; **smjer:** Kineziologija u edukaciji i Jedrenje

Vrsta studija: sveučilišni

Razina kvalifikacije: integrirani prijediplomski i diplomski studij

Studij za stjecanje akademskog naziva: sveučilišni magistar kineziologije u edukaciji i jedrenju (univ. mag. cin.)

Znanstveno područje: Društvene znanosti

Znanstveno polje: Kineziologija

Vrsta rada: Znanstveno-istraživački/Stručni rad

Naziv diplomskog rada: Lavine – objektivna opasnost u planinama je prihvaćena od strane Povjerenstva za diplomске radove Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini 2023./2024. dana 18. travnja 2024.

Mentor: izv. prof. dr. sc. *Vjekoslav Cigrovski*

Pomoć pri izradi:

Lavine – objektivna opasnost u planinama

Lovro Trupković, 0034085409

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

- | | |
|---------------------------------------------------|----------------------|
| 1. izv. prof. dr. sc. <i>Vjekoslav Cigrovski</i> | Predsjednik - mentor |
| 2. izv. prof. dr. sc. <i>Nikola Prlenda</i> | član |
| 3. izv. prof. dr. sc. <i>Tomislav Krističević</i> | član |
| 4. izv. prof. dr. sc. <i>Jadranka Vlašić</i> | zamjena člana |

Broj etičkog odobrenja:

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Kineziološkog fakulteta, Horvaćanski zavoj 15, Zagreb

BASIC DOCUMENTATION CARD

DIPLOMA THESIS

University of Zagreb
Faculty of Kinesiology
Horvacanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Croatia

Title of study program: Kinesiology; course Kinesiology in Education and Sailing

Type of program: University

Level of qualification: Integrated undergraduate and graduate

Acquired title: University Master of Kinesiology in Education and Sailing

Scientific area: Social sciences

Scientific field: Kinesiology

Type of thesis: Professional work

Master thesis: Avalanche – objective danger in the mountains has been accepted by the Committee for Graduation Theses of the Faculty of Kinesiology of the University of Zagreb in the academic year 2023./2024. on April 18, 2024.

Mentor: Vjekoslav Cigrovski, associate prof.

Technical support:

Avalanche – objective danger in the mountains

Lovro Trupković, 0034085409

Thesis defence committee:

- | | |
|--------------------------------------------------|------------------------|
| 1. <i>Vjekoslav Cigrovski</i> , associate prof. | chairperson-supervisor |
| 2. <i>Nikola Prlenda</i> , associate prof. | member |
| 3. <i>Tomislav Krističević</i> , associate prof. | member |
| 4. <i>Jadranka Vlašić</i> , associate prof. | substitute member |

Ethics approval number:

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Kinesiology, Horvacanski zavoj 15, Zagreb

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završna verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Vjekoslav Cigrovski

Student:

Lovro Trupković

LAVINE – OBJEKTIVNE OPASNOSTI U PLANINAMA

Sažetak

U današnje vrijeme zbog globalnog zatopljenja u nizinama sve je manje snijega stoga ljudi koji vole rekreativne aktivnosti na snijegu često odlaze u planinska područja u potrazi za snijegom. U svakoj planini postoje subjektivne i objektivne opasnosti. Ovaj rad će se baviti jednom od objektivnih opasnosti, točnije lavinama. Opisat će kako i zašto lavine nastaju te koji je ljudski utjecaj na formiranje lavina. Navedene će biti i vrste lavina te koji to uvjeti pogoduju stvaranju lavina. Isto tako analizirati će se povijesne lavine kako bi se bolje razumjelo kolika je stvarna opasnost od lavina. Pregledom povijesnih lavina dobiva se uvid u učinke lavina na lokalne zajednice i infrastrukturu te mjere koje su poduzete za smanjenje tih rizika. Lavine imaju utjecaj na ljudske živote i samu zajednicu te uzrokuju velike ekonomske i ekološke posljedice. Proučeni su i ključni čimbenici koji pridonose nastanku lavina, uključujući meteorološke, topografske i ljudske čimbenike. S obzirom na činjenicu kako 90% svih lavina pokrene čovjek, uz činjenicu da je zimski turizam postao vrlo popularan, promatrat će se utjecaj turizam i rekreacijskih aktivnosti na povećanje rizika od lavina. Uz sve to najbitnije što će se proučavati su tehnike predviđanja i metode prevencija lavina kao što su inženjerske strukture i kontrolirane eksplozije. Opisan je i način na koji spasilački timovi traže osobe zatrpane lavinom. Detaljno je opisan postupak od lociranja signala sve do iskopavanje žrtve. Zaključno, cilj ovog rada je doprinijeti boljem razumijevanju lavina i unaprjeđenju mjera zaštite kako bi se smanjili gubici života i imovine u planinskim područjima.

Ključne riječi

Vrste lavina, slojevi snijega, prevencija od lavina, alpinisti, daskaši, skijaši

Avalanches – Objective Dangers in the Mountains

Abstract

In modern times, due to global warming, there is less snow in lowland areas, prompting people who enjoy snow-related recreational activities to seek snow in mountainous regions. Every mountain has subjective and objective dangers. This research will focus on one of the objective dangers, specifically avalanches. It will describe how and why avalanches occur and the human impact on their formation. The types of avalanches and the conditions that favor their creation will also be outlined. Historical avalanches will also be analyzed to better understand the actual risk posed by avalanches. By reviewing historical avalanches, insights are gained into the effects on local communities and infrastructure, and the measures taken to mitigate these risks. Avalanches impact human lives and communities, causing significant economic and ecological consequences. The key factors contributing to avalanches, including meteorological, topographical, and human factors, are studied. Given that 90% of all avalanches are triggered by humans, and considering that winter tourism has become very popular, the impact of tourism and recreational activities on increasing avalanche risk will be examined.. Additionally, the most important aspects to be studied are prediction techniques and avalanche prevention methods, such as engineering structures and controlled explosions. The method by which rescue teams search for people buried in avalanches is also described.. Ultimately, the goal of this paper is to contribute to a better understanding of avalanches and to improve protective measures to reduce the loss of life and property in mountainous areas.

Keywords

Types of avalanches, snow layers, avalanche prevention, mountaineers, snowboarders, skiers

Sadržaj

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD..... | 9 |
| 2. POVIJESNE LAVINE I NJIHOVI UČINCI..... | 11 |
| 2.1. Lavina u Galtüru, Austrija, (1999.) | 11 |
| 2.2. Lavina u Yungay-u, Peru (1970.)..... | 11 |
| 2.3. Lavina u Kitzbühelu, Austrija (1954.)..... | 11 |
| 2.4. Lavina u Montroc-u, Francuska (1999.)..... | 12 |
| 2.5. Lavine u Blonsu, Austrija (1954.)..... | 12 |
| 3. TEORIJSKE OSNOVE LAVINA | 13 |
| 3.1. Definicija lavine | 13 |
| 3.2. Vrste lavina | 13 |
| 3.2.1. Prašnaste lavine..... | 14 |
| 3.2.2. Pločaste lavine..... | 14 |
| 3.2.3. Lavine zbijenog snijega | 14 |
| 4. FORMIRANJE LAVINE | 15 |
| 4.1. Mehanizam i uzrok nastanka | 15 |
| 4.2. Meteorološki uvjeti..... | 15 |
| 4.3. Terenski uvjeti..... | 16 |
| 5. LJUDSKI UTJECAJ NA RIZIK OD LAVINA | 18 |
| 5.1. Turizam i rekreacija..... | 18 |
| 5.1.1. Skijanje i daskanje izvan uređenih staza | 18 |
| 5.1.2. Planinari, alpinisti i vozači motornih saonica | 18 |
| 5.1.3. Urbanizacija i infrastruktura | 19 |
| 5.2. Šumska i poljoprivredna djelatnost | 19 |
| 6. POSLJEDICE LAVINA..... | 20 |
| 6.1. Utjecaj na ljudske živote i zajednicu | 20 |
| 6.2. Ekonomske posljedice | 21 |

| | | |
|--------|-------------------------------------------------|----|
| 6.2.1. | Štete na infrastrukturi | 21 |
| 6.2.2. | Troškovi spašavanja i hitnih intervencija. | 22 |
| 6.2.3. | Utjecaj na lokalne ekonomije i turizam..... | 22 |
| 6.2.4. | Preventivni troškovi | 23 |
| 6.3. | Ekološke posljedice | 23 |
| 7. | METODE PREDVIĐANJA I PREVENCIJA LAVINE..... | 25 |
| 7.1. | Tehnika predviđanja lavina..... | 25 |
| 7.1.1. | Meteorološka analiza uvjeta | 25 |
| 7.1.2. | Terenski testovi | 26 |
| 7.1.3. | Lavinski prijemnici i sonde..... | 26 |
| 7.2. | Prevenzijske mjere | 27 |
| 7.2.1. | Inženjerske strukture | 27 |
| 7.2.2. | Kontrolirane eksplozije | 29 |
| 8. | ZAKLJUČAK | 31 |
| 9. | LITERATURA..... | 32 |

1. UVOD

Tijekom zimskih mjeseci dani su kraći i hladniji pa ljudi više vremena provode u zatvorenom prostoru te se kreću manje. Coon i suradnici (2011) u svom radu ističu kako vježbanje tijekom zimskih mjeseci u prirodnom okruženju doprinosi poboljšanju raspoloženja i smanjenju stresa više nego vježbanje u zatvorenim prostorima. Uz to ljudi imaju više energije za aktivnosti tijekom dana te jačaju imunitet zbog toga što se izlažu nižim temperaturama. Kao zadnja dva čimbenika navode da se kod ljudi koji se tijekom zimskih mjeseci bave tjelesnom aktivnošću poboljšala kvaliteta sna zbog svježeg zraka i prirodnog svjetla te im se povećao osjećaj povezanosti s prirodom koji utječe na ukupno mentalno zdravlje.

Sportovi na snijegu su zimske aktivnosti koje se odvijaju pretežno u planinama na snježnim terenima. Zajednička karakteristika mnogim od tih sportova je to što se odvijaju po strmim padinama na uređenim ili izvan uređenih staza. Kako se svi ti sportovi odvijaju u hladnom okruženju na često velikim nadmorskim visinama u tim aktivnostima postoje objektivne opasnosti za svakog čovjeka koji se njima bavi. Kao objektivne opasnosti navode se odroni stijena, mrak, snijeg i kiša te vlažnost stijena, munje, snježne strehe, visinska bolest, hladnoća, magla, lavine i sunce (Očić, 2021).

Lavina je pojava gdje se velika količina snijega kreće nizbrdo, a potaknuta je destabilizacijom snježnih slojeva. S obzirom na klimatske promjene i na nepredvidive vremenske uvjete danas su sve češća pojava u planinama i stvaraju sve veću opasnost za skijaše, daskaše i alpiniste. Na njih uvelike utječe sunce i temperature u planinskim područjima te kiša i vlaga. Sunčevo zračenje tijekom dana mijenja strukturu snježne površine dok se tijekom noći ta podloga smrzava. Upravo zbog toga idući slojevi snijega vežu se slabije za stari snijeg te stvaraju pogodnu situaciju za stvaranje lavine (Mair, i Nairz, 2013). U lavinama se mogu naći i veće količine leda, kamenja, drveća i drugih materijala koje lavina skupi putem niz padinu. Nepredvidive su i u trenu spuštanja niz padinu uzrokuju velike štete. Kreću se izrazito velikim brzinama i mogu biti pogubne za ljude ako im se nađu na putu. Najčešći okidač za pokretanje lavine su penjači, skijaši, daskaši na snijegu, vozači motornih saonica. Ancy (2001) u svom radu opisuje da su tijekom 20. stoljeća planinska područja u Sjevernoj Americi i Europi podvrgnuta izgradnji infrastrukture u svrhu turizma zbog porasta rekreacijskih aktivnosti. Izgrađeno je mnoštvo prometnica, hotela, restorana i trgovina. Ta infrastruktura u planinskim područjima često je u području rizika od lavina, a kako je građena u svrhu turizma u tim naseljima tijekom zimskih mjeseci često se nalazi velika broj ljudi na malom području. Poznati primjer je katastrofa u Val d'Is`ereu 1970. godine gdje je u hostelu stradalo 39 osoba zbog

lavine. Također u veljači 1999. godine dogodilo se nekoliko lavina u predjelu sjevernih Alpa gdje su stradale 62 osobe. Da bi se spriječile takve katastrofe tijekom godina osmišljene su razne mjere sigurnosti kako bi skijaški centri očuvali imovinu i ljude koji se nalaze u njihovom području. Skijaški centri nisu jedini koji se bore protiv lavina već su tu i naselja koja se nalaze u područjima visokog rizika za lavinu. Unatoč korištenju suvremene tehnologije i raznih metoda za suzbijanje lavina, u Sjevernoj Americi svake godine smrtno strada oko 40 osoba u snježnim lavinama (Howard, 2019).

Cilj ovog rada je opisati kako i zbog čega nastaju lavine u planinskom području. Također, objasniti će se važni postupci kako ljudi mogu izbjeći lavine te još bitnije, kako se mogu spasiti ako se zateknu u lavini. Skijaškim centrima i naseljima je vrlo bitno da se lavine preveniraju kako bi zaštitili svoje posjetitelje i svu svoju imovinu.

2. POVIJESNE LAVINE I NJIHOVI UČINCI

Tijekom povijesti lavine su imale značajan utjecaj na ljude, infrastrukturu i okoliš. Nerijetko su se događale i katastrofalne posljedice s velikim štetama i velikim brojem žrtava. Razumijevanje povijesnih lavina ključno je za razvoj učinkovitih mjera za upravljanje rizicima i preventivnim mjerama budućih nesreća.

2.1. Lavina u Galtüru, Austrija, (1999.)

Lavina koja se dogodila u malom austrijskom selu bila je jedna od najdestruktivnijih lavina u Europi u 20. stoljeću (Fuchs i sur., 2016). Katastrofa se dogodila 23. veljače 1999. godine zbog velike količine snježnih padalina i jakog vjetra koji je stvorio nestabilne snježne nanose. Lavina u kojoj je stradala 31 osoba, uništila je više zgrada do temelja i prisilila lokalne vlasti na masovnu evakuaciju. Evakuirano je oko 2000 ljudi iz tog područja zbog straha od daljnjih lavina. Snijeg je prekrrio cijelo selo te je spašavanje ljudi koji su bili zatrpani bilo izuzetno teško zbog opasnih uvjeta. Nakon lavina u tom selu vlasti su uložile značajne napore za poboljšanje sustava za obranu od lavina.

2.2. Lavina u Yungay-u, Peru (1970.)

Potres magnitude 7,9 po Richteru bio je uzročnik jedne od najvećih katastrofa koje su pogodile Peru. Lavina se pokrenula nakon što je potres pogodio regiju Ancash 31. svibnja 1970. godine (Plafker i Ericksen, 1978). Zbog potresa dogodio se kolaps velikog dijela ledenjaka na planini Huascarán (Oliver-Smith, 1986). Klizište i lavina uništili su gradove Yungay i Ranrahirca, ubivši preko 20 000 ljudi. Snježna masa kretala se brzinama preko 300 km/h i prekrila je područje od 15 kilometara (Plafker i Ericksen, 1978). Uz lavinu i potres javila su se i razna klizišta i poplave što je dodatno otežalo spašavanje preživjelih i oporavak gradova.

2.3. Lavina u Kitzbühelu, Austrija (1954.)

U ovoj lavini stradao je poznati skijaški centar, a dogodila se 3. siječnja 1954. godine u Kitzbühelu. Lavina je zatrpała 10 osoba i učinila značajnu materijalnu štetu (McClung i Schaerer, 2006). Oštećene su brojne zgrade te je uništeno nekoliko skijaških staza. Uzrok lavine je bilo intenzivno nakupljanje snježnih padalina i naglih promjena temperature. Posljedično lavina je potaknula da se više ulaže u lavinske barijere i druge preventivne mjere kako bi se zaštitio skijaški centar i njegovi posjetitelji (Perl i Martinelli, 1978.).

2.4. Lavina u Montroc-u, Francuska (1999.)

Lavinu u Montroc-u dogodila se 9. veljače 1999. godine u malom selu blizu poznatog skijališta Chamonix u francuskim Alpama. Dugotrajno snježno nevrijeme rezultiralo je lavinom u kojoj je stradalo 12 osoba (Ancy, 2004). Uništeno je i nekoliko domova, a snježni nanosi su bili toliki da su prekrili ceste i onemogućili prolaz do sela. Ova lavina je potaknula promjenu politike u Francuskoj. Više pozornosti se počelo obraćati na politiku lavinskog upravljanja i poboljšanje sigurnosnih mjera.

2.5. Lavine u Blonsu, Austrija (1954.)

U Blonsu u Vorarlbergu javile su se dvije velike lavine 12. i 13. siječnja 1954. godine. Selo je zbog lavina bilo uništeno, a stradalo je 125 osoba. Te dvije lavine pokrenule su niz drugih problema. Nakon njih javile su se sekundarne lavine i brojna klizišta koja su dodatno uništila selo. Ovaj incident je značajan zbog toga što je potaknuo razvoj novih metoda za procjenu rizika od lavina i implementaciju sigurnosnih mjera u skijaške centre i naselja koja se nalaze u rizičnom području (Fuchs, 2009).

3. TEORIJSKE OSNOVE LAVINA

Lavine su vrlo ozbiljne prirodne pojave koje unatoč suvremenim tehnologijama svake godine zatrpavaju brojne skijaše, daskaše i alpiniste. Zato je bitno poznavati što su lavine, kako i zašto nastaju te kako ljudi utječu na njihovo nastajanje.

3.1. Definicija lavine

Lavine se mogu definirati kao kretanje snježne mase pod djelovanjem sile gravitacijom niz padine (International Snow Science Workshop, 2002). Snijeg se također može kretati drugim načinima. Primjerice, snježni nanosi su također gibanje snijega kao i snježne lavine. Razlika između snježnih nanosa i snježnih lavina je ta što u snježnim nanosima se čestice snijega kreću s pomoću vjetra, a ne s pomoću sile gravitacije. Snježni nanosi su manje opasni od snježnih lavina

Postoje dva glavna čimbenika koje su potrebna da bi nastala snježna lavina. To su određena količina snijega i nagib padine. Snijeg je jedan od oblika voda koji nastaje sublimacijom vodene pare prilikom čega nastaju kristali u obliku šesterokrakih zvjezdica koje su slijepljene u pahuljice. Veličina, težina i oblik samih pahuljica ovisi o temperaturi zraka kroz koji te pahuljice prolaze. Ako su uvjeti pogodni, padanjem snijega na tlo nastaje snježni pokrivač. Snježni pokrivač je masa koje se nalazi na tlu, ali se ne sastoji samo od snijega već se može sastojati i od leda, kiše iinja. Glavni razlog zašto nastaju lavine je upravo to što se snježni pokrivač može sastojati od više različitih slojeva.

Nagib terena je također bitna stavka zbog toga što je nagib zaslužan za klizanje snježnog pokrivača uz pomoć gravitacije. Lavine mogu nastati već pri nagibu padine od 15° , no najčešći nagibi gdje se događaju lavine su od 30° do 45° (Dobrinić, 2017). Da bi se lavina razvila pri nagibu od 15° snijeg mora sadržavati veliku količinu vode.

3.2. Vrste lavina

Kriteriji za podjelu lavina su stanje snijega i vrsta snježnih padalina. Prema stanju snijega lavine mogu biti sadržane od rastresitog snijega i od zbijenog snijega. Prema vrsti padalina lavine mogu sadržavati mokri ili suhi snijeg. Lavine od suhog snijega još se nazivaju i prašinate lavine, a lavine od zbijenog snijega su uglavnom pločaste lavine.

Lavine se mogu podijeliti i prema vrsti uzroka zbog kojeg je lavina započela. Dijele se na lavine objektivnog karaktera i lavine subjektivnog karaktera (Alikalfić, 2009). Lavine objektivnog

karaktera su započete zbog zatopljenja, težine snijega i slično dok su lavine subjektivnog karaktera započete zbog djelovanja čovjeka na snježnu plohu.

3.2.1. Prašinate lavine

Prašinate lavine nastaju kada se temperature spuste 10° ispod 0° i kada je snijeg svjež. One se kreću u obliku prašine i zapravo lebde iznad terena pa zbog toga postižu brzine i do 300 km/h. Upravo zbog toga što lebde iznad tla, teren i podloga na nju nemaju nikakav utjecaj te ju ne usporavaju. Nerijetko se kreću preko čak dvije doline. Snijeg koji sačinjava takvu lavinu je poznat kao pršić (suhi snijeg). Vrlo teško ih je izbjeći jer se javljaju na niskim temperaturama pa su zbog niskih temperatura i suhog snijega gotovo bešumne. Puknuće se događa u jednoj točki i širi se prema dolje i prema van, stvarajući oblik obrnutog slova V. Prašinate lavine nisu najsmrtonosniji oblik lavina, ali zbog velikih brzina se mogu proširiti na široka područja.

3.2.2. Pločaste lavine

Pločaste lavine se kreću u obliku velikih ploča i nastale su od snijega koji je padao pod utjecajem vjetra. Znatno su sporije od prašinastih, no nisu bezazlene. Kreću se brzinama do 150 km/h. Teško ih je izbjeći jer započinju tako da se snježna ploha odvoji u obliku velike plohe i puknuće se najčešće događa tako da se snježna ploha presijeca okomito na padinu. Presijecanje se događa nenadano pa ljudi najčešće nemaju vremena pobjeći na sigurno.

3.2.3. Lavine zbijenog snijega

Najsporije su od navedenih i kreću se brzinama do 70 km/h. Iako im je brzina najmanja od ostalih one rade najviše štete. Pretežno su to mokre lavine koje sadrže velike količine snijega s velikim postotnim udjelom vode. Obično se javljaju tijekom proljeća u popodnevним satima kada je sunce najjače. Za njih je karakteristično da su teške, glasne i prljave. Prljave su zbog toga što zbog težine snijega lome sve pred sobom i odvajaju od tla kamenje i zemlju. Mjesto pucanja snježne plohe je usko i teško uočljivo. Prilikom pokretanja takve lavine su uske dok se daljnjim spuštanjem niz padinu šire i postaju sve veće.

4. FORMIRANJE LAVINE

Uzastopne snježne padaline tijekom zime i proljeća formiraju snježni pokrivač. Lavine se formiraju kada snježni slojevi postanu nestabilni zbog različitih čimbenika kao što su nagib terena, vremenski uvjeti, struktura snježnog sloja i prisutnost dodatnih opterećenja poput ljudskih aktivnosti ili novih snježnih padalina. Promjene snijega se odvijaju ovisno o vremenskim prilikama, a nastaju kao posljedica raznih mehaničkih (puzanje i slijeganje) i termodinamičkih procesa.

4.1. Mehanizam i uzrok nastanka

Postoji nekoliko ključnih čimbenika koji su zaslužni za formiranje i pokretanje lavina. To su nagomilavanje snijega, stabilnost snježnog pokrivača i okidači lavina. Proces stvaranja lavina započinje tako da se gomila snijeg na padinama planina. Snijeg koji je na planinama, taloži se mjesecima. Kroz tih nekoliko mjeseci snijeg pada u različitim uvjetima pa tako i vrsta snijega koja pada nije uvijek ista. Snijeg se taloži u slojevima, a svaki sloj može imati različite fizičke karakteristike s obzirom na uvjete u kojima je padao. Karakteristike uključuju gustoću, tvrdoću i strukturu kristala. Zbog različitih slojeva snijega postoji različita povezanost između slojeva. Stabilnost snijega ovisi o adheziji između slojeva snijega. Što je slabiji sloj u snježnom pokrivaču bliže tlu to će lavina biti veća i opasnija. Snježni pokrov može biti stabilan dok se ne formira slabi sloj po kojem će ostali slojevi kliznuti niz padinu (Schweizer i sur., 2003). Lavina se pokreće kada vanjski čimbenik destabilizira snježni pokrov. Okidači mogu biti novi snijeg, promjena meteorološki uvjeta ili ljudska aktivnost. Zbog tih okidača pucaju veze između snježnih kristala u slojevima koji su najslabiji. Pucanjem veza između snježnih kristala gornji slojevi se više ne mogu zadržavati za donje slojeve stoga po sili gravitacije kliznu niz padinu.

4.2. Meteorološki uvjeti

Najčešći uzrok oslobađanja lavina je promjena vremenskih uvjet. Tri su glavna uvjeta koja utječu na opasnost od lavina. To su padaline, temperatura i vjetar.

Što je veća akumulacija novog snijega to je opasnost od lavine značajno povećana. Primjerice akumulacija od 30 cm/dan novog snijega može izazvati široku lavinu. Količina padalina veća od 2,5 cm po satu stvara nestabilne ploče novog snijega koje pogoduju nastanku lavina (Dobrinić, 2017). Također kiša je vrlo bitan čimbenik kod formiranja lavina. Kiša igra složenu

ulogu u promjeni temperature snijega i samoj strukturi kristala, odnosno vezama između kristala. Ako je snijeg suh i pada mala količina kiše to ne utječe znatno na mehanička svojstva snijega. Međutim, jaka kiša uzrokuje brz porast udjela tekuće vode u snijegu što rezultira padom čvrstoće veza između kristala. Pri padu čvrstoća veza povećava se klizno naprezanje.

Grijanje tijekom dana i hlađenje tijekom noći najbolje je za povezivanje slojeva snježnog pokrivača. Ako je nekoliko dana temperatura viša nego uobičajena to može uzrokovati topljenje snijega u gornjim slojevima. Kada temperatura ponovno padne da se taj sloj može smrznuti, on tvori glatku i manje stabilnu površinu za sljedeće snježne padaline. Također, porastom temperature snijeg postaje vlažniji te samim time postaje i težak te sklon klizanju. Isto tako topljenjem gornjeg sloja snijeg kapljice vode klize u donje slojeve te mogu oslabiti strukturu snježnog pokrivača. Naglim padom temperature mogu se formirati tanki i lomljivi slojevi unutar snježnog pokrivača. Takav sloj snijega nazivamo površinski zrnasti snijeg te on može poslužiti kao klizna površina za gornje slojeve snijega. Ako su temperature preniske snijeg se ne uspijeva međusobno povezati stoga opasnost od lavina također postoji.

Vjetar je meteorološki čimbenik koji uz temperaturu i padaline utječe na stabilnost snježnog pokrivača. Utjecajem vjetra snijeg se može nakupiti deset puta brže nego samim padanjem snijega. Uzrokuje neravnomjernu raspodjelu snijega tako da se na zavjetrini nakuplja veća količina snijega. Također prilikom puhanja vjetra snijeg s jedne strane planine prelazi na drugu i opterećuje već postojeći snijeg te povećava rizik od stvaranja lavine. Osim navedenog, vjetar ubrzava metamorfozu snijega, odnosno fizikalnu promjenu snijega te formira snježne nanose čija urušavanja mogu izazvati lavine. Najopasniji vjetar za stvaranje lavine je od 30 km/h do 70 km/h.

4.3. Terenski uvjeti

Lavine pretežno nastaju na visokim predjelima koja su nepristupačna za ljude baš zbog uvjeta koji se nalaze u tim područjima, no moguće su već i na padinama koje imaju nagib veći od 15 stupnjeva. Najpogodniji uvjeti za stvaranje lavina su na padinama koje imaju nagib od 35 do 45 stupnjeva (Alikalfić, 2009). Ako je nagib padine veći od 50 stupnjeva snijeg „proklizava“ niz padinu pa se rijetko nakupi dovoljno snijega da bi se formirala lavina.

Hrapavost površine tla ključan je čimbenik u zadržavanju snježnog pokrivača na tlu. Također bitna je podloga na koju je pao prvi snijeg. Ako je to suho lišće snijeg koji pada stvara snježni pokrivač koji nije povezan s podlogom i lako ga je pokrenuti. Snijeg će se lakše zadržati ako je tlo mokro pa će snijeg stvoriti dobre veze s tлом. Uvjeti koji smanjuju mogućnost za pokretanje

lavine su guste šume, isprekidan teren i tlo s velikim stijenama. To su uvjeti koji ograničavaju količinu snijega te ju uspješno zadržavaju. No, ako su šume rjeđe i šire raspoređene, ako su padine velike i otvorene s glatkim tlom, to se lavina lakše kreće i stvara.

Oblik i zakrivljenost terena utječu na raspodjelu naprezanja unutar snježnog pokrivača. Raspodjela naprezanja ovise o uzdužnom obliku tla. Primjerice, konveksne padine koncentriraju naprezanja i povezane su sa značajnijom varijacijom naprezanja u dubljim slojevima snježnog pokrivača čime pogoduju nestabilnosti snježnog pokrivača.

5. LJUDSKI UTJECAJ NA RIZIK OD LAVINA

Ljudske aktivnosti poput skijanja, planinarenja i daskanja na snijegu doprinose destabilizaciji snježnog pokrivača na padini. Za 90% lavina odgovoran je čovjek koji svojim ponašanjem izazove pokretanje lavine. Najčešće stradali su skijaši, daskaši na snijegu i vozači motornih saonica koji čine čak trećinu stradalih od lavina (Alikalfić, 2009).

5.1. Turizam i rekreacija

Turisti i rekreativci svojim aktivnostima na snijegu dodatno opterećuju snježni pokrov. Zbog same strukture skija i skijanja te daske i daskanja, prolazak rekreativaca urezuje skije u snijeg. Taj urez može stvoriti pukotine u snježnom pokrovu, a te pukotine se mogu brzo širiti i izazvati lavine. Osim skijaša i daskaša, planinari i alpinisti su najčešće osobe koje odlaze izvan uređenih područja, jer su to područja koja su njima zanimljiva i potrebna za njihove aktivnosti. Ta područja su teško dostupna mehanizaciji koja inače uređuje staze pa je rizik od lavina automatski povećan.

5.1.1. Skijanje i daskanje izvan uređenih staza

Mogućnost da lavina zahvati skijaške centre je mala zbog toga što skijaški centri imaju mjere obrana i prevencije od lavina. Nažalost, nemoguće je garantirati da su skijaški centri i naselja u rizičnim područjima sigurna. Sve više skijaša i daskaša u potrazi za avanturom odlučuje se na skijanje i daskanje izvan uređenih staza (*off-piste*). Skijanje i daskanje izvan uređenih staza dodatno opterećuje snježni pokrov. Ako u tom snježnom pokrovu ima slabijih slojeva, može doći do lavine. Kako područje izvan uređenih staza nije uređeno kao ona na skijalištu snijeg je često nedovoljno vezan. Izvan staza snijeg nije komprimiran, a komprimiranjem snijega djelujemo na stabilnost.

5.1.2. Planinari, alpinisti i vozači motornih saonica

Planinari i alpinisti svojim kretanjem po snijegu mogu izazvati dodatan pritisak na snježne slojeve. Za alpiniste je specifično što sa svojom opremom mogu naštetiti snijegu te tako stvoriti preduvjete za lavinu. Koristeći dereze i cepine mogu probiti slojeve snijega te tako stvore slabije točke gdje može nastati pucanje snježnog pokrivača (Gripped Outdoors, 2021). Vozači motornih saonica imaju najveću šansu da dožive pucanje snježnog pokrivača zato što koriste prijevozno sredstvo koje je izrazito teško i stvara vibracije koje opterećuju snijeg.

5.1.3. Urbanizacija i infrastruktura

Građevinski radovi koji se odvijaju u planinskim područjima uključuju razna iskopavanja i eksplozije koje mogu destabilizirati snježne slojeve. Iz istraživanja Schweizer i Jamieson (2001) može se uočiti da je u Švicarskoj s povećanjem broja cesta u planinskim područjima povećan i broj lavina za 20% do 25%. Isto tako, nove ceste mogu presjeći prirodne puteve kojima se prije kretao snijeg i lavina što posljedično može prouzročiti lavine na novim neočekivanim mjestima.

Prilikom izgradnje turističke infrastrukture kao što su objekti povećava pritisak na tlo i na snježne padine te se samim time destabilizira snježni pokrivač. Kako se zimski turizam odvija u hladnim mjesecima, sve te turističke objekte potrebno je grijati. Uz same objekte, ceste i ostala infrastruktura također podižu temperaturu u toj mikroklimi. Podizanje temperature uzrokuje topljenje snijega i stvaranje nestabilnih slojeva. Topljenjem snijega smanjuje se kohezija u snježnom pokrivaču pa se povećava rizik od lavine.

5.2. Šumska i poljoprivredna djelatnost

Turistički objekti sve se više razvijaju s obzirom na sve veću potražnju. Planinska područja su pretežno područja s mnogo šuma koje su same po sebi prirodna barijera lavinama i stabilizatori snijega. Da bi se oslobodila mjesta za turističke objekte, krče se velike količine šuma i čiste se zemljišta od raslinja. Kada se šume iskrče nestaje prirodna prepreka lavinama. Radovi u šumama mogu promijeniti strukturu tla. Promjena strukture tla može utjecati na stabilnost snježnog pokrivača jer oštećeno tlo može smanjiti trenje između tla i snijega. Padine postaju skliskije i podložnije su lavinama. Na ranije spomenute promjene u mikroklimi osim grijanje objekata i zagrijavanja infrastrukture utječe i krčenje šuma. Krčenjem šuma može dovesti do promjene u vjetrovima i utjecaju sunčevog zračenja na snijeg.

Poljoprivredna djelatnost na rizik od lavina djeluje slično kao i šumska djelatnost. Rušenjem stabala u svrhu obrade poljoprivrednih zemljišta uklanja se vegetacija koja pomaže u stabilizaciji i zadržavanju snijega. Poljoprivredne kulture nerijetko zahtijevaju i navodnjavanje, posebno u proljetnim mjesecima. Navodnjavanjem se u tlu povećava razina vlage, a ako tlo sadrži preveliki udio vode olakšava snijegu da klizne niz padinu. Kao što i šumski radovi mogu dovesti do promjene u strukturi tla tako i obrada tla može utjecati na vezu između tla i snijega.

6. POSLJEDICE LAVINA

Lavine su izrazito opasne prirodne pojave koje se javljaju tijekom zimskih i proljetnih mjeseci. Mogu imati ozbiljne posljedice na ljude, infrastrukturu i na okoliš. Posljedice lavina se dijele na utjecaj na ljudske živote i zajednicu, ekonomske i ekološke.

6.1. Utjecaj na ljudske živote i zajednicu

Snježne lavine poznate su po svom smrtnom potencijalu. Kad se osoba nađe zatrpana u snježnoj lavini šanse za preživljavanje u prvih 15 minuta nakon zatrpavanja su oko 92%. Međutim, ako osoba ostane zatrpana do 35 minuta, šanse za preživljavanje padaju na samo 37%. Nakon 35 minuta šanse za preživljavanje padaju na raspon od 5% do 20% ovisno o tome koliko brzo stigne pomoć i koliko je mjesto dostupno pristupu iz zraka (Hohlrieder, 2007). Čimbenici o kojima ovisi preživljavanje su brzina izvlačenja, dubina zatrpanosti i fizičko stanje osobe. Najčešći uzrok smrti u lavinama su gušenja i to čak u 76% slučajeva. Veljanović (2021) u svom radu navodi da u 23% slučajeva osobe preminu od posljedica ozljeda nastalih zatrpavanjem lavina, dok u samo 1% slučajeva osoba premine od pothlađenosti (hipotermije). Gušenje je vrlo čest uzrok smrti, jer je snijeg toliko gust da ako se osoba nađe glavom ispod površine snježnog pokrivača nema pristup zraku. Ako osobu zahvati lavina, osoba kliže zajedno sa lavinom niz padinu. Prilikom klizanja na putu može doći do trauma uzrokovanih udarcima u stijene ili drveće. Preživjele osobe često se suočavaju sa ozbiljnim povredama kao što su frakture kostiju, unutarnje ozljede, ozbiljno pothlađeni dijelovi tijela i ostale zdravstvene komplikacije.

Ljudi koji su imali sreće i preživjeli su lavinu mogu razviti psihološke probleme poput posttraumatskog stresnog poremećaja (PTSP), anksioznosti ili depresije. Ako se i osoba sama ne nađe u lavini, može se dogoditi da izgubi osobu blisku sebi pa također može razviti jedan od psiholoških poremećaja. Strah je još jedan psihološki problem koji se javlja kod ljudi. Postoji mnoštvo naselja koja se nalaze u rizičnim područjima. Osobe mogu razviti kronični strah i stres zbog toga što uvijek moraju biti na oprezu zbog mogućnosti novih lavina. Thordardottir, (2015) i suradnici u svom radu ističu da od PTSP-a oboli oko 25% osoba koje su bile preživjele lavinu ili su izgubili voljenu osobu. Isto tako tvrde da 15% njih boluje od depresije i čak 20% od anksioznosti.

Lavine najčešće utječu na rekreativce i natjecatelje koji se bave sportskim aktivnostima na planinskom području. Uz njih iduće žrtve lavina su naselja koja se nalaze u blizini. Zbog rizika

od lavina i čestih lavina, osobe koje žive u takvom području prisiljene su napustiti svoje domove i odseliti na neko sigurnije mjesto. Zbog raseljavanja ljudi dolazi do propadanja naselja i prekida društvenih mreža. Raspadom društvenih mreža i naselja gubi se i kulturni identitet tih osoba. Život im se promijeni iz korijena jer moraju iznova naći novi posao, novi dom i novo okruženje. Sve to može utjecati na njihovo mentalno zdravlje jer gube doticaj sa svojim prijateljima, susjedima ostalim poznanicima iz naselja. Kako su to često mala planinska mjesta, većina ljudi se međusobno poznaje pa je baš zato još teže se odvojiti od takvog okruženja. Također, ljudi koji su rođeni u takvim područjima imaju i svoja zemljišta na tom području. Ta zemljišta se koriste često za poljoprivrednu djelatnost, šumarstvo i građevinske radove. S obzirom na česte lavine ta zemljišta se moraju prenamijeniti. Zabranjuju se gradnje objekata u visokorizičnim područjima, te se neka zemljišta pošumljavaju. Na poljima se umjesto uzgoja poljoprivrednih kultura grade zaštitne strukture za protuobranu od lavina.

6.2. Ekonomske posljedice

6.2.1. Štete na infrastrukturi

Kada su lavine u pitanju, ekonomske posljedice su uvijek velike. Lavine mogu prouzrokovati ogromne štete na infrastrukturi. Mogu uništiti ili oštetiti ceste, mostove ili željezničke pruge. Oštećenjem cesta, mostova i željezničkih pruga prekida se promet i transport. Prekidom prometa i transporta turisti ne mogu stići do skijališta ili određene destinacije. Aktiviraju se razna klizišta koja nakon što lavina prođe dodatno uništavaju prometnu infrastrukturu. Osim prometne infrastrukture na putu se često nađu i zgrade i objekti. Sile koje lavine prouzrokuju su tolike da mogu ozbiljno oštetiti stambene, poslovne ili industrijske objekte. Nerijetko se može dogoditi i kolaps odnosno urušavanje zgrada. Najranjivije su zgrade koje se nalaze na samim skijalištima gdje se lavina pokreće, no ni objekti u dolini ponekad znaju nastradati ako je lavina velikih razmjera. Tako je u veljači 1999. godine lavina pogodila austrijsko selo, uništavajući stambene zgrade, hotele i infrastrukturu. U toj nesreći poginula je 31 osoba (Bartelt i sur., 2012). Na putu se često nađu i objekti i energetska mreža. Popravak infrastrukture, pogotovo energetske mreže veoma je skup. Od infrastrukture najčešće stradaju električni vodovi i dalekovodi. Stupovi električni vodova se oštećuju i mogu se čak i srušiti. Oštećenjem električnih vodova dolazi do prekida opskrbe električnom energijom velikih područja. Uz električne vodove mogu nastradati i hidroelektrane ako postoje u blizini, plinovodi i naftovodi. Šteta na hidroelektranama može nastati na brani, lavina može blokirati dotok vode ili oštetiti ključne komponente te tako smanjiti proizvodnju električne energije. Po prirodu i čovjeka opasno je oštećenje plinovoda i naftovoda. Oštećenje plinovoda ili naftovoda nije samo opasno

jer se prekida opskrba plina ili nafte već zato što štetne tvari mogu iscuriti u prirodu i stvoriti ekološko onečišćenje. Lavina u Britanskoj Kolumbiji 2003. godine oštetila je plinovod što je dovelo do velikog curenja plina (Jamieson i Johnston, 1998). Na solarnim i vjetroelektranama može nastati manja šteta kao što je oštećenje bazne strukture vjetroturbina ili pokrivanje solarnih panela snijegom. Zbog toga dolazi do prestanka proizvodnje električne energije, no problem je moguće brzo riješiti.

6.2.2. Troškovi spašavanja i hitnih intervencija.

Troškovi spašavanja mogu biti značajni zbog toga što često uključuju spašavanje helikopterom ili terensku potragu s velikim brojem ljudi. Troškovi spašavanja ovise od intervencije do intervencije, ovisno o veličini lavine i opsegu potrage. Uz ljude, glavni dio akcije spašavanja je helikopter. U troškove helikoptera ubraja se gorivo, posada, održavanje te eventualna zamjena opreme i popravak. Helikopter je i najskuplji dio cijele akcije spašavanja te ga se koristi samo kao pomoćno sredstvo spasilačkim timovima. U spasilačkim timovima uključeni su razni timovi ljudi. Planinski vodiči su tu zbog toga što poznaju područje, medicinski timovi su uključeni zbog pružanja prve pomoći u slučaju pronalaska zatrpanih osoba te posljednja, ali ne najmanje bitna stavka su psi tragači. Psi tragači se koriste zbog svog istančanog njuha kojim mogu pronaći osobe ispod snijega. Troškovi spasilačkih timova su plaće, troškovi opreme te obuka pasa tragača. U nekim manjim mjestima naselja su premala da bi sadržavala vlastite spasilačke timove pa dolaze timovi iz drugih većih naselja. U troškove se ubrajaju smještaj za spasioce, prehrana i logistika. Tako je na primjer, u već spomenutoj lavini u austrijskom selu 1999. godine angažirano više od 500 spasioca i korištena su 25 helikoptera. Troškovi akcije spašavanja u tom slučaju iznosili su preko 5 milijuna eura zbog opsežne potrage (Fuchs i sur., 2016).

Medicinski troškovi uključuju pružanje hitne medicinske pomoći, transport ozlijeđenih do bolnice, hitne operacije i dugotrajnu rehabilitaciju u pojedinim slučajevima. Naravno svi ti troškovi ovise o težini zadobivenih ozljeda i broju ozlijeđenih osoba. Također uz medicinsku pomoć pruža se i psihološka podrška preživjelim i njihovim obiteljima.

6.2.3. Utjecaj na lokalne ekonomije i turizam

Lokalna ekonomija može pretrpjeti veliku štetu zbog lavina. Oštećena infrastruktura se mora popraviti što dovodi do velikih troškova popravaka i obnove. Zbog oštećene infrastrukture dolazi do prekida u poslovanju. Razne tvrtke, posebno one koje su povezane s turizmom mogu biti oštećene zbog zatvaranja objekata, skijaških centara ili zbog smanjenog broja posjetitelja.

Kako bi sve to obnovili potrebna su financijska sredstva pa je financijski teret lokalnih zajednica sve veći. Ako se lokalna zajednica želi promovirati kao mjesto koje je zaštićeno od lavina, moraju ulagati u preventivne mjere. Lavinske barijere i razni sustavi također nisu jeftini stoga i to opterećuje financijski budžet lokalnih zajednica.

Utjecaj lavina na turizam je negativan. Lavine smanjuju atraktivnost destinacija zato što strah od stradavanja u lavini može odvratiti turiste od posjećivanja određenih destinacija pa se posljedično smanjuju prihodi od turizma. Zbog lavina određeni hoteli, skijališta ili druge usluge mogu biti privremeno zatvoreni zbog sigurnosti, a svaki trenutak u zimskoj sezoni koji te usluge provedu zatvorene za posjetitelje njima stvara direktan financijski gubitak. Uz sve to osiguravajuće kuće mogu dodatno povećati premije za poslovanje sa klijentima koji se nalaze u lavinskim područjima pa tako dodatno opterećuju poduzetnike.

6.2.4. Preventivni troškovi

Preventivni troškovi podrazumijevaju poduzimanje preventivnih mjera za smanjenje rizika od pokretanja lavina u blizini naseljenih mjesta ili skijališta. Izgradnjom lavinskih barijera i tunela pokušava se preusmjeriti i zaustaviti lavina prije dolaska do naseljenih mjesta ili infrastrukture. Fizičke strukture treba redovno održavati kako bi bili dugotrajno učinkoviti. U Švicarskoj troškovi izgradnje mogu biti od 0,5 do 2 milijuna švicarskih franaka po kilometru, ovisno o složenosti projekta (Schneebeli i Bebi, 2004). Također tu su i sustavi ranog upozorenja i monitoringa kako bi se predvidjele lavine. Troškovi uključuju meteorološke stanice, radare, GPS uređaje te prikupljanje i analizu podataka s kojima se obavještava javnost. Sprečavanje lavina putem eksplozija također nije jeftino. Eksplozija podrazumijeva izbacivanje eksploziva u lavinu da bi se kontrolirano pokrenula lavina prije nego se nakupi dovoljno snijega da se pokrene nekontrolirana lavina. Troškovi podrazumijevaju eksploziv i opremu, osoblje i transport. Edukacija i obuka lokalnog stanovništva, turista i spasilačkih timova ključno je za smanjenje rizika od lavina. Provode se razni edukativni programi, gdje se podiže svijest i uči o sigurnosnim mjerama, izrađuju se edukativni materijali i priručnici.

6.3. Ekološke posljedice

Prolazak lavine niz padinu može značajno oštetiti vegetaciju. Njihova snaga može iskorijeniti drveće, grmlje i druge biljke, ostavljajući za sobom gole stjenovite površine. Uništenje šuma povećava rizik od ponovnog pokretanja lavine, ali i uništavanjem vegetacije narušava se ravnoteža u lokalnom ekosustavu. Uništavanjem staništa smanjuje se bioraznolikost biljnih i životinjskih vrsta. Lavine ne biraju niz koju padinu će se spustiti pa tako nekad unište staništa

u zaštićenim područjima i nacionalnim parkovima gdje se čuvaju rijetke biljne i životinjske vrste. Erozijom tla uklanja se vegetacijski pokrov i pomiču se velike količine tla i stijena. Time se smanjuje plodnost tla i povećava se rizik od klizišta. Zbog erozije tla može se smanjiti sposobnost tla da apsorbira i zadržava vodu što povećava rizik od poplava. Lavine također mogu utjecati na lokalne vodene tokove. Dolaskom velike količine snijega u lokalne vodene tokove, oni mijenjaju svoju putanju ili se začepuju. Neki manji vodeni tokovi nisu predviđeni da se u njima otapaju velike količine snijega stoga otapanjem velikih količina snijega može doći do naglih poplava. Snijeg i sav sadržaj lavina mogu blokirati potoke ili čak rijeke. Blokiranjem rijeka i potoka dolazi do stvaranja privremenog jezera koje povećava rizik od poplava nizvodno od jezera. Naglim povećanjem vodostaja može doći do erozije tla i promjenama u staništima vodenih organizama. Promjene u lokalnim vodenim tokovima mogu imati posljedice na lokalne vodene ekosustave i kvalitetu vode. Kako se naselja opskrbljuju prirodnim izvorima vode iz planina bitna je kvaliteta vode. Materijali koje lavina prenosi mogu kontaminirati vodene tokove što može ugroziti zdravlje samih ljudi, ali i zdravlje vodenih ekosustava.

7. METODE PREDVIĐANJA I PREVENCIJA LAVINE

Predviđanje lavina je od velike važnosti za sigurnost ljudi i imovine i prevenciju štete. Metode predviđanja omogućuju procjenu i razumijevanje uvjeta koji nastaju u planini, a dovode do lavina. Promatranjem uvjeta osigurava se pravovremeno upozorenje i primjena preventivnih mjera koje u većini slučajeva uspijevaju spasiti sve živote i prije nego su ugroženi. Postoji nekoliko raznih vrsta metoda predviđanja i prevencija lavina koje su opisane u nastavku.

7.1. Tehnika predviđanja lavina

7.1.1. Meteorološka analiza uvjeta

Meteorološkom analizom vremenskih uvjeta mogu se predvidjeti snježne padaline, temperature, vjetrovi i ostali uvjeti koji utječu na stabilnost snježnih slojeva. Predviđanjem snježnih padalina može odrediti koja količina snijega će pasti u određenom vremenu te hoće li taj snijeg biti mokar ili suh. Ako pada suh i hladan snijeg stvaraju se lagani praškasti slojevi, dok je mokri snijeg težak i stvara kompaktnije slojeve. Kombinacijom različitih vrsta snijega stvara se raznolikost u slojevima snijega koji mogu postati nestabilni.

Promjene temperaturi možemo podijeliti na dnevne promjene i na srednjoročne promjene temperatura. Velike dnevne promjene mogu utjecati na stabilnost pokrivača. Preko dana snijeg se topi dok se preko noći ponovo smrzava. Ponovnim smrzavanjem stvaraju se ledeni slojevi koji smanjuju stabilnost, jer je površinski sloj glađi i slabije se novi snijeg povezuje sa starim. Dolaskom toplijih vremenskih uvjeta, zatopljenje se može održati i nekoliko dana. Više temperature na kraći period znače da se snijeg topi i postaje teži te se mijenja struktura kristala. Posljedično te promjene mogu destabilizirati snježni pokrivač.

Vjetar je horizontalno strujanje zraka. Tim strujanjem vjetar može premjestiti snijeg i stvoriti snježne nanose. Snježni nanosi pretežno nastaju u zavjetrinskim stranama planina. Nanosi stvaraju područja većeg opterećenja snijega koji povećavaju rizik od lavina. Premještanjem snijega otkrivaju se niži slojevi snijega koji su podložniji i mogu biti klizavi ili nestabilni.

Vlažnost i oborine utječu na stabilnost snijega. Kiša koja pada ulazi u dublje slojeve snijega gdje smanjuje trenje između slojeva i povećava težinu. Ako je kiša koja pada smrznuta, ona može stvoriti ledeni sloj na površini snježnog pokrivača te onemogućiti vezivanje novog snijega na stari. Visoka vlažnost zraka utječe jednako kao i kiša. Snijeg postaje teži i vlažniji i sklon je stvaranju nestabilnih slojeva. Kondenzacijom iznad snježnog pokrivača snijeg dobiva povećanu

količinu vlage, dok isparavanje isušuje snijeg i čini ga suhim i praškastim. Sve to povećava rizik od pokretanja lavine.

7.1.2. Terenski testovi

Stručnjaci koriste razne terenske testove kako bi predvidjeli lavine. Snježni profili su alat kojim se stručnjaci služe za analizu slojeva. Iskopavanjem vertikalnih rupa u snježnom pokrivaču dobiva se uvid u različite slojeve snijega i njihovu međusobnu povezanost. Posebna pažnja se posveti prisutnosti slabiji slojeva koji bi mogli uzrokovati klizanje gornjih slojeva.

Dva glavna testa koja služe za procjenu stabilnosti snježnog pokrivača su test klizanja bloka i test kompresije. Test klizanja bloka izvodi se tako da se iz snježnog pokrivača izreže blok snijega sa svim slojevima. Zatim se pritisne taj blok da se dobije povratna informacija hoće li u kojem od slojeva doći do pucanja. Test kompresije se izvodi pritiskom na blok snijega. U testu kompresije pritisak na snijeg se postepeno povećava kako bi se dobio uvid kolika je sila potrebna da dođe do pucanja u slabijem sloju. S pomoću ta dva testa može se dobiti podatak o tome hoće li snježni pokrivač puknuti i koja je sila potrebna da bi se slojevi razdvojili.

7.1.3. Lavinski prijemnici i sonde

Oprema kao što su lavinski prijemnik, sonda ili lavinska lopata koriste se prilikom potrage i spašavanja osoba koje su zatrpane lavinom. Prijemnici su elektronički uređaji koji emitiraju i primaju radio signale. Rade na principu da osoba koja je zatrpana lavinom emitira signal dok spasioci sa svojim prijemnicima primaju signal. Spasiocima je u interesu prvo doći u domet odnosno u krug signala koji emitira zatrpana osoba. Nakon što su došli u domet signala, slijedi praćenje signala koristeći tehniku križanja da se smanji područje pretrage. Kada se signal pojača dovoljno, spasioci se kreću bliže površini snijega kako bi svojim prijemnicima odradili precizno lociranje.

Nakon što je približno određen položaj zatrpane osobe spasilački timovi kreću sa sondiranjem. Sondiranje je metoda koja koristi duge, tanke metalne ili karbonske šipke kako bi se fizički probili slojevi snijega dok se ne pronađe zatrpana osoba. Sonde su obično teleskopske i sastavljaju se tek nakon lociranja signala. Za detaljan pregled spasioci koriste tehniku sistematskog sondiranja. Tehnika sistematskog sondiranja je tehnika kad spasioci probijaju sondom snijeg u određenim intervalima, najčešće je to svakih 25-50 cm, u mrežastom uzorku kako bi se pokrilo cijelo područje. Spasioci sa sondama su postavljeni jedan do drugog i istovremeno svi spasioci probijaju snijeg. Kad sonda dođe u kontakt s nečim čvrstim, ta sonda

uđe pliće u snijeg i spasilac osjeti promjenu otpora. Ovo im daje točnu lokaciju zatrpane osobe i mogu saznati točnu dubinu zatrpanog tijela. Nakon što je određena točna lokacija kreće označavanje lokacije i spašavanje. Sonda koja je pronašla osobu ostaje na mjestu kako bi služila kao referentna točka gdje treba kopati. Spašavanje uključuje pažljivo kopanje oko sonde. Prilikom kopanja treba biti oprezan da se alatom zatrpana osoba ne bi dodatno ozlijedila.

Kombinacija lavinskih prijemnika i sondiranja omogućuje brzu i efikasnu pretragu velikih područja. Prijemnicima se okvirno odredi područje u kojem se nalazi osoba dok se sondiranjem precizno definira lokacija osobe. Važno je da se sve osobe koje se kreću u lavinskim područjima budu obučene za korištenje opreme kako bi se iskoristio pun potencijal alata i što prije pronašle žrtve.



Slika 1. Oprema za spašavanje iz lavina

Preuzeto s https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Avalanche-security_search_and_rescue_equipment.jpg

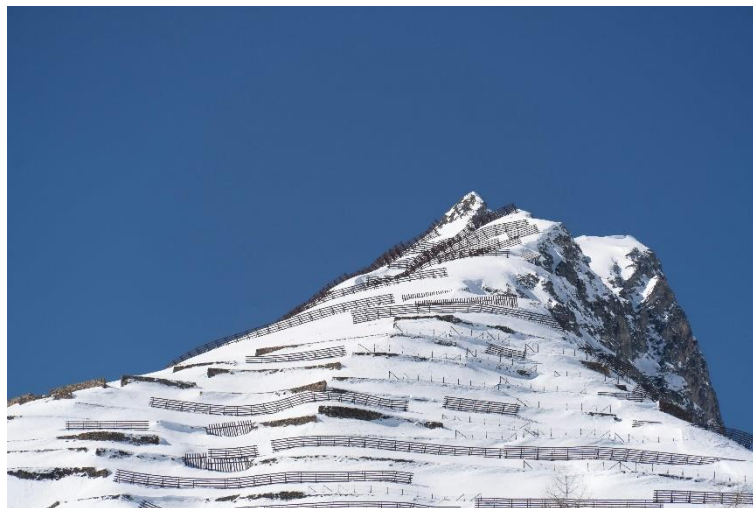
7.2. Prevenicijske mjere

Lavine predstavljaju ozbiljnu prijetnju ljudima, infrastrukturi i okolišu u planinskim područjima. Kako bi se spriječile štete na infrastrukturi, okolišu i stradavanje ljudi trebaju se provesti prevenicijske mjere. Prevenicijske mjere ključne su za smanjenje rizika od lavina i zaštitu života i imovina. Te mjere obuhvaćaju razne pristupe, uključujući fizičke barijere, tehnologiju za praćenje i sustave ranog upozoravanja te edukaciju i planiranje.

7.2.1. Inženjerske strukture

Inženjerske strukture su ključne u prevenciji lavina i zaštite ljudi, infrastrukture i imovine. Ove strukture uključuju lavinske barijere, tunele i snježne mostove.

Lavinske barijere su strukture koje su planski postavljene na padinama. Njihov cilj je sprječavanje nakupljanja snijega ili ako već dođe do lavine da ju preusmjere u manje opasno područje. Postoje dvije vrste lavinskih barijera, a to su snježne mreže i snježne ograde. Snježne ograde su robusne i čvrste konstrukcije izrađene od drva, metala ili plastike. Koriste se kako bi se spriječilo gomilanje snijega na prometnicama, prugama i drugim bitnim površinama. Djeluje kao barijera koja usporava i smanjuje snježne nanose. Slabiji nivo zaštite od ograda su snježne mreže. Snježne mreže se koriste u razne svrhe kao što je ograničavanje pristupa, zaštita padajućih predmeta, kontrola erozije tla, te zaštita biljaka i životinja. Izrađena je od plastike, metala ili sintetičkih materijala i otvori na mreži mogu biti raznih veličina ovisno o njenoj namjeni. Fleksibilnija je u odnosu na snježne ograde, no čvrstoća joj je manja i predviđena je za manje snježne nanose. Koristi se kao dodatna zaštita uz snježne ograde gdje je manja opasnost od lavina. U Švicarskoj je postavljeno više od 500 kilometara lavinskih barijera kako bi se zaštitila naselja i ceste (Bartelt i sur., 2012).



Slika 1. *Lavinske barijere*

Preuzeto s <https://www.pexels.com/photo/a-snow-covered-mountain-with-fences-11701063/>

Lavinski tuneli su specifični prolazi izgrađene iznad cesta ili željeznica. Građeni su od čelika, betona ili drveta koji tvore robusnu konstrukciju. Ili su zatvoreni u potpunosti ili su otvoreni ra rešetkastim elementima. Svrha im je da sprječavaju lavinsku masu da blokira cestovni i željeznički promet. Građeni su u područjima gdje su lavine česte te je nemoguće očistiti sav snijeg zbog učestalih lavina.

Snježni mostovi su strukture koje se koriste za stabilizaciju snijega i sprječavanje njegova klizanja. Mostovi djeluju kao fizičke prepreke koje podupiru snježni pokrov. Podupiru ga tako da raspoređuju njegovu težinu na jednake dijelove i sprečavaju njegovu koncentraciju u nestabilnim područjima. Obično se izrađuju od čelika, betona ili kombinacije tih materijala. Čelik je bitan zbog svoje izdržljivosti i fleksibilnosti, a beton je koristan zbog toga što je otporan na teške uvjete. Oni su dizajnirani tako da se most ukopa u padinu s velikim i dubokim temeljima. Velike snježne mase uzrokuju velike sile stoga temelji moraju biti čvrsti kako bi održali tu masu. Mostove podupiru potporni stupovi koji su naslonjeni na horizontalne grede. Horizontalne grede djeluju kao prepreka snijegu te ga zaustavljaju. Snježni mostovi postavljaju se u serijama duž kritičnih dijelova padine. U francuskim Alpama, više od 150 kilometara snježnih mostova štiti skijališta i naselja od lavina (Haegeli i McClung, 2007). Potrebno ih je redovito održavati kako bi ostali učinkoviti. Održavanje uključuje redovite inspekcije strukture, čišćenje snijega i popravke oštećenja koja su nastala zbog utjecaja vremenskih uvjeta.

7.2.2. Kontrolirane eksplozije

Sustavi za kontrolirano izazivanje lavina koriste razne metode kako bi namjerno pokrenuli lavinu. Lavine se izazivaju u kontroliranim uvjetima kako bi se spriječila neočekivana lavina. Cilj kontroliranih eksplozija je sprječavanje nagomilavanja snijega koje potencijalno stvara opasnost od lavine. Postoji mnogo raznih metoda, ali najčešće su korištenje eksploziva, Gazex i Daisybell sistem za kontrolu lavina.

Eksplozivi su najčešća metoda kontrole lavina. Koriste se tako da se postavljaju na kritična mjesta gdje detonacijom započinju lavinu. Mogu se također izbacivati iz helikoptera ili ispaljivati iz topova. Detonacijom destabiliziraju slojeve snijega te pokreću lavinu. Jamieson i Johnston, (1998) u svom radu ističu da troškovi variraju o učestalosti i količini eksploziva koji se koristi, no podatak iz jednog skijališta u Coloradu ukazuje da prosječni troškovi za korištenje eksploziva iznose oko 0,5 milijuna dolara godišnje.

Gazex sistemi su stalne strukture koje su fiksno postavljene na padinama planina. Te strukture koriste plinske eksplozije za pokretanje lavina. Eksplozijom plina stvara se udarni val koji lomi veze između kristala u snijegu i destabilizira snježni pokrivač. Na taj način izazivaju se kontrolirane lavine. Prednost u odnosu na korištenje eksploziva je što se plinske eksplozije mogu aktivirati daljinsko što omogućuje sigurno i efikasno upravljanje lavinama. Koriste se za zaštitu ključnih prometnica i skijališta.



Slika 2. Gazex sistem za kontrolirano izazivanje lavina

Preuzeto s https://www.flickr.com/photos/123_456/3102489313

Daisybell je uređaj koji je montiran na helikopter te potpomaže pokretanju lavine. Radi na jednakom principu kao i Gazex sistem odnosno koristi eksploziju plina za izazivanje lavine. Prednost ove metode u odnosu na Gazex je to što nisu Daisybell nisu fiksne strukture. Ova metoda je lako prenosiva i omogućuje precizno ciljane eksplozije na teško dostupnim mjestima. Helikopter se pozicionira iznad kritičnih područja i Daisybell generira eksploziju plina. Udarni val eksplozije pokreće lavinu kao i kod Gazexa. Slična je metoda kao i izbacivanje eksploziva iz helikoptera samo što je ovo sigurnije i preciznije.

Iako su troškovi instalacije svih sustava prilično visoki, dugoročno smanjuju se troškovi čišćenja i popravaka nakon lavina te se osigurava sigurnost imovine i ljudi. U Švicarskoj godišnji troškovi održavanja Gazex sustava iznose oko 0,5 milijuna švicarskih franaka, dok je smanjenje štete procijenjeno na više od 5 milijuna franaka godišnje (Margreth i Funk, 1999).

8. ZAKLJUČAK

Pregledom povijesnih lavina prikazano je koliko lavine stvarno mogu biti štetne i opasne po živote i imovinu. Lavina osim što direktno može ugroziti imovinu i ljude, djeluje i indirektno pojavom klizišta i poplava. Lavine nastaju zbog popuštanja veza između snježnih kristala koji se nalaze u raznim slojevima snježnog pokrivača. Osim čovjeka, meteorološki uvjeti i topografski čimbenici olakšavaju stvaranje lavina. Kao što je ranije spomenuto, gotovo sve lavine pokreće čovjek pa je važno naglasiti da razvoj turizma u planinama povećava rizik od pojave lavina. Novu infrastrukturu potrebno je graditi planski u područjima niskog rizika od lavina. Isto tako uz gradnju nove infrastrukture potrebno je paralelno razvijati i sustav zaštite od lavina. Svake godine je nužno iznova ulagati u zaštitu od lavina kako bi se zaštitili posjetitelji i sami stanovnici rizičnih područja. Skijaški centri najčešće imaju dobre obrambene mehanizme koji štite posjetitelje na uređenim stazama. No ponekad zbog pretjerane gužve ili jednostavno zbog želje za isprobavanjem nečeg novog, ljudi izlaze izvan uređenih staza. Izvan uređenih staza snijeg nije komprimiran pa je veća mogućnost za pojavom lavine prilikom prolaska turista. Osim skijaša i daskaša, u planinama se kreću i planinari i alpinisti te vozači motornih sanjki. Oni se kreću uvijek izvan uređenih staza u potrazi za avanturističkim iskustvom. Ljudi koji se odluče izaći izvan uređenih staza uvijek moraju biti na oprezu zbog mogućnosti nastanka lavina. Potrebno je pratiti vremensku prognozu i upute skijaških centara te ako se već izlazi izvan uređenih staza, potrebno je imati opremu koja pomaže pri spašavanju iz lavina. Učitelji skijanja i stručno osoblje koje radi u skijaškim centrima je educirano i kontinuirano prati podatke o lavinama. Na turistima je samo da dođu na skijališta i uživaju u svemu što im se nudi, no uz pridržavanje savjeta i uputa stručnog osoblja ili učitelja skijanja koji rade na skijalištima. Pridržavanjem uputa turisti će moći iskoristiti puni potencijal skijališta, a stručno osoblje koje radi na skijalištu bit će mirno jer će znati da su svi sigurni.

9. LITERATURA

- Acharya, A., Steiner, J. F., Walizada, K. M., Zakir, Z. H., Ali, S., Caiserman, A., i Watanabe, T. (2023). Snow and ice avalanches in high mountain Asia—scientific, local and indigenous knowledge. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2023, 1-35.
- Alikalfić, V. i sur., (2009). *Alpsko skijanje*. Hrvatski zbor učitelja i trenera sportova na snijegu (HZUTS).
- Ancey, C. (2001). Snow Avalanches. In: Balmforth, N.J., Provenzale, A. (eds) *Geomorphological Fluid Mechanics. Lecture Notes in Physics*, vol 582. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-45670-8_13
- Ancey, C. (2004). "Powder snow avalanches: formation, dynamics, and frequency." *Journal of Physical Geography*, 25(4), 403-431.
- Bartelt, P., Bühler, Y., i Christen, M. (2012). "On the Mechanization of Avalanches." *Cold Regions Science and Technology*, 83-84, 56-67.
- Bartelt, P., i Lehning, M. (2002). A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part I: numerical model. *Cold Regions Science and Technology*, 35(3), 123-145. <https://gripped.com/gripped-outdoors/avalanche-awareness-for-rock-climbers-and-hikers/>
- Dobrinić, L. i sur., (2017). *Alpsko skijanje*. Priručnik za učitelje i trenere sportova na snijegu. Hrvatski zbor učitelja i trenera sportova na snijegu (HZUTS).
- Fuchs, S. (2009). "Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria—paradigms of vulnerability revisited." *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(2), 337-352.
- Fuchs, S., Heiser, M., Schlögl, M., i Papatoma-Köhle, M. (2016). "Long-term implications of disaster occurrences in mountain regions: landslide prevention and mitigation measures from a sustainability perspective." *Geoenvironmental Disasters*, 3(1), 10
- Gripped Outdoors, *Avalanche awareness for rock climbers and hikers* (2021) Dostupno na: <https://gripped.com/gripped-outdoors/avalanche-awareness-for-rock-climbers-and-hikers/>

- Haegeli, P., i McClung, D. M. (2007). "Avalanche risk management in Canada: Experience and research." *Natural Hazards*, 40(3), 473-486.
- Hohlrieder, M., Brugger, H., Schubert, H. M., Pavlic, M., Ellerton, J. i Mair, P. (2007). Pattern and severity of injury in avalanche victims. *High altitude medicine & biology*, 8(1), 56-61.
- Howard, J., (19.07.2019) *Avalanches, explained*, National Geographic <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/avalanches>
- International Snow Science Workshop (2002). Proceedings of the International Snow Science Workshop, 2002 (James Randall Stevens, ed). International Snow Science Workshop Canada Inc. Penticton, B.C.
- Jamieson, J. B., i Johnston, C. D. (1998). "Snowpack characteristics associated with avalanche accidents." *Cold Regions Science and Technology*, 30(1-3), 79-89.
- LaChapelle, E. R. (1977). Snow Avalanches: A review of Current Research and Applications. *Journal of Glaciology*, 19(81), 313-324. doi:10.3189/S0022143000215633
- Mair, R., i Nairz, P. (2013). Avalanche Danger Patterns—a new approach to snow and avalanche analysis. In International Snow Science Workshop Grenoble—Chamonix Mont-Blanc—2013 (pp. 209-214).
- Margreth, S., i Funk, M. (1999). "Control of avalanche risk by Gazex® systems in Switzerland." *Cold Regions Science and Technology*, 30(1-3), 79-86.
- McClung, D., i Schaerer, P. (2006). "The Avalanche Handbook." The Mountaineers Books.
- Očić, L. (2021). *Subjektivne i objektivne opasnosti u planinama tijekom tjelesnih aktivnosti na snijegu* (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:117:263651>
- Oliver-Smith, A. (1986). "The Martyred City: Death and Rebirth in the Andes." University of New Mexico Press.
- Perla, R., i Martinelli, M. (1978). "Avalanche Handbook." US Department of Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook 489.

- Plafker, G., i Ericksen, G. E. (1978). "Nevados Huascarán avalanches, Peru." *Landslides Analysis and Control*, Special Report 176, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 63-79.
- Schneebeli, M., i Bebi, P. (2004). "Snow and avalanche control." *Encyclopedia of Forest Sciences*, 1123-1131.
- Schweizer, J., i Jamieson, B. (2001). Snow cover properties for skier triggering of avalanches. *Cold Regions Science and Technology*, 33(2-3), 207-221.
- Schweizer, J., Jamieson, J. B., i Schneebeli, M. (2003). "Snow avalanche formation." *Reviews of Geophysics*, 41(4), 1016.
- Thompson Coon, J., Boddy, K., Stein, K., Whear, R., Barton, J., i Depledge, M. H. (2011). Does participating in physical activity in outdoor natural environments have a greater effect on physical and mental wellbeing than physical activity indoors? A systematic review. *Environmental science i technology*, 45(5), 1761–1772. <https://doi.org/10.1021/es102947t>
- Thordardottir, E. B., Valdimarsdottir, U. A., Hansdottir, I., Resnick, H., Shipherd, J. C., i Gudmundsdottir, B. (2015). Posttraumatic stress and other health consequences of catastrophic avalanches: A 16-year follow-up of survivors. *Journal of Anxiety Disorders*, 32, 103-111.
- Veljanović, Z. 2021. Snježne lavine, preventiva i spašavanje <https://www.zagreb-matica.hr/images/2021/GVS/GVS-dokumenti-2021/Lavine-Prezentacija-2021-u-Matici.pdf>