

UPPSATSER:
Kulturgeografiska institutionen

**Lufttemperaturens, vindens och snödjupets
inverkan på utveckling av laviner i
Abisko/Riksgränsen under 2021**

Maria Dahlström

Abstract

Dahlström, M. 2022. Lufttemperatures, vindens och snödjupets inverkan på utveckling av laviner i Abisko/Riksgränsen under 2021. Kulturgeografiska institutionen, *Uppsatser*, Uppsala universitet.

Det huvudsakliga syftet med denna studie är att studera möjligheten att koppla rapporterade väderdata till antalet rapporterade laviner inom samma område och undersöka i vilken utsträckning rapporterad temperatur, snödjup och vindhastighet påverkar utvecklingen av laviner. I arbetet studeras väderdata kopplat till lavinrapportering inom området Abisko/ Riksgränsen. Studien fokuserar på spontant utlösta laviner, det vill säga laviner som utlösts av naturliga väderfenomen utan mänsklig påverkan.

Studien bygger på väderdata från endast en väderstation, Katterjåkk, som således får representera hela lavinprognosområdet Abisko/Riksgränsen. Trots att vädret kan uppvisa lokala variationer inom det valda området, tyder resultaten på att det finns ett klart samband mellan å ena sidan väderförhållandena (förändringar i snödjup, vindstyrka och temperatur) och antalet spontant utlösta laviner.

Studien visar att väderdata kan användas för att undersöka lavinutveckling i området, och att mer eller mindre ökande snödjup i kombination med vindhastighet verkar vara den huvudsakliga orsaken bakom lavinerna. Många laviner under senare vår verkar också kunna initieras av snabba temperaturförändringar.

Keywords: fjällen, laviner, snödjup, temperatur, vind

Handledare:

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	1
1.1 Syfte och frågeställning	2
1.2 Avgränsningar	3
2. VARFÖR INTRÄFFAR LAVINER? - EN KUNSKAPSÖVERSIKT	4
2.1 Typer av laviner	5
2.3 Faktorer som utlöser laviner	7
2.4 Terrängens betydelse	9
2.4 Vädrets betydelse	10
2.5 Lavinprognoser	13
2.6 Klimatförändringens inverkan på laviner	16
3. METOD	18
3.1 Val av prognosområde	19
3.2 Insamling och sortering av data	19
3.3 Utvärderingsmetodik	19
4. VÄDERPARAMETRAR KOPPLAT TILL RAPPORTERADE LAVINER I ABISKO/RIKSGRÄNSOMRÅDET	21
4.1 Övergripande väder vintersäsongen 2020/2021	21
4.2 Lavinfrekvens vintersäsongen 2021	21
4.3 Väderdata i samband med utlösta laviner i Abisko/Riksgränsen vintern 2021	22
5. ANALYS AV LAVINER KOPPLAT TILL OLIKA VÄDER- KOMBINATIONER	27
5.1 Laviner kopplat till olika väderkombinationer vid rapporteringstillfället	27
5.2 Väderförhållanden under mars och april och dess inverkan på lavinutvecklingen	29
6. DISKUSSION	37
7. SLUTSATS	39
8. KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING	40

1 INLEDNING

Ett lugnt och fridfullt snölandskap i svenska fjällen kan på ett kort ögonblick förvandlas till en riktig naturkatastrof. Laviner är ett naturfenomen som utgör en stor fara för människor i fjällmiljö och riskerar att åtminstone tillfälligt slå ut nödvändig infrastruktur (Schweizer et al., 2003). I Alperna är det inte ovanligt att vägar behöver stängas för att stora mängder snö efter en lavin blockerar vägen, och orsaka skador på infrastruktur. Att laviner förstör infrastruktur eller blockerar vägar eller järnvägar är inte lika vanligt i de svenska fjällen, men det förekommer. En av de få platser i Sverige där det finns risk för lavinfara för allmänhet och trafik är vägen (E10) nedanför fjället Nuolja, mellan Abisko och Björkliden, som regelbundet får stängas av på grund av lavinrisken. Den 28 februari 2022 blockerades vägen, men anledningen denna gång var en planerad utlösning av en lavin, vars snö skulle täcka vägbanan. Dagen före hade Naturvårdsverket gått ut till allmänheten med en lavinvarning, baserad på en prognos med nederbörd, hårda vindar och snödrev.

En lavin är i vanliga fall ett naturfenomen som innebär att en större snömassa glider eller rasar utför en sluttning. Förutsättningarna för utveckling av laviner är framför allt kopplade till terräng, snödjup, temperatur och vindhastighet (McClung & Schaerer 2006).

Varje år går ett antal laviner i svenska fjällen. Omfattningen och frekvensen varierar från år till år och påverkas av olika väderförhållanden under hela vintersäsongen. Vid prognostisering av snölaviner är det därför viktigt att känna till hela vintersäsongens väderförhållanden såväl som vid själva skredtillfället. Anledningen är att snöpacken som byggs upp består av olika lager med olika egenskaper, beroende på under vilka väderförhållanden lagren avsatts (La Chapelle 1966). Väderförhållanden som råder vid själva lavintillfället utgör den förändring som utlöser lavinen.

Den pågående klimatförändringen kommer att påverka utvecklingen av laviner och lavinrisken i den svenska fjällvärlden (Johansson et al. 2011; Johansson & Ingvander 2015). (SMHI:a) rapporterar en ökad nederbördsmängd och en högre medeltemperatur i norra Sverige. Vid en mellanstor temperaturhöjning (RCP 4.5, 2011–2040) bedöms medeltemperaturen öka med 1-1-5 °C och nederbörden under vintersäsongen (dec-maj) med ca 10 %. Scenariot indikerar att vi under en period kan förvänta oss en ökad lavinrisk i de svenska fjällen.

Laviner kan förutses, men när den väl utlösts är den omöjlig att stoppa. Det är därför av stor vikt att lavinrisken på fjället observeras, bevakas och rapporteras. Sedan 1993 har lavinprognoser samordnats i Europa och generell information kring lavinfaror och lavinrisker rapporteras till olika skidorter och områden. I Sverige började lavinrisk rapporteras vid ett dussin skidorter 1997, med en översatt tolkning av den internationellt etablerade skalan från 1993 (Mårtensson, 2013; Palmgren, , 2014). Skalan redovisade då väderförhållande kopplat till bedömd stabilitet utan rekommendationer. Risker för laviner delades upp i en femgradig skala, liten till extrem. Skalan utvecklades och från 2004 etablerades den kanadensiska versionen från 2003, där väder och stabilitet hade ersatts med sannolikhet och rekommendationer. Forskning med fokus på laviner i Sverige är relativt begränsad, vilket återspeglas i att även om viss rapportering och forskningsarbete pågått en tid, var det först

2016 som Naturvårdverkets lavinprognostjänst etablerades och laviner och lavinprognoser började rapporteras mer organiserat och strukturerat efter en systematisk modell (Wikberg & Palmgren, 2016, et. al 2018). Prognosmodellen baseras på metodik enligt Canadian Avalanche Association (CAA). Den forskning som bedrivs i Sverige idag är idag framför allt kopplad till Luleå Tekniska Universitet (LTU).

Varje år dör ett stort antal människor i laviner och av någon anledning verkar svenskar omkomma i lavinolyckor i större omfattning utomlands än andra nationaliteter (Mårtensson 2014), och vid Luleå Tekniska Universitet har senare forskning utförts för att utreda orsaken (Mårtensson, 2013; Wikberg., et. al. 2018).

Det absolut mest studerade lavinkänsliga området i Sverige är Nuolja – fjället mellan Abisko och Björkliden på vägen mellan Kiruna och Narvik. Där sker ett flertal laviner varje säsong och om inte lavinrisken följs upp och åtgärdas kan konsekvensen bli stor eftersom en större lavin på berget kan slå ut infrastruktur, med såväl material som personskador som följd. Berget är dessutom lättillgängligt för fältstudier på grund av närheten till utvecklad infrastruktur och övernattningsmöjligheter.

Tidigare svenska lavinstudier som har bedrivits i Abiskoområdet har huvudsakligen haft inriktning på omfattning, magnitud och klassning, dokumentering av lavinterräng och riskhantering (Karlén 1983; Östling 1988; Pyykönen 2000; Mårtensson et. al. 2002) och studier av utveckling av snöprofiler, dvs, snölagret och dess strukturer (Johansson et al. 2011; Johanson 2015).

Men studier avseende vädrets och meteorologiska parameters inverkan på lavinaktiviteten i området är begränsad (Sjölander 2004), vilket bekräftas av Mårtensson & Palmgren (2014). Förutom värdefull information som behövs vid analys och tolkning av data finns ingen närmare koppling till studien förutom till Sjölander (2004) som studerade sambandet mellan lufttemperaturen och vindens inverkan på lavinaktiviteten vid Nuolja.

I den här studien undersöks inte en enskild lokal som Nuolja, utan kopplingen mellan väderdata och rapporterade laviner i hela Abisko/Riksgränsområdet. I studien används väderdata från SMHI som kopplas till av Naturvårdsverket rapporterade laviner. De väderparametrar som studerats är knutna till huvudsakliga faktorer som är kända för att påverka utvecklingen av laviner: snödjup, temperatur och vind.

1.1 Syfte och frågeställning

Det huvudsakliga syftet med denna studie är att studera möjligheten att koppla rapporterade väderdata till antalet rapporterade laviner inom samma område och undersöka i vilken utsträckning rapporterad temperatur, snödjup och vindhastighet påverkar lavinaktiviteten. För att besvara syftet används följande frågeställningar:

1. Finns det ett samband mellan väderförhållanden (snödjup, temperatur, vindstyrka) rapporterade av SMHI från väderstationen i Katterjåkk och antal laviner rapporterade av Naturvårdsverkets lavintjänst inom hela Abisko/Riksgränsområdet vintersäsongen 2021?

2. Kan man utifrån data från väderstationen i Katterjåkk bedöma hur de rapporterade variablerna samverkar, - snödjup, vindstyrka och temperatur - för att utveckla förutsättningar för spontant utlösta laviner? Vilken variabel har störst inverkan på aktivering av laviner?

1.2 Avgränsningar

Studien omfattar spontant utlösta laviner rapporterade vintern och våren 2021 inom prognosområdet Abisko/Riksgränsområdet kopplat till väderdata (snödjup, vindhastighet och temperatur) från väderstationen vid Katterjåkk.

2 VARFÖR INTRÄFFAR LAVINER? – EN KUNSKAPSÖVERSIKT

Grundläggande och omfattande forskning inom området har bedrivits och bedrivs framför allt i Alperna och Nordamerika där många artiklar och handböcker publicerats sedan det senare kvartalet av 1900-talet och framåt. På grund av det omfattande forskningsarbetet om lavinutvecklingsprocesser refererar forskare även idag ofta till äldre publicerade artiklar som exempelvis (Schweizer et al. 2003).

Artiklar som publicerats det senaste decenniet har vanligen någon koppling till klimatförändring.

Laviner utvecklas över tid beroende på olika väderförhållanden som gäller i samband med uppbyggnad av en snöprofil. För att kunna besvara den aktuella frågeställningen och koppla lavinaktivitet till väderförhållanden erfordras kunskap om laviner och förståelse för de förutsättningar och processer som leder fram till lavinaktivitet.

Det förekommer olika definitioner av vad en lavin är. European Avalanche Warning Service (EAWS), en ledande organisation avseende information om laviner, prognostisering och rapportering, definierar en lavin som "en snömassa i snabb rörelse, som har en volym större än 100 kubikmeter och vars minsta längd är 50 meter" (EAWS Glossary, 2022). Detta kan jämföras med den norska definitionen (se EAWS Glossary, 2022), som inte är lika begränsad: "Rask massbevegelse av snö som beveger seg längs bakken, også kalt ras" (snabb massrörelse av snö som rör sig längs marken, också kallat ras).

Väderförhållanden är en avgörande faktor för utveckling av laviner. Enligt (Schweizer et al. 2003; McClung & Schaerer 2006) är snöfall i kombination med ökad belastning på snötäcket de främsta utlösande faktorerna för en lavin. Samtidigt är den snömängd som faller under ett enskilt tillfälle i den svenska fjällkedjan relativt liten jämfört med exempelvis i Alperna och Nordamerika, där det inte är ovanligt att mängden nysnö överstiger 1m/dygn, en mängd som är mycket ovanlig i svenska fjällen. Observationer från Abisko/Riksgränsen visar att mängden nysnö, under ett år, sällan överstiger 20 cm/dygn (Karlén, 1983). I svenska fjällen är det, i stället för den stora mängden nysnö som i Alperna och Nordamerika, vinden och snabba temperaturförändringar som är den främsta orsaken till ökad lavinrisk (Schweizer et al. 2003; McClung & Schaerer 2006).

Lavinaktivitet är ett komplext samspel mellan terräng, meteorologi och snölagret där i huvudsak fem faktorer spelar en avgörande roll för lavinrisken, terräng, nederbörd, temperatur, vind och snöprofilens mäktighet och struktur (Schweizer et al., 2003). Dagens forskning visar emellertid att det inte finns något entydigt och enkelt svar på de processer som utvecklar en lavin. På grund av de naturligt stokastiska meteorologiska processerna som påverkar snötäcket är ett rent deterministiskt tillvägagångssätt för att förklara var och när en lavin aktiveras inte alltid så lyckat (Schweizer et al. 2003; Mitterer et al. 2013).

Lavinutvecklingen kan studeras på två sätt (Schweizer et al. 2003): a) Det komplexa samspelet mellan terräng, snölagret och de meteorologiska förutsättningarna prognostiseras genom erfarenhet och/eller statistik, b) eller fysiska och mekaniska processer av lavinen som kan studeras och modelleras, där den första används av de flesta som tillhandahåller dagliga lavinriskprognoser i fjällvärlden, och den senare i samband med specifika studier av

snötäcketts egenskaper under olika förutsättningar i forskningssyfte. Den här undersökningen faller i huvudsak under kategori a) men för att kunna analysera data utifrån frågeställningen erfordras kunskap inom kategori b).

Tidigare forskning i Sverige

Forskning om laviner och laviner är av förståeliga skäl i jämförelse med Alpländerna och Nordamerika mycket begränsad. Men de faktorer som ligger bakom att ett snötäcke utvecklas till en lavin är de samma som i andra delar av världen (Palmgren et al. 2012) och prognosverktyg, skalor och kommunikationsmetoder som tagits fram i Nordamerika för prognostisering och rapportering av lavinrisk används idag också i Sverige.

Den forskning avseende laviner som bedrivits under senare tid och fram till nu i Sverige har mycket varit kopplad till Luleå Tekniska Högskolan (LTU), där en rad rapporter och konferensartiklar har publicerats, vanligen i samarbete med Naturvårdsverket (Mårtensson, S. 2014; Mårtensson et al. 2013). Rapporter och artiklar har i huvudsak behandlat utformning och utveckling samt kommunikation för lavinprognoser, samt utredningar avseende människors, framför allt svenskars förhållningssätt till laviner och risker.

De flesta lavinstudier i Sverige refererar till Abisko och Nuolja- fjället mellan Abisko och Björkliden. Svenska studier har tidigare i huvudsak varit inriktade på omfattning, magnitud, klassning och terräng (Karlén 1983; Östling 1988; Pyykönen 2000; Mårtensson 2002; Sjölander 2004), vilket också bekräftas av Mårtensson & Palmgren, (2014). Senare studier av klimatförändringens inverkan på utveckling av snöprofiler och dess struktur har rapporterats av Johansson et al. (2011) och Johansson & Ingvander (2015) baserat på data insamlad över lång tid från Abisko.

Få eller inga studier som relaterar till väderdata från väderstation som representera ett större område och lavinfrekvens har redovisats. Den närmsta studie som redovisar väderdata i kombination med lavinfrekvens redovisas av Sjölander (2004). Till skillnad mot denna studie som behandlar ett helt prognosområde, studerar Sjölander (2004) vindens och temperaturens förhållande till lavinaktivitet i ett och samma fjäll, Nuolja.

2.1 Typer av laviner

I huvudsak finns det två olika typer av laviner: lössnölavin och flaklavin. Bägge typerna förekommer i svenska fjällen, men den absolut vanligast förekommande i den svenska fjällvärlden är flaklavinen (Naturvårdsverkets lavinprognostjänst).

Bägge lavinerna kan uppträda som torra eller blöta. Rapporterade data från Naturvårdsverkets lavinprognostjänst som används i den här studien skiljer inte på lavintyp men för att få en ökad förståelse av laviner och dess förutsättningar beskrivs i följande avsnitt under vilka förutsättningar de generellt sett utvecklas. Slasklavin utgör en tredje typ som inte faller under de två övriga.

2.1.1 Lössnölaviner

Lössnölaviner startar från en punkt i ett relativt kohesionslöst (jmf. friktionsjord) ytlager, antingen i torr eller våt snö (Schweizer et al., 2003). En lössnölavin sker i det översta

snölagret, ofta spontant och vid en bestämd utgångspunkt (se Figur 2.1). Orsaken till initieringen av lavinen är att den statiska friktionsvinkeln är mindre än slutningen lutning. När lavinen är i rullning bär den med sig snö från fler lager. Dessa laviner kan kännas igen genom att den vidgas på vägen ner för slutningen och dess färd brukar formas som ett uppochnervänt V. Denna typ av lavin sker ofta på grund av intensiva snöfall eller snabba temperaturförändringar. Detta betyder alltså att lössnölaviner förekommer både med blöt- och torrsnö (Smith, 2013). Lössnölaviner sker normalt i mycket branta sluttningar på ≥ 40 grader



Figur 2.1. Illustration av en lössnölavin och den typiska uppochnervända V-formen (efter arkivbild TT/ Johan Hallnäs) (Sveriges lavinutbildningar, www.svelav, 2022)

2.1.2 Flaklaviner

Flaklaviner innebär lösgörande av ett sammanhängande kohesivt flak som glider längs ett svaghetsplan, analogt med ett bergblock i en bergslänt som glider på ett sprickplan (Schweizer et. al., 2003). En typisk flaklavin illustreras i Figur 2.2. En flaklavin inträffar när ett stort eller mindre tjockt sammanhängande snölager bryts loss på grund av kollaps av ett undre svagt lager orsakad av en deformation som sedan glider utefter ett svagt lager.

Snön bildar med tiden lager på lager. Dessa skiktlager binds samman men kan försvagas. När ett snöflak släpper ses en tydlig skarp linje från lavinen utgångspunkt, en så kallad brottkant. Stora flaklaviner är de som utgör den största risken för skador på infrastruktur och utgör 90 procent av alla dödsolyckor (Smith 2013). Flaklavinen är den absolut vanligaste typen i de skandinaviska fjällen, vilket kan förklaras av att vinden har en stor påverkan på snötäckets utformning och är orsaken till de flesta laviner i de skandinaviska fjällen. Snötäcket packas av vinden vilket resulterar i ett snölager med stark bindning mellan snökristaller (hög kohesion) och hög densitet. Det underliggande äldre snölagret består ofta av snö med svagare bindning mellan snökristaller (låg kohesion) efter att ytan har påverkats av

varierade väderförhållanden (Schweizer, et al. 2003). Förutom att svaghetsplanet vid överbelastning orsakar brott i det överliggande snölagret är det också ett lager med lägre glidmotstånd, dvs lägre friktion och kohesion. En typisk snöprofil redovisas i Figur 2.3. Enligt Stoffel & Bartelt (2003) kan en flaklavin inte uppstå utan ett svagt undre lager eftersom snöflaket egen vikt inte kan generera krafter och deformationer nog för att skapa en spontan bristning i ett homogent snölager.



Figur 2.2. Illustration av formen på en typisk flaklavin (efter arkivbild TT/ Johan Hallnäs)

2.1.3 Slasklaviner

Sluttningar som utsetts för mycket strålning med höga temperaturer under vårvintern kan utveckla ”slasklaviner” ofta i samband med regn som sätter ordentlig fart på vårfloden (Conway and Raymond 1993; McClung & Schaerer, 2006). Om det normalt krävs en lutning större än 25° för att en lavin skall aktiveras utgör slasklavinen ett undantag på grund av dess, höga vatteninnehåll är skjuvhållfastheten extremt låg och motståndet för att förhindra glidning eller flytning nära noll (Ancey 2001). Markytans råhet är avgörande för ”slasklaviner” där normalt markytan utgör glidyta och därför påminner ibland slasklavinen mer som ett jordskred där den drar med sig både jord och sten.

2.2 Faktorer som utlöser laviner

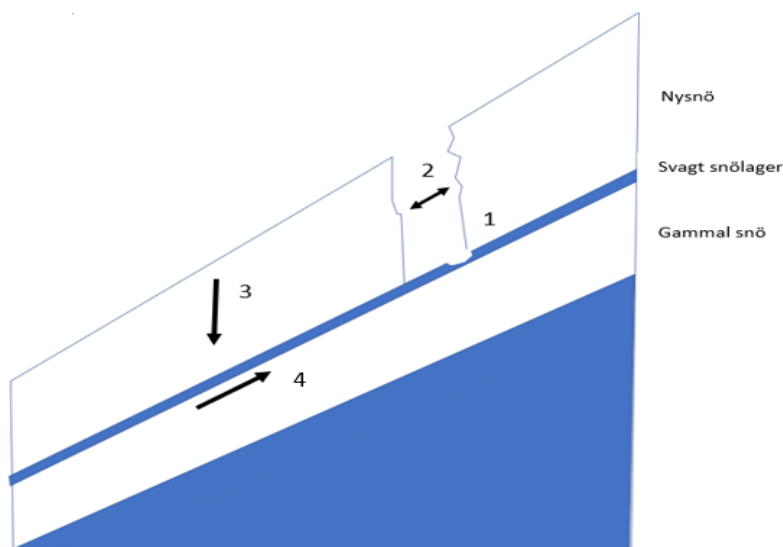
Faktorer som utlöser laviner kan typiskt vara en lokal hastig belastning av en människa som belastar snöprofilen eller sprängning. En lavin som utlöses på det här sättet kallas en artificiellt utlöst lavin. En spontan lavin utlöses av naturliga faktorer som vanligen orsakas av gradvis ökande belastning på grund av exempelvis nederbörd, drivsnö eller en situation där belastningen inte ökar utan snöpackens egenskaper förändras vid exempelvis temperaturförändring. Växlande temperatur över och under fryspunkten bildar ett skikt med mer porös snö och instabilt lager (Schweizer 2003).

Spontana laviner inträffar vanligen på grund av plötsliga väderförändringar som påverkar dels snölagrets egenskaper, dels belastningen. Som nämnts tidigare är det framför allt förändringar av temperatur, nederbörd och vindhastighet som utlöser spontana laviner. Det är

vanligen inte en enskild faktor som orsakar en lavin, utan en kombination av faktorer där varje enskild faktor kan påverka på olika sätt och olika mycket. Flest laviner går vid hård vind tillsammans med snöfall. Hastiga temperaturökningar är också något som riskerar att göra snötäcket instabilt. Effekten är dock inte lika stor som vid hård vind och de snödrev som följer (Fjällsäkerhetsrådet, 2022), men har en större inverkan senare under vårvintern.

Hur förhållanden på fjället ser ut varierar också beroende på vilken sida som studeras i förhållande till vindriktningen. På läsidan ökar vanligtvis snötäcket på grund av ackumulering, medan det på vindsidan minskar på grund av hårda vindar som för bort snön som avsätts på läsidan. Därför är det störst risk för laviner på läsidan i de svenska fjällen, eftersom snön ackumuleras där när slutningarna har en lutning som är ≥ 25 grader (Sveriges lavinutbildningar, www.svelav, 2022).

Figur 2.3 visar en typisk snöprofil och krafter som påverkar stabila eller icke stabila förhållanden. Figuren illustrerar lager med stabila förhållanden som avgränsas av ett svagt lager som bildats när det snöade under mindre gynnsamma förhållanden eller en tidigare yta som påverkats och försvagats av förhöjda temperaturer. Alternativt kan snöpacken ha byggts upp i lager på grund av snödrev där snö avsätts under olika vindförhållanden där gränsen mellan två skikt kan utgöra det svaga planet.



- 1) Ett svagt lager som kollapsar under belastning.
- 2) Kollapsen gör så att det överliggande snölagret brister.
- 3) Den pådrivande kraften som består av snötäckets tyngd och andra yttre naturliga krafter som ex. vind är större än svaghetsplanet's motståndande krafter.
- 4) Det motståndande krafterna består av kohesion och friktion över glidytan.

2.3 Illustration av en typisk snöprofil och krafter som påverkar stabila eller instabila förhållanden efter (McClung & Schaerer 1993).

2.3 Terrängens betydelse

För lavinrisken är terrängen den enda faktorn som är konstant över tid. Laviner kan förkomma i all slags terräng med vissa topografiska förutsättningar, med undantag för sluttningar med tät skog (≥ 1000 träd/ hektar) som håller snömassan på plats, (BC NRS, 2011).

2.3.1 Lutning

För lavinaktivitet behöver en sluttningens lutning vara större än ca 25° (McClung & Schaerer, 2006); Sveriges Lavinutbildningar, 2022, /svelav.se). Om lutningen är lägre kan vanligen snöformationen antas vara stabil och säker oavsett snöprofilens egenskaper. Topografin i Abisko/Riksgränsområdet är under svenska fjällförhållanden relativt dramatiskt med många branta sluttningar med stor lavinrisk (Naturvårdsverket, www.lavinprognoser).

Sluttningar på över 60 grader är generellt för branta för att snö skall kunna ackumuleras och ligga kvar. Laviner utlöses oftast i backar och sluttningar med en lutning på 30–45 grader (Smith, 2013).

2.3.2 Riktning

Sluttningens riktning i förhållande till solstrålning och typisk vindriktning påverkar snölagret struktur och mäktighet. Värme från direkt solljus kommer variera under säsongen och påverkar snötäckets strukturella stabilitet. Under vintertid påverkas sluttningen lite av direkt värme från solen, vilket normalt leder till långsam stabilisering men samtidigt en tendens att skapa svaga lager. Senare under vårsäsongen när sluttningen är utsatt för direkt solljus kan sluttningen vara instabil pga. av snabba temperaturförändringar.

Som nämnts tidigare är sluttningens riktning i förhållande till den förhärskande vindriktningen en avgörande faktor, speciellt under skandinaviska förhållanden, där vindtransporterad avsatt snö är den huvudsakliga orsaken till uppbyggnad av tjocka snötäcken med strukturer som är avgörande faktorer för lavinaktivitet (Karlén, 1983).

2.3.3 Markytans råhet

Markytans råhet utgör ett motstånd för snöpacken att glida. Råheten utgörs exempelvis av mer eller mindre stora block, träd/ buskar, ondulering och terrasser. Men är snödjupet stort i förhållande till råheten blir den snart irrelevant. Råheten är emellertid avgörande för ”slasklaviner” där normalt markytan utgör glidyta

2.3.4 Terrängmodeller

Terräng är en avgörande parameter och den enda faktor som är konstant över tid. Terräng och erfarenhet av tidigare laviner och stråk utgör parametrar som kan utvärderas och kommuniceras med Digital Terrain Models (DTM) eller med Graphical Information System (GIS) (McCollister et al. 2018). En pionjär att testa att använda GIS i Sverige som verktyg och stöd för att prognostisera lavinfarliga områden var Pyykönen (2000) som utförde fallstudier med GIS i Abisko- Riksgränsen området.

Det mest effektiva sättet att prediktera framtida laviner är att studera terrängförutsättningar och historiska händelser (Perla and Martinelli 1976; McCollister et al. 2018 och Broll, G. 2018).

Studier som kopplar terräng till laviner i Abisko/ Riksgränsområdet har gjorts av Pyykönen (2000) och Nåfält (2016). I sina studier arbetade de med Geografiskt Informationssystem (GIS). Pyykönen bekräftar i sin rapport att sluttningar av speciellt intresse för att studera riskområden är de med en lutning mellan 25° och 55°. (Nåfält, 2016) studerade möjligheten att bygga en modell över Nuolja massivet baserat på ”the Avalanche Terrain Exposure Scale” (ATES). ATES som utvecklats av Park Canada är metod att kategorisera terrängen, värdera, beskriva och kommunicera lavinterräng för människor aktiva i fjällvärlden. Nåfälts slutsats, är att ATES modell ställer stora krav på användarens kunskap pga. modellens höga grad av subjektivitet. Och pga. osäkerheter och komplexiteten inom lavinforskningen är riskvärderingen beroende av fälterfarenhet.

2.4 Vädrets betydelse

2.4.1 Snötäckets betydelse för laviner

Snödjupets ändras kontinuerligt beroende på nederbörd, kompaktion och omfördelning av snö pga. vind. Snötäcket som bildas under en vintersäsong är summan av alla vinterns snöfall, där varje enskilt lager, tjocka som tunna, kan ha olika egenskaper beroende på vilka väderförhållanden som rådde under tiden det snöade och vilka väderförhållanden som gällde mellan två snötilfällen.

Snölagrens densitet inom snötäcket varierar och förändras under säsongen, huvudsakligen på grund av förändring av temperatur och fuktighet, vilket förändrar snöpartiklarnas storlek, form och bindning till varandra, men förändras också genom vindpackning och överlagringstryck (Johansson & Ingvander 2015). Hur de förändras beror på olika snömorfologiska förhållanden. En ökning av vatteninnehållet i ett snölager innebär minskad skjuvhållfasthet och därmed risk för ökad lavinaktivitet (Johansson & Ingvander 2015). I vissa lager kan snötäcket vara tätt packat, vilket är vanligt om snön avsatts vid hög vindhastighet (Schweizer et al., 2003). Den tättpackade snön har starka bindningar mellan snökristallerna (kohesion) och gör att de sitter ihop i ett flak. Andra lager kan vara avsatta i lugnare förhållanden och andra temperaturer som gör att bindningarna är svagare och lättare kan tryckas ihop vid belastning. Mellan två snöfall kan temperaturvariationer ha påverkat ytan på det tidigare snölagret som senare kan komma att utgöra ett svagt lager, som kan brytas sönder och utgöra ett glidplan. En flaklavin aktiveras när belastningen över det svaga lagret i snötäcket är så stort att det kollapsar. Efter brottet är de pådrivande krafterna större än de mothållande krafterna som utgörs av friktion och kohesion i det svagare lagret. Snötäckets dynamiska rörelse är känsligt för temperatur, framför allt vid temperaturer över -1°C (Eidevåg et al., 2022).

Snöprofilens uppbyggnad med svaga snölager och de mellanliggande snölagren och dess kvalité är de främsta orsakerna till utlösningen av laviner. Som nämnts tidigare kan

snöprofilen eller snöpacken beskrivas som beskrivas som summan av säsongens snöfall som bildar lager – vart och ett med olika egenskaper. Vissa lager kan vara tätt packade med starka bindningar mellan snökristaller (kohesion) medan andra lager kan ha betydligt lägre kohesion. Lager med färre bindningar (lägre kohesion) är skörare och kan lättare komprimeras vid belastning som i sin tur kan orsaka att det överliggande snölagret bryts sönder och en brottkant bildas. Om glidmotståndet i det sköra lagret är lägre än de pådrivande krafterna från det övre flaket kommer flaket glida på det svagare och lavinen har utlösts (Fjällsäkerhetsrådet). Stora snödjupet kan byggas upp antingen genom nederbörd eller vindtransport. Som nämnts är det inte ovanligt att stora mängder snö kan fall under ett dygn och bygga på snötäcket i Alperna med lavinaktivitet som följd, medan i Sverige stora snötäcken med lavinaktivitet som följd vanligen är avsatta genom vindtransport (Karlén, 1983).

2.4.2 *Temperaturens inverkan på laviner*

Temperaturens inverkan på laviner är påtaglig, vilket om inte annat bekräftas av att lavinrisken ökar markant och det största antalet laviner sker under våren i de svenska fjällen. Hur temperaturens och dess variation över tid påverkar snöprofilens stabilitet är dock komplext eftersom förändringar i lufttemperaturen påverkar stabiliteten på olika sätt. Vid milda perioder när snötäcket värms upp till 0 °C eller mer kan bindningar mellan snöskikt lösas upp. Snabbt stigande temperaturer efter en köldperiod kan orsaka instabilitet på grund av spänningsförändringar i snöprofilen utan att det är plusgrader. Efter en tid med sträng kyla och ett tunt snötäcke på ett mindre kallt underlag kan leda till förändring av snökristallerna och det bildas så kallade bågarkristaller. Det svaga skiktet som bildats kan finnas kvar och orsaka laviner flera månader senare (Schweizer et al. 2003; SMHI: c,2022).

Temperaturen och temperaturgradienten i snölagret spelar en avgörande roll för snötäckets metamorfism (Johansson et al. 2011) och är en stor bidragande orsak till utveckling av laviner. Vid låga temperaturer konserveras tillståndet och vid högre temperaturer omvandlas snön lättare. När snöflinga landar på marken startar omedelbart en omvandlingsprocess. Kristallen med alla dess armar bryts succesivt ner för att minimera sin yta i förhållande till volym. Denna process fortsätter till kornen antagit en mer eller mindre rund form eller till en betydande temperatur-gradient utvecklats i snötäcket. Allt eftersom nedbrytningsprocessen fortgår mot rundare kristallformer och kornen länkar samman ökar kontaktytorna vilket medför en ökad packningsgrad och att snöns densitet ökar, vilket återspeglas i Tabell 2.1. Denna process kallas för sintring och ökar normalt hållfastheten hos snötäcket. Allt eftersom sintringen fortgår blir snötäcket tyngre, starkare och mer kompakt. Sintringseffekten består både av snökristallernas rörelse men väl på plats av diffusion av vattenånga genom snöns porositet (McClung & Schaerer, 2006).

Den viktigaste faktorn vid temperaturopbservationer är trenden eller hur fort temperaturen förändras. Ökande temperatur under tyngre snöfall kan leda till kohesiva lager av snö ovanpå vekare lager som avsattes under kallare temperatur, vilket skapar förutsättning för flaklavin (Schweizer et al., 2003; McClung & Schaerer, 2006). En undersökning avseende temperatur-differenser innan lavinförekomst vid Nuolja, visar att temperaturökning har en dominerande

effekt (Sjölander 2004). Studien visar också på de stora lokala skillnaderna som råder mellan den naturvetenskapliga stationen i dalen och en mätstation på Nuoljas topp. Vid inversion kan temperaturen skilja på ett tiotal grader mellan dalgång och topp. Vid sådan tillfällen förekommer laviner. Resultat visar att positiv medeltemperaturdifferens dominerar innan lavinförekomst. Av registrerade laviner, hade 58% och 81% en temperaturhöjning, ett respektive två dygn innan lavintillfället. Resultatet visar också att många laviner inträffar när temperaturen pendlar runt och över 0°C.

Eftersom snön har en isolerande effekt är det framför allt, åtminstone till en början, ytan av det övre snötäcket som påverkas och i mindre omfattning de undre lagren som emellertid påverkats av temperaturen vid ett tidigare skede när det utgjorde det övre lagret. Dessutom kan kombinationer av olika väderfenomen där temperatur ingår ge effekt på snöns stabilitet, exempelvis hård vind i kombination med temperaturökning (Tremper, 2008). Temperaturskillnader som orsakat instabilitet i snötäcket och när snöprofilen belastas vid omfördelning av snö vid hård vind och på grund av den ökade belastningen kan lavinen aktiveras.

Vid pendlande temperatur över och under fryspunkten (0 °C) bildas ett svaghetsplan. När temperaturer under fryspunkten föregåtts av temperaturer över fryspunkten bildas skare som utgör ett glidplan med låg kohesion och friktion. När sedan temperaturen stiger igen över fryspunkten tinar snön och det bildas ett svagt snölager. Varierande temperaturer kan också leda till en ökad stabilitet under vinterhalvåret genom att snön sätter sig och bindningskrafterna mellan snökristallerna ökar. Temperaturens påverkan kan med andra ord ge både stabila och instabila snöförhållanden (Schweizer et al. 2003).

Beroende på om snön är torr eller blöt är risken för ras och laviner olika och är kopplade till olika utlösande faktorer. En torrsnölavin orsakas av att snölageret triggas av någonting, det kan vara av en människa, ett fallande träd eller ett kraftigt snöfall. En våt-snölavin orsakas i stället av att hela snöpacken blir instabil eftersom dess styrka försvagas genom regn och temperaturskillnader. Dessa typer av laviner är ofta orsakade på naturlig väg och sällan genom mänsklig påverkan. Blötsnölaviner färdas betydligt långsammare än torrsnölaviner (EAWS, 2022).

Snöns densitet kan variera beroende på vid vilken temperatur den faller och sedan öka efter att den avsatts beroende på yttre förhållanden, se Tabell 2.1. Mycket fluffig snö är lättare än nyfallen torr snö som i sig är lättare än våt nysnö. Tyngst är den avsmältande vårsnö.

Tabell 2.1 Snöns densitet under olika förhållanden, efter (SMHI: c,2022)

Snötyp	Densitet, kg/m ³
Mycket fluffig snö	< 30
Nyfallen torr snö	30-100
Våt nysnö	200
Packad vintersnö	200-300
Vårsnö under avsmältningens slutskede	400

2.4.3 Vindstyrkans och vindriktningens inverkan på laviner

Vinden påverkar snöns egenskaper genom att snökristallerna distribueras om och vid högre hastighet förflyttas den så att den ackumuleras på andra ställen. Snöns egenskaper påverkas genom att vinden sätter snön i rörelse så att snökristallerna slits mot varandra och ändrar form, snön kan då packas tätare vilket innebär att densiteten ökar och överstiger den i det underliggande snölagret (Tremper, 2008). Vinden kan också förflytta snön och därigenom orsaka uppbyggnad av snö på ett ställe, snödrev, vilka ökar belastningen på det befintliga snötäcket och förskjuter snöns tyngdpunkt. Drivbildning på grund av kraftig vind ger ofta en stor variation av snödjupet inom området och en sned fördelning av lasten över det tidigare snötäcke. Den vindhastighet som krävs för att snön ska transporteras beror på det överliggande snölagrets egenskaper. Äldre snö som har packats av sin egen vikt, som påverkats av temperaturen och blivit vindpackad kräver hårdare vind för att transporteras – upp emot 7 m/s medan nysnö förflyttas vid 4 meter/sekund (Tremper, 2008). Vindpackad nysnö kan ha tre gånger så hög densitet (vikt/volym) än nyfallen torr nysnö, se Tabell 2.1. Tidigare studier visar på starkt samband mellan vindstyrka och lavinfrekvens. Den mest kritiska vindsituationen för laviner utlösta av vind är under en pågående storm och dygnet efter (Meister, 2017). Detta på grund av omfördelning av snömassor och tillkommande belastning (SMHI: c, 2022).

Risken för laviner på höga branta fjäll är stor eftersom de ofta är utsatta för kraftiga vindar som i sig själv ökar snöpackens kompression. Vindstyrkan är oftast som störst på toppen av fjället. Skillnaden i vindhastighet mellan dalfjäll och kalfjäll kan även bero på de små temperaturskillnader som förekommer i de lägre luftlagren, som orsakar rörelser av luftmassan. Vindens riktning påverkar också lavinrisken.

Den vindriktning som framför allt uppmäts i den svenska fjällen är sydligvästliga (Pyykönen 2000; SMHI, 2022). Vilket innebär att lavinrisken i svenska fjällen är som störst på fjällsidor som lutar brantare än 25 grader åt öster, på grund av vinden som ackumulerar snö och påverkar den på läsidan. Vindförhållanden i Fjällen kan visa på extrema lokala skillnader. Liksom temperaturen är skillnaden i vindhastigheten mellan dalgång och topp vid Abisko mycket stor. Vindhastighet beräknad från mätdata från 2003 visar att skillnaden på vindhastigheten mellan Abiskos Naturvetenskapliga Station och mätstationen på Nuoljas kalfjäll är 61% (Sjölander, 2004). Vindriktningen är i huvudsak västlig till sydvästlig, vilket förklarar den stora lavinaktiviteten på Nuoljas östliga sluttningar. Majoriteten av lavinerna har inträffat vid extremer varje månad och två dygns medelvärde innan skred är ca 4 m/s kraftigare än medelvinden under säsongen (Sjölander, 2004).

2.5 Lavinprognoser

Sedan 1993 har lavinprognoser samordnats i Europa, med generell information kring lavinfaror. Lavinprognoserna är inte sällan komplexa då de måste förhålla sig till både mänsklig och naturlig aktivitet. Det vill säga att laviner som ”triggas” av människor inte nödvändigtvis hade utlösts av naturliga skäl. De samordnade lavinprognoserna utgår från ”European Avalanche Danger Scale” som består av en skala med fem risknivåer som går från låg till mycket hög lavinrisk. Väldigt sällan, oftast bara några få dagar om året, rapporteras det

en lavinprognos som uppger risknivå fyra eller fem. Drygt hälften av de prognoser som rapporteras in uppger lavinrisk två – måttlig lavinrisk (EAWS, 2022).

Prognosen bygger på meteorologiska data, såsom väderväxlingar, vind, nederbörd, temperatur och luftfuktighet men också utifrån från snöns kvalité och snöpackens stabilitet. Denna typ av information inhämtas genom observationer ute på fält där prover tas på snökvalité, snödjup, temperatur samt de olika snöskiktens stabilitet. Även lavinens förväntade storlek räknas in. Lavinprognoser hänvisar inte till ett visst berg eller en viss sluttning utan utgår från en radie på minst 100 kvadratkilometer (EAWS, 2022).

2.5.1 Lavinprognoser i Sverige

På regeringens uppdrag etablerade Naturvårdsverket det svenska lavinprogrammet vintersäsongen 2015/2016. Lavinprognostjänsten inom Naturvårdsverket har sedan dess samlat statistik över rapporterade lavintillbud och spontant utlösta laviner. Dessa lavinprognoser utgår från idag sex olika områden i svenska fjällen. Abisko/Riksgränsen, Kebnekaisefjällen, södra Jämtlandsfjällen, södra Lapplandsfjällen, västra Härjedalsfjällen och västra Vindelfjällen, se Figur 2.3 (Naturvårdsverket).

Siffrorna i figuren redovisar de antal lavinprognoser som utförts vid respektive område säsongen 2020/2021. Underlaget för prognoser baseras på, förutom väderförhållanden, också undersökningar av snölagrens struktur etc. Totalt antal laviner som observerades och rapporterades till databasen var 1342 under säsongen 2020/2021 (säsongrapport lavinprognoser vintern 2020/2021, Lavinprognoser/ Naturvårdsverket).

Varje dag under vintersäsongen uppdateras lavinprognosen, vilket innebär ett ständigt pågående arbete med start från första snön på hösten, tills dess att snön har försvunnit (Lavinprognoser, 2022).



Figur 2.3 Karta som redovisar de områden i svenska fjällen som omfattas av lavinprognoser säsongen 2020 - 2021. Siffrorna redovisar antalet utförda lavinprognoser i respektive prognosområde och totalt.

I och med att områdena är så pass stora måste hänsyn tas till att temperaturer och snöförhållanden kan variera inom området – trots att de utgått från samma tidpunkt. Högst satt risknivå är den som gäller för hela området (Lavinprognoser, 2022).

Precis som för European Avalanche Danger Scale bygger Naturvårdsverkets lavinprognoser främst på fältarbete och observationer. Dessa utförs av lavintekniker och lokala lavinexperter. Ett viktigt tillvägagångssätt för inhämtning av information är genom snöprofiler som visar snötäcket egenskaper, uppbyggnad och kvalitet. För att bedöma hur det ser ut djupare ner i snötäcket och på så vis följa utvecklingen av snöns olika lager används en snötermometer. Kikare används för att bedöma lavinrisken på avstånd. Viktiga iakttagelser och observationer kan också inhämtas från turister och andra människor på fjället. För en komplett lavinprognos behövs även meteorologiska data som samlas in från olika väderstationer i de sex områdena (Naturvårdsverket, Lavinprognoser, 2022).

Den slutliga prognosen ger information om var faran är som störst samt vilka typer av laviner som kan komma att utlösas eller har utlösats. Utifrån det ges en rekommendation till de som vistas på fjället (Naturvårdsverkets Lavinprognoser, 2022).

Rapporterade lavinobservationer kommer huvudsakligen från de observatörer som arbetar på uppdrag av lavinprognostjänsten, men också andra aktörer som arbetar

professionellt med lavinriskhantering i prognosområdena, främst skidanläggningar och i vissa fall guider.

2.6 Klimatförändringens inverkan på laviner

Tidigare avsnitt redovisar hur väderförhållanden påverkar och skapar förutsättning för utveckling av laviner. Men vad kommer hända med vädret på lång sikt, över mer än 30 år, och hur kommer det påverka bildandet av laviner? Vädret avser atmosfärens förhållanden, som till exempel temperatur, vindhastighet och nederbörd under minuter till några veckor, medan klimatet avser vädrets långsiktiga förhållanden under minst 30 år (Bolin Center for Climate Research, 2022). Generellt visar klimatscenarier i Skandinavien att vi kan förvänta ökad temperatur och större nederbörd.

Varmare klimat, oförutsägbara väderomslag och förändrad snömängd är alla faktorer som kan påverka snötäckets och i sin tur lavinaktiviteten. Även om lavinfaran ofta beror på kortsiktiga väderhändelser som inte kan förutses, så har vissa faktorer ändå kunnat observerats vilka kan kopplas till det förändrade klimatet. Exempel på det är snödjup och temperatur (Bellaire et al. 2013). I Alperna har man redan nu sett minskat snödjup samt att snön ligger kvar kortare tid innan den smälter bort (Michael 2021).

Snötäckets struktur har förändrats i Norra Sverige sedan mitten på 90-talet (Johanson Ingvander 2015). Mätningar sedan 1961 visar en ökning av mycket hårda snölager, framför allt under tidig vinter och mer fuktig snö under våren. Anledning till förändringen av snöns egenskaper beror troligen på ökande temperatur vid början och slutet på snösäsongen (Johanson, et al., 2011)

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI: a, 2022) rapporterar i samtliga modeller en ökad nederbördsmängd och en högre medeltemperatur fram till 2100. I norra Sverige kommer exempelvis Norrbotten vid en mellanstor temperaturhöjning (RCP4.5) medeltemperaturen öka ca 2–3 °C och nederbörden under vintern med 15–20% (SMHI, Faktorer som påverkar klimatet, 2014) rapporterat av (Berg et al. 2015) och (SMHI Klimatologi nr 15 och 33, 2015). Förutsättning för scenario (RCP 4.5) redovisas i Tabell 2.2, vidare rapporterar SMHI att antalet temperaturväxlingar över och under 0° under samma dygn kommer öka. I SMHI:s rapportering redovisas dessa temperaturväxlingar som ”nollgenomgångar” som definieras som antalet dygn då dygnets högsta temperatur varit över 0 °C under samma dygn som dygnets lägsta temperatur varit under 0°. Antalet nollgenomgångar bedöms öka med 0–20 dagar. Ett ökat antal nollgenomgångar skulle kunna innebära att risken för uppbyggnad av svaga lager ökar eftersom snö överytan blir utsatt för tining och frysning om vartannat i större omfattning.

Tabell 2.2 Antagande som ligger till grund för scenario RCP4.5 (efter SMHI Klimatologi Nr 15 och 33, 2015)

RCP4.5
<ul style="list-style-type: none">• Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring 2040• Befolkningsmängden är något under 9 miljarder i slutet av seklet• Lågt arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster• Omfattande skogsplanteringsprogram• Låg energiintensitet• Kraftfull klimatpolitik

RCP 4.5 indikerar att vintersäsongen i svenska fjällen kommer bli kortare men under perioden kan vi förvänta en ökad lavinrisk. Om koldioxidutsläppen inte minskas skulle ett värre scenario RCP8.5 kunna inträffa, vilket skulle öka medeltemperaturen i norra Sverige med 5–8 °C och nederbörden under vintern 25-35%, vid sekelskiftet. Ett sådant scenario skulle kunna innebära extremt korta vintrar med stor risk för laviner. SMHI rapporterar att om jordens uppvärmning fortsätter i samma takt som idag kommer vintersäsongen i Sverige att kortas med en månad om 70 år.

Så även om man i de svenska fjällen kan förvänta en drastisk minskning av snödjupet över året mot slutet av detta århundrade (Persson et al, 2020) och att minskad snömängd innebär minskat antal laviner (Bellaire et al. 2013) så kan vi i stället över en tid förvänta ökad lavinrisk fast under en kortare säsong.

Medeltemperaturen idag i området Abisko/Riksgränsen är betydligt lägre än temperaturökningen enligt (RCP 4.5) under december, januari och februari (enligt data från SMHI). Om antalet nollgenomgångar kommer att öka kan det betyda att åtminstone under detta århundrade kan förvänta sig ökat snödjup med större temperaturskillnader och därmed ökad lavinrisk. Liknande slutsats rapporteras av (Strapazzon et al. 2021) och Institute for Avalanche Research (WSL), som konstaterar att färre laviner i Alperna på lägre höjd inte nödvändigtvis behöver betyda att det blir färre laviner totalt, snarare tvärt om. Laviner kommer med andra ord troligtvis inte att minska i antal, men säsongen kommer att förkortas. En ökning av laviner kommer även ses på högre höjd i Alperna eftersom temperaturen, som har stor inverkan på laviner, kommer öka tidigare på säsongen.

3 METOD

I Sverige råder det brist på relevant och underbyggd information om var och när det är lavinfarligt och studier avseende vädrets och meteorologiska parameters inverkan på lavinaktivitet är begränsad (Sjölander, 2004; Mårtensson & Palmgren, 2014). Eftersom prognosområden är så pass stora måste hänsyn tas till att väderförhållanden varierar lokalt inom området – trots att de utgått från samma väderstation. Därför görs lavinprognosen normalt utifrån det värsta väderscenariot (Lavinprognoser, 2022).

I den här studien redovisas samband mellan väderdata givna från väderstation i Katterjåkk och rapporterade laviner inom prognosområdet Abisko/ Riksgränsen. Frågeställningen är om det finns ett tydligt samband mellan snödjup, temperatur och vindhastighet rapporterade från SMHI och laviner rapporterade av Naturvårdsverkets lavintjänst och kan man utifrån rapporterade data bedöma hur variablerna samverkar och vilken variabel som ”triggar” lavinen.

Studien är baserad på en kvantitativ metod, där datamängder från två olika databaser hämtats och analyserats för att se om man kan hitta kopplingar mellan väderdata och rapporterade laviner. Metodvalet utgår från hantering av mer eller mindre stora datamängder för att studera om väderdata från Katterjåkks väderstation kan användas för att utvärdera ett kausalsamband mellan meteorologiska data (snödjup, vindhastighet och lufttemperatur) och rapporterade laviner i Abisko/Riksgränsområdet. Det vill säga om det ena orsakas av det andra och om den hypotes som utformats går att bekräfta eller inte (Eliasson, 2018).

De data som insamlats till studien är sekundär vilket innebär att informationen sedan tidigare funnits tillgänglig, en metod som blir allt vanligare då den här typen av information har blivit mer tillgänglig i olika databaser (Barmark & Djurfeldt 2020). En del av uppgiften är att testa om metodiken att använda sekundära data från två olika databaser kan användas för att besvara frågeställningen.

3.1 Val av prognosområde och väderstation

Prognosområdet Abisko/ Riksgränsen ligger längs upp i Sverige och har den mest dramatiska topografin av de sex prognosområdena och mycket lång säsong. Man kan därför förvänta en högre lavinfrekvens än i andra prognosområden. Dessutom ligger Nuolja inom området, där i Sverige den mest omfattande lavinforskningen ägt rum, även om rapporterade undersökningar avseende vädrets och meteorologiska parameters inverkan på lavinaktivitet är begränsad. Den av Sjölander (2004) rapporterade studien fokuserar på väderdata och laviner specifikt på Nuoljas sluttningar, medan avsikten med denna studie är att studera kopplingen meteorologi och rapporterade laviner över ett större område. Inom det valda lavinprognosområdet finns två aktiva väderstationer en i Abisko (68.3538N, 18.8164E, höjd 392 m) och en ca 35 km väster om Abisko, i Katterjåkk (68.4207N, 18.1670E, höjd 514 m) nära Riksgränsen. Väderstationerna visar hur lokalt vädret kan variera i fjällen. Abisko redovisar normalt mycket liten årsnederbörd och Katterjåkk bara några mil därifrån betydligt högre. Men trots det avsätts det mycket snö på Nuolja som ligger alldeles intill Abisko (mellan Abisko och Björkliden) pga. mer nederbörd men framför allt kraftiga vindar (Sjölander, 2004). Nederbörd men framför allt

dominerande sydvästliga till västliga vindar för med sig snö som avsätts på Nuoljas sluttningar åt öster. Katterjåkk valdes att representera vädret i området då den bedöms ligga mer fritt och generellt vara mindre påverkad av lokala terrängvariationer. Bedömningen är också att med kännedom om de lokala variationerna skulle komma fram till i princip samma resultat även om man använder data från bägge stationerna.

3.2 Insamling och sortering av data

Data över rapporterade laviner inom området samlades in från Naturvårdsverkets svenska lavinprogram och väderförhållanden, dvs. snödjup, vind och temperatur som bedöms ha en avgörande betydelse för laviner, hämtades från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI: b, 2022). Väderdata sedan mycket lång tid tillbaka finns att ladda ner på (<http://www.smhi.se>). För att få tillgång till rapporterade lavinobservationer, kontaktades lavinexperter (Petter Palmgren och Mattias Tarestad) på Naturvårdsverkets lavintjänst, som skickade rapporterade lavinobservationer från och med vintersäsongerna 2015/2016 fram till 2021/2022 från prognosområden enligt Figur 2.3. Efter att lavindata inhämtats, sorterades relevant information för studiens frågeställning och begränsningar. I detta fall prognosområde Abisko/ Riksgränsen under vintersäsongen 2021 och endast artificiella laviner. Väderdata från SMHI och lavindata från Naturvårdsverket fördes därefter in i ett gemensamt Excel där tabeller och diagram skapades för att organisera och göra data begriplig och till hjälp för att besvara studiens frågeställningar.

SMHI redovisar snödjupet vid två tillfällen per dygn och i den här studien redovisas snödjupet kl. 06.00 samma dag som lavinen rapporterats eftersom det ligger närmast i tid vid lavintillfället. För att kunna registrera temperaturvariationer över dygnet redovisas temperaturen förutom som medelvärdet också som högsta och lägsta temperatur det aktuella dygnet. Vindhastigheten redovisas för samma timme som lavinen rapporterats och vid ett bestämt klockslag (14.00) en och två dagar före den rapporterade lavinen. Resultatet redovisas för månaderna januari till april i Tabellerna 4.1 – 4.4.

Eftersom förutsättningen för snötäckets stabilitet också varierar över lång tid har för månaderna mars och april 2021 också väderdata/ dygn över hela perioden plottats. Väderdata redovisas som medelvärde per dygn för temperatur, vindhastighet och snödjup (Figur 5.4 – Figur 5.5)

3.3 Utvärderingsmetodik

För att studera en eventuell samvariation mellan variablerna snödjup, vindhastighet och temperatur plottades i diagram inrapporterade lavintillfällen vid rapporterade väderförhållande, vind-hastighet / snödjup (Figur 5.1), temperatur/ snödjup (Figur 5.2) och temperatur/vind (Figur 5.3). Vid en eventuell samvariation förväntas att lavintillfällen skall bilda kluster i diagrammen. I anslutning till varje figur görs förutom en beskrivning ett försök till tolkning vilka väderparametrar som i huvudsak kan ha aktiverat lavinerna.

Eftersom väderförhållandet vid rapporteringstillfället av en spontant utlöst lavin sällan är detsamma som vid själva skredet inkluderades i studien också väderförhållanden två respektive en dag före lavinrapporteringen, som blir ett stöd vid utvärderingen. För att

identifiera orsak till laviner måste man känna till väderförhållanden inte bara under rastillfället utan också före (Reuter et al. 2022).

Den lavinkänsliga snöprofilen utvecklas under lång tid under olika väderförhållanden och för att studera ett eventuellt tydligare samband mellan rapporterade väderdata över tid och rapporterade spontana laviner fokuserades på månaderna mars och april, då flest antal laviner rapporterades. För att kunna tolka trender eller hastiga väderförändringar före lavinrapportering, för månaderna plottades medelvindhastighet/ dygn, medel-temperaturen/ dygn och snödjup som funktion av tid och i figuren markeras dagar med lavinaktivitet (Figur 5.4 – 5.5). I anslutning till varje figur görs förutom en beskrivning ett försök till tolkning vilka väderparametrar som bedöms i huvudsak ha aktiverat lavinerna.

4 VÄDERPARAMETRAR KOPPLADE TILL RAPPORTERADE LAVINER I ABISKO-/RIKSGRÄNSENOMRÅDET, 2021

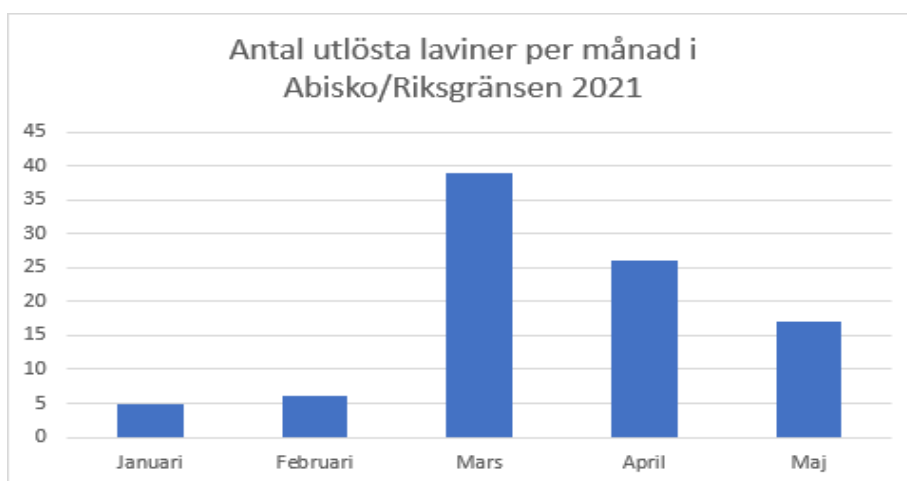
4.1 Övergripande väder säsongen 2020/2021

Vädret i Abisko/Riksgränsen var under vintern 2020/2021 något kallare än den nya normalperioden (1991 till 2021). Om nederbörden generellt var högre i Sverige, var det mycket torrt i fjällen. I början av vintersäsongen var det mindre än 50% nederbörd i Abisko/Riksgränsen jämfört med normalperioden. I januari mättes snödjupet till 35 cm i Riksgränsen, vilket är det lägsta snödjupet för januari månad som uppmätts i Riksgränsen sedan 1930-talet. Men nederbördförande vindar senare under säsongen ändrade helt förhållandena och vid väderstationen i Katterjåkk mättes i april ett största snödjup på 155 cm, vilket också var årets rekord för hela Sverige (SMHI: d, 2022). Det skall i och för sig jämföras med förra säsongen 2020, då snödjupet i Katterjåkk mättes till 218 cm den 15 maj (SMHI: e, 2022).

4.2 Lavinfrekvens vintersäsongen 2021

I Naturvårdsverkets lavinprognostjänst för vintern 2020/2021 framgår att säsongen uppvisade djupa bestående svagheter i snötäcket, vilket berodde på att det i början av säsongen var mycket snöfattigt. Under långa perioder var snötäcket mycket känsligt för belastning och många laviner utlöstes av människor. Enligt områdets lavinskonsult utlöstes laviner från flackare terräng, som normalt bedömdes som säker (Säsongsrapport Lavinprognoser 2020/2021, 2021).

Under vintersäsongen 2021 (januari t.o.m. maj) rapporterades totalt 191 laviner. Av dessa var 93 spontana och 98 artificiellt utlösta. För att svara på frågeställningarna i det här arbetet är det framför allt laviner som utlöstes på naturlig väg som är intressanta. Därför har bara laviner som varit spontant utlösta tagits med i Figur 4.1. Av det totala antalet rapporterade lavinerna var närmare 88 % rapporterade vårmånaderna mars till maj.



Figur 4.1. Antalet spontant utlösta laviner per månad i Abisko/Riksgränsen januari-maj under 2021.

4.3 Väderdata i samband med utlösta laviner Abisko/Riksgränsen under vintersäsongen 2021

I detta avsnitt redovisas en sammanställning av data hämtad från Naturvårdsverkets lavintjänst och väderdata hämtad från SMHI. I samband med varje rapporterad spontant utlöst lavin redovisas snödjup, temperatur och vindhastighet för respektive månad, januari - maj i Tabellerna 4.2 - 4.6. SMHI redovisar snödjupet vid två tillfällen per dag, kl. 06.00 och 07.00. I tabellerna redovisas snödjupet kl. 06.00 samma dag som lavinen rapporterats. För att kunna registrera variationer över dygnet och registrera antalet nollgenomgångar redovisas temperaturen förutom som medelvärdet i tabellerna också högsta och lägsta temperatur det aktuella dygnet. Vindhastigheten redovisas för samma timme som lavinen rapporterats och vid ett bestämt klockslag (14.00) en och två dagar före den rapporterade lavinen. Under månaderna mars och april, redovisas också medelvärdet av dygnets vindhastighet samma dag som lavinen rapporterats.

Eftersom lavinen inte nödvändigtvis kan kopplas direkt till vädret när den utlöstes utan framför allt väderförhållanden under en period före har också månaderna mars och april studerats utifrån väderdata för månadens samtliga dygn. Väderdata rapporteras som medelvärde per dygn.

Januari

Tabell 4.2 redovisar de fem laviner som rapporterades under januari. En rapporterades i början av januari och fyra stycken 21 och 25 januari. Tre stycken rapporterades samma den 25 januari. Medeltemperaturen den dagen var $-20,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ med mindre variationer över dygnet. Men det var en stor skillnad jämfört med början på månaden, då det också rapporterades en lavin. i. Snödjupet var under januari månad mellan 16 och 22 cm. Den största vindstyrkan vid rapporteringstillfället var 5,1 m/s och dagen innan lavinen rapporterades blåste det kl. 14.00, 9,6 m/s.

Tabell 4.1 Snödjup, temperatur och vindhastighet det dygn som lavinen rapporterades, januari

Lavin nr.	Datum	Vind** [m/s]	Vind*** [m/s]	Snödjup [cm]	Temperatur [°C]		
					Min	Med	Max
1	02-jan	2,5	3,1	16	-2,6	-1,65	-0,7
2	21-jan	2,1/9,6	5,1	22	-16,5	-14,1	-12,5
(3) 3-5	25-jan	4,4/0,8	0,6-0,8	17	-24,0	-20,8	-16,5

(x) värden i parentes är antal laviner rapporterade samma dag

**Vindhastighet kl. 14.00, 2 och 1 dagar innan lavinrapporteringen Dag2/Dag1

***Vindhastigheten vid rapporteringstillfället

Februari

Enligt Tabell 4.3 gick det totalt sex laviner i februari. Den 11 februari var den dag flest laviner gick, tre stycken. Vinden vid tillfället då dessa laviner utlöstes mättes till 3–4 m/s.

Temperaturen var drygt -6 °C och snödjupet var 0,36 meter. Högsta vindstyrkan i februari vid tillfället för utlöst lavin mättes till 8,6 m/s. Medeltemperaturen var då -0,5 °C och snödjupen 53 cm. Temperaturen passerade fryspunkten under dygnet (nollgenomgång). Denna dag gick en lavin.

Tabell 4.2 Snödjup, temperatur och vindhastighet det dygn som lavinen rapporterades, februari

Lavin nr.	Datum	Vind** [m/s]	Vind*** [m/s]	Snödjup [cm]	Temperatur [°C]		
					Min	Med	Max
6	02-feb	1,3/1,6	3,1	36	-19,2	-12,8	-10,8
(3) 7–9	11-feb	3,7/3,2	3,2–4,0	36	-9,2	-7,6	-3,7
10	14-feb	1,9/3,3	4,6	40	-7,1	-5,1	-1,6
11	26-feb	3,3/1,2	8,6	53	-3,6	-0,5	4,5

(x) värden i parentes är antal laviner rapporterade samma dag

**Vindhastighet kl. 14.00, 2 och 1 dagar innan lavinrapporteringen Dag2/Dag1

***Vindhastigheten vid rapporteringstillfället

Mars

I mars rapporterades totalt 39 laviner, se Tabell 4.3.. Den 2 mars var den dag då flest laviner inträffade, sju stycken. När lavinen inträffade var vindstyrkan mellan 7,8–10,6 m/s. Det var också denna dag som högsta vindstyrkan i mars registrerades. Medeltemperaturen var drygt -2 °C, snödjupet var 51 cm. Den 22 mars rapporterades näst flest laviner i mars, sex stycken. Vinden uppmättes till mellan 0,7–2,5, medeltemperaturen var drygt -5 °C. Under dygnet då lavinerna skedde inträffade nollgenomgångar. Snödjupet var 93 cm.

Tabell 4.3 Snödjup, temperatur och vindhastighet det dygn som lavinen rapporterades, mars

Lavin nr.	Datum	Vind** [m/s]	Vind*** [m/s]	Snödjup [cm]	Temperatur [°C]		
					Min.	Med.	Max
(7) 12–18	2-mar	5,9/14,6	7,8–10,6	51	-5,2	-2,1	-1,8
(3) 18–20	3-mar	14,6/12,6	3,1	48	-11,3	-4,3	-4,0
21	4-mar	12,6/3,6	7,7	50	-10,0	-7,7	-4,7
(3) 22–24	9-mar	0,6/1,5	1,4–1,9	60	-22,9	-16,8	-15,8
(4) 25–28	10-mar	1,5/2,4	0,5–1,0	60	-20,8	-19,2	-4,2
29	11-mar	2,4/3,8	1,8	59	-12,5	-8,5	-4,5
30	13-mar	4,7/0,5	0,8	60	-7,4	-4,1	-0,7
31	16-mar	0,8/5,1	2,2	65	-11,3	-7,5	-4,7
32	18-mar	5,1/2,5	1,3	68	-18,4	-14,1	2,1
(6) 33–38	22-mar	2,0/8,0	0,7–2,5	93	-5,7	-5,1	3,0
(2) 39–40	24-mar	1,4/11,5	7,4	93	-4,8	-0,1	0,1
(4) 41–44	25-mar	11,5/9,1	2,8–7,9	98	-13,0	-2,5	-1,5
(4) 45–48	26-mar	9,1/0,8	0,0–0,8	96	-6,1	-7,1	1,5
49	27-mar	0,8/1,0	0,8	93	-6,4	-1,4	1,6

(x) värden i parentes är antal laviner rapporterade samma dag

**Vindhastighet kl. 14.00, 2 och 1 dagar innan lavinrapporteringen Dag2/Dag1

***Vindhastigheten vid rapporteringstillfället

April

I april rapporterades det totalt 26 stycken laviner, Tabell 4.5. Den 8 april och 20 april var de dagar då flest laviner gick, fyra stycken. Den 8 april mättes vindhastigheten till mellan 0,7 och 2,1 m/s, temperaturen var mellan -5 och -7 °C. Snödjupet var 1,6 meter. Den 20 april blåste det mellan 0,7–0,8 m/s. Temperaturen låg på drygt 4 °C och snödjupet var 0,96 meter. Högsta vindstyrkan i april uppmättes till 10,5 m/s, i samband med rapporterad lavin. Temperaturen var då 1 °C och snödjupen 1,1 meter. Denna dag gick det en lavin.

Tabell 4.4 Snödjup, temperatur och vindhastighet det dygn som lavinen rapporterades, april

Lavin nr.	Datum	Vind** [m/s]	Vind*** [m/s]	Snödjup [cm]	Temperatur [°C]		
					Min	Med	Max
50	1-apr	7,7/8,0	6,2	98	-2,8	-1,2	-0,2
51	3-apr	1,0/10,3	4,6	119	-6,3	-1,7	0,3
(2) 52–53	5-apr	5,5/1,1	0,7	119	-5,2	-2,8	-0,4
54	7-apr	3,2/6,6	3,6	123	-12,0	-4,0	-3,3
(4) 55–58	8-apr	6,6/8,9	0,7–3,6	126	-21,0	-8,6	-7,1
59	9-apr	8,9/4,1	1,2	121	-10,4	-12,5	-2,0
60	10-apr	4,1/0,9	2,1	119	-2,7	-5,1	-1,0
(3) 61–63	12-apr	5,6/9,3	1,0–3,1	110	-11,3	-3,3	-2,8
(3) 64–66	13-apr	9,3/2,8	3,2–4,2	109	-5,0	-3,5	-1,9
67	15-apr	2,9/7,9	10,5	111	0,2	0,6	3,4
68	16-apr	7,9/10,5	2,5	105	-3,6	1,6	4,1
69	19-apr	4,3/0,0	1,6	98	-2,3	1,6	7,7
(4) 70–73	20-apr	0,0/0,7	0,7–0,8	96	-2,4	3,3	6,0
74	22-apr	0,9/2,7	2,9	96	-4,7	-4,2	0,9
75	30-apr	3,4/11,0	5,4	101	-6,9	-5,3	-1,2

(x) värden i parentes är antal laviner rapporterade samma dag

**Vindhastighet kl. 14.00, 2 och 1 dagar innan lavinrapporteringen Dag2/Dag1

***Vindhastigheten vid rapporteringstillfället

Maj

I maj rapporterades totalt 17 laviner. Flest laviner, fyra stycken rapporterades den 12 maj. Vindhastigheten vid dessa tillfällen mättes till 1,3-2,5 m/s och medeltemperaturen under dygnet var 2,6 °C. Den högsta respektive lägsta temperaturen var 4,6 °C och 1,2 °C. Detta var det första tillfället då det var plusgrader under hela dygnet. Snödjupet var 110 cm. Högsta vindstyrkan i maj vid tillfället för utlöst lavin mättes till 8,6 m/s. Temperaturen var då -1 °C och snödjupen 1,1 meter. Denna dag gick två laviner.

Tabell 4.5 Snödjup, temperatur och vindhastighet det dygn som lavinen rapporterades, maj

Lavin nr.	Datum	Vind** [m/s]	Vind*** [m/s]	Snödjup [cm]	Temperatur [°C]		
					Min	Med	Max
76	1-maj	11,0/7,9	4,9	130	-5,2	-4,2	-0,0
(3) 77-79	3-maj	2,9/2,6	1,5	110	-5,3	-4,5	-0,4
80	4-maj	2,6/5,8	7,6	110	-9,9	-3,0	-0,0
(3) 81-83	5-maj	5,8/8,6	0,7-1,7	110	-13,2	-5,4	-0,1
84	6-maj	8,6/1,7	1,2	110	-11,7	-6,5	1,1
85	9-maj	2,3/4,3	3,0	110	-5,1	-0,3	3,2
(2) 86-87	10-maj	4,3/6,5	1,7	110	-6,9	-0,4	4,6
(4) 88-92	12-maj	2,8/2,7	1,3-2,5	100	1,2	2,6	4,6
93	14-maj	1,9/1,5	1,4	90	-0,1	0,3	4,3

(x) värden i parentes är antal laviner rapporterade samma dag

**Vindhastighet kl. 14.00, 2 och 1 dagar innan lavinrapporteringen Dag2/Dag1

***Vindhastigheten vid rapporteringstillfället

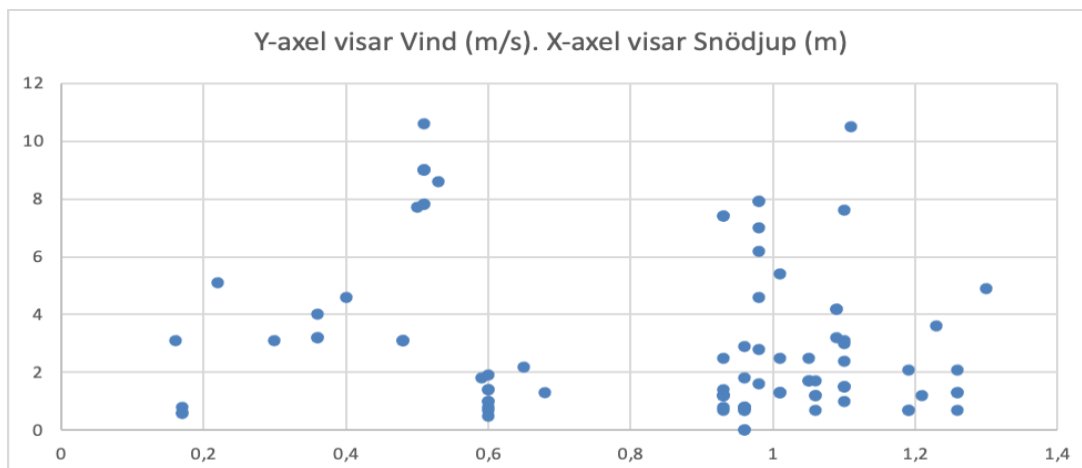
5 ANALYS AV LAVINER KOPPLAT TILL OLIKA VÄDERKOMBINATIONER

5.1 Laviner kopplat till olika väderkombinationer vid rapporteringstillfället

De huvudsakliga orsakerna till utveckling av laviner är nederbörd (snödjup), vindhastighet och temperatur. För att se om man kan se ett samband mellan de aktuella väderförhållandena och möjligen vilken faktor som har störst betydelse för utveckling och eventuell initiering av laviner i området, plottades kombinationer av snödjup, vindhastighet och temperatur på morgonen samma dag som lavinen rapporterades.

5.1.1 Snödjup och vind

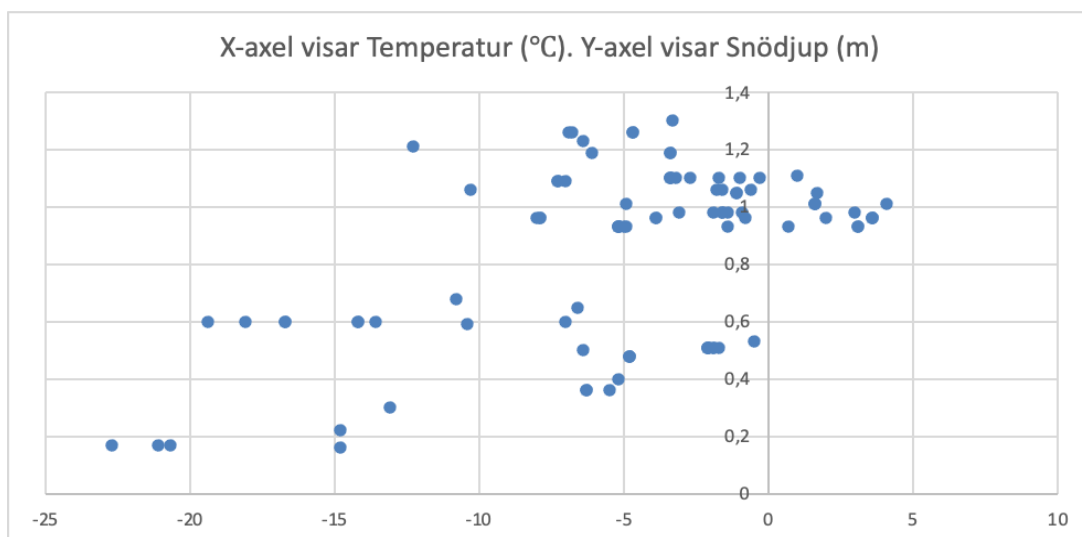
I Figur 5.1 redovisas snödjup och vindhastighet för spontant utlösta laviner. I diagrammet kan ett och samma lavintillfälle redovisa flera laviner eftersom de rapporterats samtidigt och har då fått en gemensam markering. Det är tydligt att snödjupet har stor betydelse eftersom de flesta laviner gick då snödjupet i Katterjåkk var större än 0,9 m. Av de rapporterade lavinerna var snödjupet större än 0,9 m för mer än ca 65 % av de rapporterade lavinerna, enligt Figur 5.1. Om man studerar varje individuell lavin enligt Tabellerna 4.1–4.5, gick lavinerna i 70 % av fallen vid ett snödjup större än 0,9 meter. Så överensstämmelsen mellan Figur 5.1 och tabellerna är bra trots att en punkt vid tillfällena i diagrammet kan representera flera laviner, se Tabellerna 4.2 - 4.6. Att antalet laviner ökar med ökat snödjup sammanfaller med huvudorsaken till laviners utveckling i de svenska fjällen där snölagret byggs upp succesivt under säsongen och kontaktytan mellan de olika lagren försvagas av temperatur och vind. Flest laviner gick under mars månad då snödjupet ökade som mest under säsongen (51–98 cm). Laviner rapporterades även vid små snödjup, vilket antyder att vindtransporterad snö avsatts på bergsluttningars lä sida och belastat befintligt snölager. Vilket i sin tur visar att snödjupet i Katterjåkk inte nödvändigtvis behöver vara representativt för hela Abisko/Riksgränsen-området. Eftersom vindhastigheten är redovisad samtidigt som inrapporteringen av lavinen, är den egentligen inte representativ eftersom den inte representerar vindhastigheten vid själva lavintillfället. Det är därför också viktigt att även samla in väderdata någon tid innan och fram till att lavinen rapporterats, för att möjligen kunna identifiera huvudsakliga utlösningorsaken. Det mätta snödjupet behöver alltså inte nödvändigtvis vara representativt eftersom det kan ha snöat mer lokalt i lavinområde. Eller så kan ett snölager också byggts upp på grund av vinden som orsakat snödrev och avsatt snö på bergets läsida och vid nästa blåsiga tillfälle belastar snötäcket med ny snö och ett befintligt svagt lager deformeras som i sin tur startar lavinen.



Figur 5.1. Laviner plottade vid Väderkombinationen vindhastighet (m/s) och snödjup (m) under vintersäsongen januari tom. maj, 2021. Datakälla, se avsnitt 1.3

5.1.2 Snödjup och temperatur

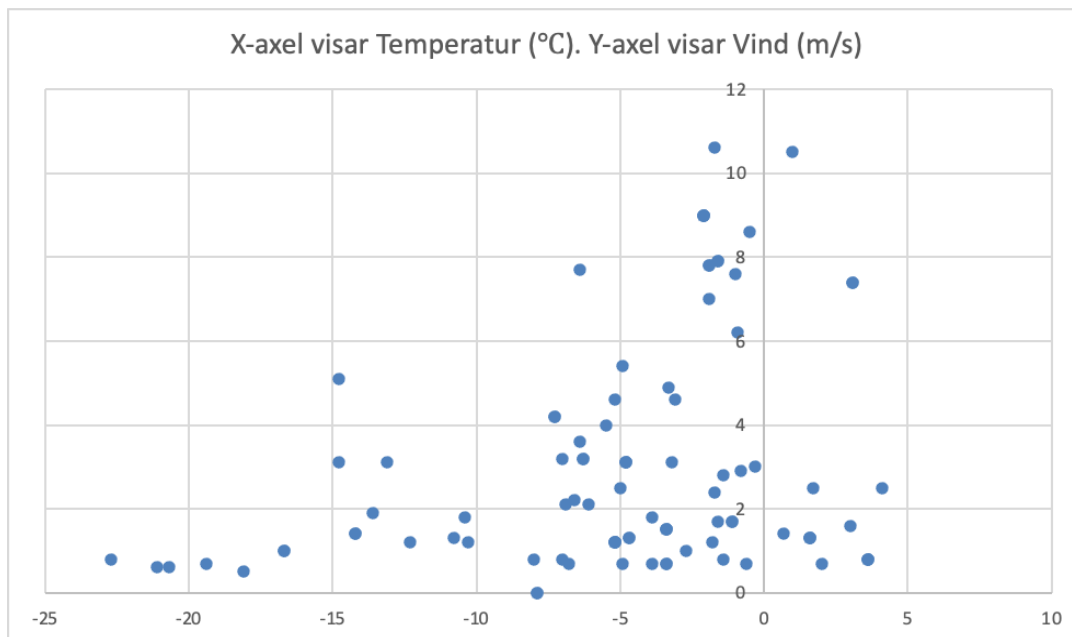
I Figur 5.2 framgår det relativt tydligt att temperaturen och snödjupet har stor inverkan på uppkomst av laviner. Ett stort kluster av laviner har rapporteras vid ett snödjup i Kattejåkk som är större än 0,8 meter i ett temperaturintervall på ca -7°C och 5°C . Vilket också sammanfaller med att flest laviner normalt går under vårvintern, med bl.a. ett ökat antal nollgenomgångar. Laviner som rapporterats vid mindre snödjup än 0,8 meter vid låga temperaturer har gått tidigare under året och snödjupet är lokalt troligen större än den uppmätt vid Katterjåkks väderstaion pga. snödrev som möjligen också orskat lavinen med ökad belastning på tidigare snölager.



Figur 5.2 Laviner plottade vid Väderkombinationen temperatur ($^{\circ}\text{C}$) och snödjup (m) under vintersäsongen januari tom. maj, 2021. Datakälla, se avsnitt 1.3

5.1.3 Temperatur och vind

I Figur 5.3 framgår det att temperaturen och vindhastighet har en betydande inverkan på laviner.. Antalet rapporterade laviner ökar markant vid temperaturer ca -7°C och 5°C vilket också sammanfaller med att det verkar finnas en tendens att blåsa något mer då dessa laviner rapporterades. Vilket också sammanfaller med att flest laviner normalt går under vårvintern, med bla. ett ökat antal nollgenomgångar. Temperaturintervallet sammanfaller med att det verkar finnas en tendens att blåsa något mer då dessa laviner rapporterades. Under tidig vårvinter är snötäcket som tjockast och temperaturskillnader och vind har påverkat snöprofilen. När det blåser under vårvintern avsätts snö på läsidan av berget och ett svagt skickt kan bli överbelastat. Det kan också vara så att vinden i sig själv utgör den utlösande faktorn genom att utöva ett tryck mot snötäcket.



Figur 5.3 Laviner plottade vid Väderkombinationen temperatur ($^{\circ}\text{C}$) och vindhastighet (m/s) under vintersäsongen januari tom. maj, 202. Dataälla, se avsnitt 1.3

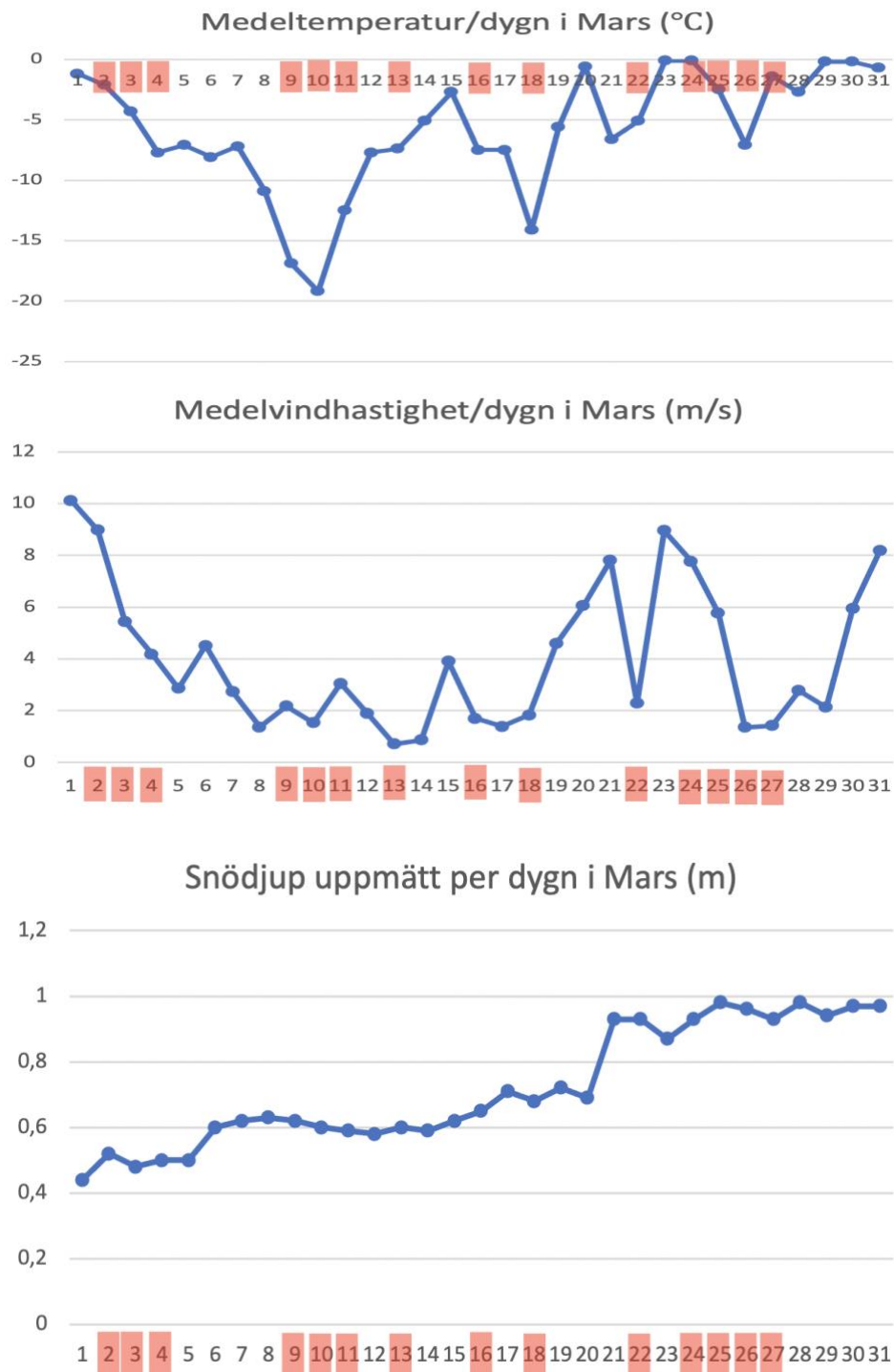
5.2 Väderförhållanden under mars och april och dess inverkan på lavinutvecklingen

I avsnitt 5.1 redovisades ett försök att koppla väderförhållandet till själva lavintillfället, eller snarare rapporteringstillfället som kan skilja sig med många timmar eller dagar från själva skredtillfället. Men laviner utvecklas under en lång tid och är beroende av vädret över tid. I detta avsnitt 5.2 redovisas ett försök att koppla utvecklingen av laviner till väderdata, för månaderna mars och april.

I Figurerna 5.4 och 5.5 redovisas medelvindhastighet/ dygn, snödjup (som mäts två gånger dagligen) och medeltemperatur/dygn för månaderna mars och april. De dagar/datum som laviner rapporterades är rödmarkerade på x-axeln.

Under mars och april rapporterades det totalt 65 laviner i Abisko/Riksgräns- området, vilket är drygt 70 % av det totala antal laviner i området under år 2021 Under dessa två månader varierade både temperatur, vind och snödjup, se Figur 5.4 och Figur 5.5.

Laviner och väder i mars



Figur 5.4 Medeltemperatur/dygn, medelvindhastighet/dygn och Snödjup uppmätt per dygn för mars månad. Datumet/Dagen för lavintillfällen är markerade med röd ruta.

2-4 mars

Laviner (11 st) som rapporterades under perioden 2-4 mars föregicks av snöfall, kraftiga vindar vid relativt höga medeltemperaturer, som högst $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mellan den 1 och 2 mars snöade det ca 10 cm och vindhastigheten var relativt hög. Perioden föregicks av flera nollgenomgångar i slutet av februari, dvs. temperaturen var över fryspunkten någon gång under dygnet. Detta kan ha påverkat överytan av snölagret som utgör underlaget för nysnön. Under perioden 2-4 mars upphörde snöandet, det fortsatte blåsa och temperaturen började sjunka. Mellan den 6 och 7 mars snöade det ytterligare ca 10 cm. Vinden minskade ner till 1-2 m/s och temperaturen höll sig runt $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Men inga laviner rapporterades igen förän den 9 mars.

Samband och bedömd orsak till de rapporterade lavinerna: Perioden föregicks av nollövergångar som bidrog till ett försvagat lager. Den utlösande faktorn kan bero på generell ökad belastning på grund av snöfall och höga vindar som orsakat lokalt stora ansamlingar av snö på läsidan.

9-13 mars

De laviner (9st) som rapporterades under perioden 9-13 mars föregicks av stabila väderförhållanden, förutom hastig sänkning av temperaturen från ca $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ till $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ingen förändring i snödjup och en lätt pendlande medelvind mellan 0,5 m/s till ca 3 m/s. Medeltemperaturen varierade mellan mellan ca $-19,2$ till $-4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ och inga nollövergångar noterades. Den högsta temperaturen som registrerades var $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ den 13 mars, så det är möjligt att temperaturen vid något tillfälle och vissa områden varit över fryspunkten. Framförallt om ytorna blivit utsatta för sol.

Samband och bedömd orsak till de rapporterade lavinerna: Det är svårt att identifiera ett specifikt samband till skredtillfällena, förutom att det tidigare utvecklats ett tydligt svaghetsplan och snöpacken ovan svaghetslanet ligger precis i jämvikt, det vill säga de mothållande krafterna är mer eller mindre lika med de pådrivande. Det innebär att området är extremt lavinkänsligt på grund av tidigare väderförhållanden och att en lavin kan utlösas av minsta påverkan.

16-18 mars

De laviner (2 st) som rapporterades den 16 och 18 mars föregicks av lättare snöfall. Under tiden 13 till 18 mars snöade det ca 8 cm. Medelvindhastigheten dagarna för var relativt låg 1-4 m/s. Medeltemperaturen den 16 mars var $-7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, men dagarna innan gick temperaturen upp från en tidigare kallare perioden och den 18 mars var temperaturen $-14,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, men den högsta registrerade temperaturen för det dygnet var $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Alltså måste åtminstone en nollgenomgång skett under de närmsta dygnet före lavinerna

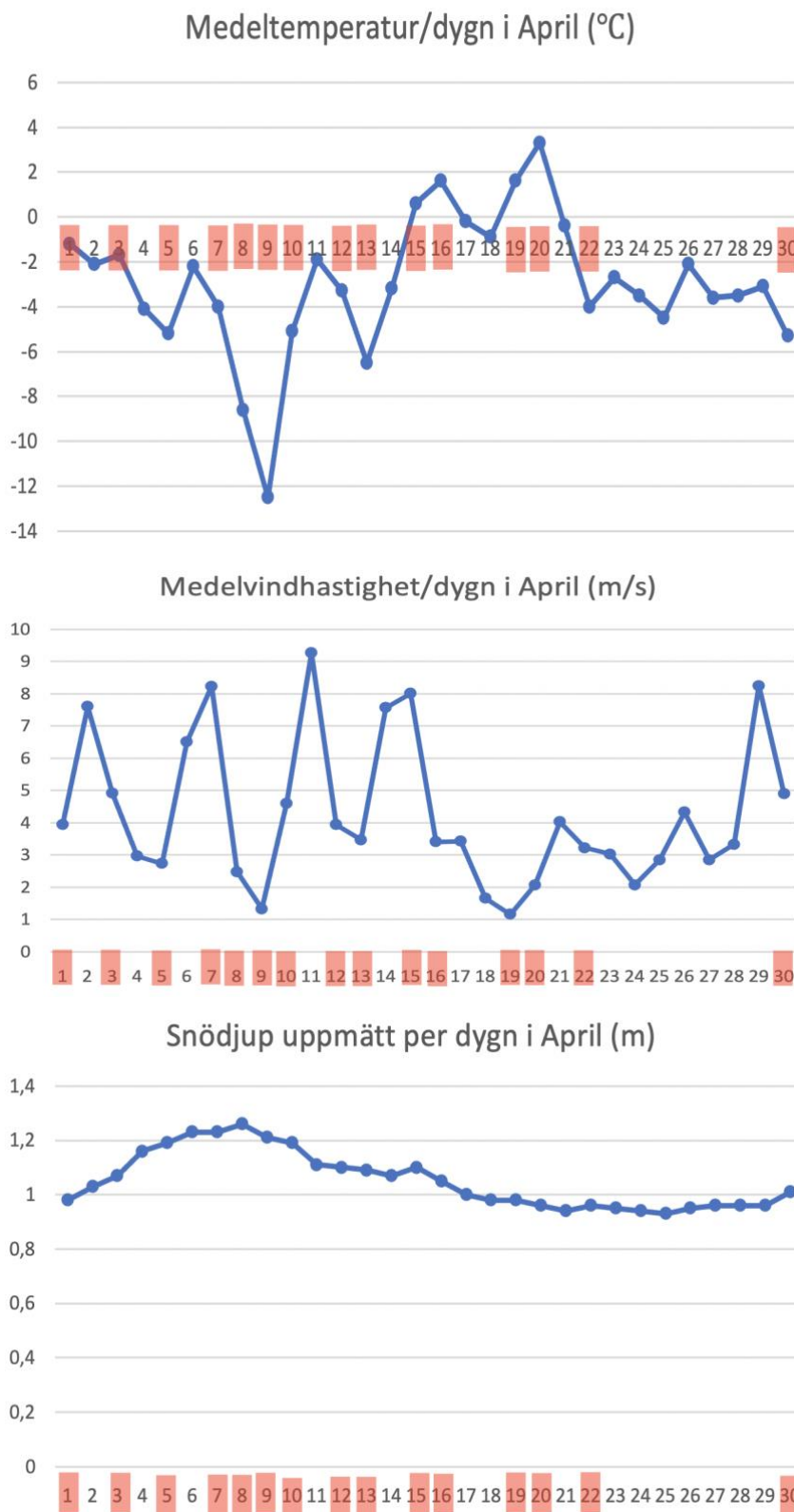
Samband och bedömd orsak till de rapporterade lavinerna: Snöpacken var sedan tidigare mycket känslig för laviner och små förändringar krävs för att en lavin skall utlösas spontant. I detta fall är en trolig orsak/samband den ökade belastningen pga. snöbelastning och en mindre förändring av snöns egenskaper på grund av temperaturväxlingar.

22-27 mars

De laviner (16 st) som rapporterades under 22 till 27 mars föregicks av ett kraftigare snöfall den 20 till 21 mars. Under perioeden föll ca 25 cm snö. Redan 18 mars började medeltemperaturen öka från -14,1 grader till ca -1 °C. Samtliga dygn efter den 18 mars och resterand månad, förutom den 27 mars, har haft nollgenomgångar. Redan en 18 mars började vindhastigheten öka föra att nå ca 8 m/s den 21 mars. Den 22 mars föll vindhastigheten plötsligt till ca 2 m/s, för att därefter stiga för att nå 9 m/s den 23 mars.

Samband och bedömd orsak till de rapporterade lavinerna: Under perioden ökade både vindhastighet, snödjup och temperatur. Det ökade snödjupet utgjorde en ökad belastning av snötäcket, detta i kombination med starka vindar som ackumulerar snö på läsidan av fjället som ytterligare belastar snötäcket. Den ökande temperaturen när snön föll och antalet nollövergångarna i samband med är också en bidragande orsak.

Laviner och väder i april



Figur 5.5 Medeltemperatur/dygn, medelvindhastighet/dygn och Snödjup uppmätt per dygn för april månad. Datumet/Dagen för lavintillfällen är markerade med röd ruta

1-5 april

De laviner (3 st) som rapporterades under perioden 1-5 april föregicks av snöfall, ca 20 cm. Och relativt kraftiga men varierande vindhastigheter 3-8 m/s. Dygnsmedeltemperaturen var relativt hög -5 °C till -1 °C, med åtminstone en nollgenomgång.

Samband och bedömd orsak till de rapporterade lavinerna: Perioden föregicks av flera nollgenomgångar under slutet av mars och medeltemperaturer över fryspunkten som påverkat snön och bildat försvagat lager med låg friktion. Den utlösande faktorn beror troligen på ökad belastning på grund av nederbörd i form av snö och höga vindar som orsakat lokalt stora ansamlingar av snö, men kan också direkt varit en del av själva initieringen genom att utgöra ett tryck över ytan.

7-10 april

De laviner (7st) som rapporterades under perioden 7-10 april föregicks av stabila väderförhållanden. Ytterligare 7 cm snö föll fram till och med en 8 april. Under perioden sjönk temperaturen till ca -12 °C och medelvindhastigheten sjönk till 1-4,5 m/s.

Samband och bedömd orsak till de rapporterade lavinerna: Nederbörden i form av snö ökade belastningen på det befintliga snötäcket. Mindre snörtransporter kan ha ägt rum vid tillfällena då vindhastigheten varit större än 4 m/s.

12-13 april

De laviner (6 st) som rapporterades den 12 och 13 april, föregicks av ökad temperatur och vindhastighet. Medelvindhastigheten var den 11 april strax över 9 m/s samtidigt som medeltemperaturen ökade till -2 °C men inga nollgenomgångar registrerades. Den 12-13 april sjönk medeltemperaturen igen till -3 °C den 12 april sjönk den ytterligare till -6 °C den 13 april. Det fortsatte blåsa men inte lika mycket, ca 4 m/s. Tillräckligt för att snörtransport.

Samband och bedömd orsak till de rapporterade lavinerna: Snöpacken var sedan tidigare mycket känslig för laviner och små förändringar krävs för att en lavin skall utlösas spontant. I detta fall är en kan en trolig orsak vara öden ökade belastningen pga. vind och ackumulering av snö.

15-16 april

Laviner (2 st) rapporterades under 15 och 16 april föregicks av ökande vind, ett lättare snöfall och ökande temperatur. Under perioden föll ca 1 cm snö och medeltemperaturen över dygnet var 1 °C respektive 3 °C. Medelvinden var den 14 och 15 april ca 8 m/s. Den 15 april mättes vindhastigheter på strax över 10 m/s.

Samband och bedömd orsak till de rapporterade lavinerna: Under perioden ökade både vindhastighet, snödjup och temperatur. Det ökade snödjupet utgjorde en ökad belastning av snötäcket, detta i kombination med starka vindar som ackumulerar snö på läsidan av fjället som ökade belastningen på snöpacken som redan var på gränsen till börja glida. En annan bidragande orsak kan vara den relativt långvariga temperaturen över fryspunkten, som kan påverka egenskaperna hos snön som pressas och packas samman och styrkan förändras.

19-22 april

De laviner (6 st) som rapporterades under perioden 19 - 22 april föregicks av ökande temperaturer. Medeltemperaturen den 19 och 20 april var ca 2 °C respektive 4 °C för att sjunka till -4 °C den 22 april. Medelvindhastigheten var låg, mellan 1 till 4 m/s. Den fyra av de sex lavinerna rapporterades den 20 april när temperaturen var som högst.

Samband och bedömd orsak till de rapporterade lavinerna: En av huvudorsaken till att den redan instabila snöpacken skredade kan ha varit den höga medeltemperaturen över dygnen, som försvagat snöns hållfasthet och gjort den mindre stark samtidigt som krafter omfördelas på grund av dynamiska röresler i snön som ökar vid högre temperaturer.

30 april

En lavin rapporterades den 30 april. Lavinen föregicks åter av lägre temperaturer, pendlande mellan -2 °C och -4 °C. Under dagarna i samband med lavinen föll 5 cm snö och vinden ökade upp till 8 m/s. Trots att medeltemperaturen var under fryspunkten genomgicks perioden före lavintillfället av flera nollgenomgångar.

Samband och bedömd orsak till de rapporterade lavinerna: Ett antal nollövergångar försvagar det underliggande lagrets egenskaper och skapar ett svaghetsplan som också blir ett glidplan. Snöfallet och vinden som ackumulerar snö överbelastar det befintliga snötäcket och svaghetsplanet kollapsar.

6 DISKUSSION

Utvecklingen av laviner är komplex och beror i huvudsak på samverkan mellan snödjup eller snarare förändring i snödjup, vindstyrka och temperatur. Alla tre faktorer samverkar i uppbyggnad av snöprofilen och dess karaktär med mer eller mindre stabila lager och svaga tunnare lager som lätt kan deformeras vid belastning som i sin tur initierar en spricka i det ovanpåliggande snölagret som börjar glida längs svaghetsplanet om den pådrivande kraften är större än den mothållande som utgörs av kohesion och friktion (Schweizer et al. 2003).

I den här studien har försök till förenklingar gjorts. Bland annat har komplexiteten i ett tidigt skede förenklats och slutsatser har dragits från förenklade antagen om lavinens utveckling beroende av snödjupets förändring, vindhastighet och temperatur när det i själva verket är en kombination som skapar förutsättningen och möjligen en specifik faktor som är huvudorsaken till själva skredögonblicket som kan vara svår att identifiera, vilket överensstämmer med det faktum att det inte finns något entydigt svar på de processer som utvecklar laviner utan det är en komplex samverkan mellan snödjup, vind och temperatur (Schweizer et al. 2003).

Även om antalet laviner troligen är många fler än de som rapporterats förutsätts att antalet laviner vid ett visst tillfälle står i proportion till rapporterade väderförhållanden.

Studien visar att ökande snödjup/ snöfall har en avgörande betydelse för laviner, vilket bekräftar att nederbörd i form av snö, framför allt i kombination med vind, är den största orsaken till utlösta laviner (Schweizer et al., 2003; McClung & Schaerer, 2006). Mer än 70% av alla rapporterade spontant utlösta laviner gick vid ett snödjup över 0,8 meter. Snödjupet var mindre än 0,8 meter till den 8 mars, fram till vilket datum ca 20 laviner rapporterats. Ett snödjup på 30–50 cm är en kritisk nivå för att utveckla en naturligt aktiverad lavin (Schweizer et al. 2003), vilket antyder att det trots relativt måttliga vindhastigheter, är vindtransporterad snö som avsatts på sluttningars läsida som under januari och fram till mitten av februari, då snötäcket nere i Katterjåkk var mindre än 36 cm. Vilket överensstämmer med att vindtransport av snö kan förflyttas redan vid måttliga vindhastigheter (Tremper 2008; Sjölander 2004). Mest snö under säsongen föll under mars månad, då också flest antal laviner rapporterades (33%), vilket åter visar det ökande snödjupets betydelse för lavinaktivitet.

Enligt studien finns en trend att flest laviner går vid måttliga temperaturer, dvs temperaturer - 7°C till 0°C, ett temperaturområde där snötäcket är mer känsligt för snabba temperaturväxlingar och framför allt pendlande över 0°C, vilket också överensstämmer med resultat från (Sjölander 2004). Nollövergångar sker frekvent under månaderna mars till maj. Men framför allt under april och maj, då medeltemperaturen över dygnet vid flera tillfällen var över 0°C. Den generellt ökade temperaturen ändrar snöns egenskaper och minskar dess stabilitet under våren (Johanson et al, 2011). Högre temperaturer medför att vatteninnehållet i snötäcket, vilket medför att skjuvhållfastheten minskar den blir mer instabil (Johanson & Ingvander 2015; Mitterer & Schweizer 2013). Generellt har under hela säsongen hastiga temperaturväxlingar förekommit frekvent, vilket bidrar till att försvaga snötäcket och aktivera laviner.

I de svenska fjällen spelar vinden en avgörande roll på snölagrets mäktighet och lavinutvecklingen. Säsongen 2021 visar på relativt moderata vindhastigheter vid Katterjåkks väderstation. Den högsta vindhastigheten som redovisas är 14,3 m/s som mättes två dagar före rapporterade laviner den 3 mars. Den högsta medelvindhastigheten/ dygn under mars var ca 10 m/s. För övrigt varierar vindhastigheten mellan ca 0–4 m/s, förutom vid tre toppar mellan då vinden varierade mellan 8–10 m/s. Men snötransport sker redan vid måttliga vindhastigheter (Tremper 2008) och vindhastigheten högre upp på fjället kan vara en helt annan, vilket bekräftas av de mätningar som redovisas av (Sjölander 2004). Det finns en trend att flest laviner under mars och april gick vid relativt höga vindhastigheter i kombination med snöfall. Under april pendlade vindhastigheten frekvent mellan 1 till ca 10 m/s, och ett stort antal laviner gick oavsett om det snöade eller inte. Det verkar gälla oavsett hur mycket eller lite det snöade, vilket bekräftar (Karlén 1983) att vindhastigheten i de svenska fjällen har mycket stor betydelse för lavinaktivitet. Under slutet av april registrerades emellertid ett antal nollgenomgångar som förvårar tolkningen av vad som är den dominerande orsaken.

Frågeställningen var bland annat om man utifrån väderdata från Katterjåkks väderstation som antagits representera hela prognosområdet, säkert kan prognostisera lavinaktivitet trots att det i fjällvärlden finns stora lokala variationer. Vindhastigheten på högre höjd och på grund av topografiska variationer kan lokalt vara betydligt högre än den redovisade från Katterjåkks väderstation. Sjöberg (2004) redovisar en skillnad på 68% mellan vindhastighet mätts nere vid Abiskos väderstation och toppen på Nuolja. Temperaturen kan variera både upp och ner liksom snödjupet på varierande altituder, men har en förändring skett i Katterjåkk antas motsvarande förändring skett inom hela prognosområdet, trots att vi vet att temperaturskillnaden i området mellan dalgång och fjälltopp kan var 10 grader (Sjölander 2004). I resonemanget runt vindhastighet förutsätter vi att snöfall i samband med mer eller mindre kraftiga vindar orsakar snödrev och snö ansamlas på sluttningar åt öster (Karlén 1983; Pyykönen 2000; Sjölander 2004).

Att besvara frågeställningen om vilken parameter som huvudsakligen aktiverar lavinen är svårare eftersom det är både korta och långa processer som bidrar till överbelastning av snötäcket. Förutsättningar vid avsättning liksom temperaturförändringar eller snötransport vid måttlig vindhastighet ändrar succesivt snötäckets stabilitet och hållfasthet som slutligen överbelastas. Tydligare är då snabba förlopp som kan aktivera lavinen, ett kraftigt snöfall, eller kraftig vind men också snabba temperaturförändringar. Faktorer som dessvärre inte agerar oberoende av varandra. Även om det är snabba förlopp brukar det ofta vara timmar till dagars fördröjning innan lavinen går (Tremper 2008; Meister 2017).

7 SLUTSATS

Om inte annat bekräftar studien att utveckling av laviner är komplex och det är svårt att under svenska förhållanden peka på en specifik ”trigger” av snödjup, vindhastighet eller temperatur som är den utlösande faktorn.

Det är tydligt att väderparametrar styr, samverkar och påverkar snöns och snöpackens egenskaper och gör den mer eller mindre stabil över tid. En instabil snösluttning kan från den ena dagen till den andra förändras från att vara stabil till att bli instabil och tvärtom.

Studien visar att det generellt finns ett tydligt samband mellan snödjup, vindstyrka och temperatur rapporterad av SMHI från väderstationen i Katterjåkk och antal spontant utlösta laviner inom hela Abisko-/Riksgränsområdets prognosområde, trots att vi vet att det förekommer stora lokala variationer. Det är uppenbart att det krävs lavinkunskap och förståelse för lokala variationer för att säkert kunna bedöma och värdera lavinrisken inom området.

Vilken parameter av snödjup, vindhastighet och temperatur som initierar lavinen låter sig inte göras lika lätt, eftersom det är både långa och korta processer som bidrar till snölagrets och dess strukturers hållfasthet och snöprofilens stabilitet. Ibland kan lavinen aktiveras av sig själv genom processer som påverkat och försvagat snölagret, eller så krävs en yttre naturlig belastning i form av snö, vind eller temperatur som gör att snötäcket överbelastas. Men tydligt är att det i huvudsak är snabba väderförändringar som aktivera lavinen oavsett om det är vindhastighet, snöfall eller vind. De två huvudsakliga och mest påtagliga orsakerna till spontant utlösta laviner är snöfall i kombination med kraftiga vindar. Det förekommer också en ökad frekvens med kraftiga vindar utan snöfall, troligen på grund av snödrev.

Det framgår också av rapporterade väderdata att antalet laviner ökar med ökad temperatur, oavsett vindstyrka och snöfall. Framåt våren när temperaturen succesivt ökar försvagas snötäcket och det framgår i studien att snabba temperaturförändringar initierar laviner, framför allt i samband med nollövergångar.

Eftersom medeltemperaturen idag i området Abisko/Riksgränsen under december, januari och februari enligt data från SMHI är betydligt kallare än temperaturökningen enligt (RCP 4.5) och nederbörden vintertid kommer öka 15–20 % samt att antalet nollgenomgångar kommer bli fler kan det betyda att åtminstone under en period fram till slutet av detta århundrade att scenariot (RCP 4.5) kan innebära ökat snödjup med större temperaturskillnader och därmed ökad lavinrisk, även om säsongen kommer bli kortare, en slutsats som också dras av bla. (Johansson & Ingvander 2015).

8 KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING

- Ancey, C. (2001) Snow Avalanches. In *Geomorphological Fluid Mechanics*, eds. N. J. Balmforth, and A. Provenzale, 319-338. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Barmark, Mimmi & Djurfeldt, G. (2020) *Statistisk verktygslåda 0: att förstå och förändra världen med siffror*. Andra upplagan Lund: Studentlitteratur
- BC NRS, (2011) Avalanche Safety Plan. British Columbia Public Service Natural Resource Sector for General Wilderness Activities, Report.
- Bellaire, Sascha. (2013) Forecasting the formation of critical snow layers using a coupled snow cover and weather model. Diss, University of Calgary, AB, Canada.
DOI:[10.1016/j.coldregions.2013.06.007](https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2013.06.007)
- Berglöv. G., Asp. M., Berggren-Clausen. S., Björck. E., Axén Mårtensson. J., Nylén. L., Ohlsson. A., Persson. H., Sjökvist, E. (2015) Framtidsklimat i Västerbottens län- enligt RCP- scenarier. SMHI rapport Klimatologi 33
- Conway, H., Raymond C.F. (1993) Snow stability during rain, *Journal of Glaciology*, Vol. 39 No. 133
- Eliasson, A. (2018) *Kvantitativ metod från början*. Fjärde upplagan Lund: Studentlitteratur
- Eidevåg, T., Thomson, E.S., Kallin, D., Casselgren, J., Rasmuson, A. (2022) Angle of repose of snow: An experimental study on cohesive properties. *Cold Region Science and Technology* 194 (103462)
- Getis, Arthur, Bjelland, Mark D. & Getis, V. (2018) *Introduction to geography*. Fifteenth ed. New York: McGraw-hill Education
- Johansson, C., Pohjola, V.A., Jonasson, C. & Callaghan, T.V. (2011) Multi-decadal changes in snow characteristics in sub- Arctic Sweden. *Ambio* 40, 566-574.
- Johansson, C., Ingvander, S., (2015) A model for snow water equivalent derived from stratigraphy observations in northern Sweden, *Hydrology Research* 46.6
- Karlén, W (1983): Snö och laviner - om lavinfara, hjälpmedel, räddning m.m., Naturvårdsverkets rapport 1655

- Laute, Katja & Beylich A, Achim. (2018) Potential effects of climate change on future snow avalanche activity in western Norway deduced from meteorological data.
<https://doi.org/10.1080/04353676.2018.1425622>
- Matiu, M. (2021) Observed snow depth trends in the European Alps: 1971 to 2019, *The Cryosphere*, 15, 1343–1382, <https://doi.org/10.5194/tc-15-1343-2021>, 2021.
- McClung, D. & Schaerer, P. A. (2006) *The avalanche handbook*. 2nd ed. Seattle: MountaineersBooks
- McCollister, C., Birkeland, k. (2018). Using Geographic System for Avalanche Work. *The Avalanche Review*, Vol. 24, No. 4
- Meister, R. (2017) Influence of Strong Winds on Snow Distribution and Avalanche. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch, CH-7260 Davos, Switzerland
- Mitterer, C., Schweizer, J., (2013) Analysis of the snow-atmosphere energy balance during wet-snow instabilities and implications for avalanche prediction. *The Cryosphere*, 7, 205-216. www.the-cryosphere.net/7/205/3013. Doi:10.5194/tc-7-205-2013.
- Mårtensson, S. Heyman, E., Johansson M., Norén, H., Kllin, K. och Backlund, M., (2002) Projekttering/ rekognisering för aktivt lavinskydd på Nulja, Abiso Turisstation STF AB och Banverket- Norra Banregionen, Rapport
- Mårtensson, S., (2013) The Ski Resort Who Cried Wolf, Swedish Historical Public valanche Information on the Impact of Different Generation Danger Scales, Nordisk konferens om snoskred og friluftsliv.
- Mårtensson, S., Palmgren, P., (2014) Behovsutredning avseende lavinprognoser för svenska fjällkedjan, Råder det brist på relevant information om när och var det är lavinfarligt i Sverige. Forskningsrapport Luleå Tekniska Universitet (LTU).
- Mårtensson, S., Wikberg P-O., Palmgren, P. (2013) Swedish skiers knowledge, experience and attitudes towards off-piste skiing and avalanches. Conf. International Snow Workshop Grenoble – Chamonix Mont-Blanc
- Mårtensson, S. (2014) *Svenska offpistiskidåkares förutsättningar att hantera lavinfara, Individuella och kontextuella faktorerers påverkan på risktagande*, Lic. uppsats, Luleå Teknisk Universitet (LTU).

- Naturvårdsverket, Lavinprognoser. (2021) *Säsongsrapport Lavinprognoser*.
<https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/8800/978-91-620-8880-4>
- Nåfält, S., (2016) Assessing avalanche risk by terrain analysis, An Experimental GIS-approach to The Avalanche Terrain Exposure Scale (ATES), Lunds Universitet.
- Palmgren, P., Mårtensson, S., Johansson, M. (2012) *Lavinprognoser för svenska fjällen, Utvärdering av ett utvecklingsprojekt vintern 2011 och 2012*. Naturvårdsverket rapport 6535
- Perla, R., Martinelli, Jr. (1975) *Avalanche Handbook, Alpine Snow and Avalanche Research Project*, US Dep. Agric. Handb. 489, 254 p.
- Pinzer, P. R., Schneebeli (2009) Snow metamorphism under alternating temperature gradients: Morphology and recrystallization in surface snow. *Geophysical Research letters*, vol. 36, L23503, doi:10.1029/2009GL039618,20029.
- Pyykönen M (2000) *Lavinfarliga områden i fjällen – fallstudie med GIS i Abisko – Riksgränsen*, Naturvårdsverkets Rapport 5120, Fjällsäkerhetsrådet
- Pyykönen, M. (2000) *Lavinfarliga områden i fjällen, Fallstudier med GIS i Abisko – Riksgränsen*, Uppsala universitet, ISBN 91-620-5120-2, 2000/10
- Reuter, B., Viallon_Galinier, L., Horton, S., Herwijnen, A. Mayer, S., Hagenmuller, P., Morin, S. (2022) Characterizing snow instability with avalanche problem types derived from snow cover simulations. *Cold Regions Science and Technology* 194 (103462)
- Sjökvist, E., Axén Mårtensson, J., Dahné, J., Köplin, N., Björck, E., Nylén, L., Berglöv G., Tengdelius Brunell, J., Nordborg, D., Hallberg, K., Södling, J., Berggreen Clausen, S. (2015) *Klimatscenarier för Sverige - Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier*. SMHI rapport Klimatologi 15.
- Sjölander, S. (2004). *Vindens och temperaturens förhållande till lavinaktivitet på fjället Nuolja*, Abisko. M.Sc., thesis, Departement of Geophysical Geography, Göteborgs Uni.
- Smith, Keith (2013). *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. 6th ed. Milton Park, Abingdon, Oxon: Routledge
- Schweizer, J., Jamieson, J. B., and Schneebeli, M. (2003). Snow avalanche formation. *Rev. Geophys.* 41:1016. doi: 10.1029/2002RG000123

- Schweizer, J. 2008. Characteristics of wet-snow avalanche activity: 20 years of observation from a high alpine valley (Dischma, Switzerland). WSL institute Snow and Avalanche Research SLF. DOI:[10.1007/s11069-008-9322-7](https://doi.org/10.1007/s11069-008-9322-7)
- Schweizer, J., Kronholm, K., Jamieson, B., Birkeland K.W. (2008) Review of spatial variability of snowpack properties and its importance for avalanche formation. *Cold Region Science and Technology* 51 (2008) 253-272
- Strapatzon. G., Schweizer. J., Chiambretti. I., Brodman Maeder. M., Brugger. H., Zafren. K. (2021) Effects of Climate Change on Avalanche Accidents and Survival. *Frontiers in Physiology* 12 (639433)
- Stoffel. M., Bartelt. P. (2003) Modelling Snow Slab Release Using Temperature Dependent Viscoelastic Finite Element Model with Weak Layers. *Surveys in Geophysics* 24 417-430
- Tremper, B (2008). *Staying Alive in Avalanche Terrain*. 2nd ed. Seattle: The Mountaineers Books
- Wikberg. P-O., Palmgren. P. (2016). *Etablering av lavinprognoser för svenska fjällen*, Statusrapport Naturvårdsverket

Internet

- EAWS. 2021. AVALANCHE DANGER SCALE
<https://www.avalanches.org/standards/avalanche-danger-scale/> (Hämtad 2022-04-05).
- Fjällsäkerhetsrådet. (2022). Fakta om laviner. <https://www.fjallsakerhetsradet.se/vader-och-prognoser/fakta-om-laviner/> (Hämtad 2022-04-12)
- General Assembly of EAWS. 2017. Typical avalanche problems, approved by General Assembly of EAWS. https://www.avalanches.org/wp-content/uploads/2019/05/Typical_avalanche_problems-EAWS.pdf (Hämtad 2022-04-12)
- Mt Kalmont. (2022). *Types of Avalanches*.
http://www.sfu.ca/~yla312/IAT%20235/P04_week%2013/what-is-avalanche.html
(hämtad 2022-04-15)
- Naturvårdsverket/ Lavinprognoser (2021). Säsongsrapport Lavinprognoser, Vintern 2020/2021. Naturvårdsverket/ Lavinprognoser
- Naturvårdsverkets Lavinprognoser. (2022). Lavinprognoser.
<https://www.lavinprognoser.se/> (Hämtad 2022-04-12)

SMHI: a. (2022). Enkel klimatscenariotjänst. https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/enkel-scenariotjanst/norrbottnens_lan/medelnederbord/rcp45/2011-2040. (Hämtad: 2022-04-12)

SMHI: b. (2022). Ladda ner meteorologiska observationer. <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airtemperatureInstant,stations=core> (Hämtad: 2022-04-20)

SMHI: c. (2022). Kunskapsbanken. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/sno-och-isfenomen/laviner> (Hämtad: 2022-04-20)

SMHI: d (2022). Våren 2021-Få rejäla värmeperioder. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/arets-vader/varen-2021-fa-rejala-varmeperioder-1.171821>. (Hämtad: 2022-06-19)

SMHI: e (2022). För årstiden rekordsnödjun i Riksgränsfjällen. <https://www.smhi.se/bloggar/vaderleken-2-3336/for-arstiden-rekordsnodjup-i-riksgransfjallen-1.160567> (Hämtad: 2022-06-19)

Sveriges lavinutbildningar. 2019. *Fakta om laviner*. <http://svelav.se/lavinkunskap/lavinkunskap/grundkurs/del-2/> (Hämtad 2022-04-05)