

Overvåking av snødrift

Snødriftdata som beslutningsgrunnlag for stedsspesifikk
snøskredvarsling

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 1003



Tittel

Overvåking av snødrift

Undertittel

Snødriftdata som beslutningsgrunnlag for stedsspesifikk snøskredvarsling

Forfatter

Siiri Wickström og Nils Arne K. Walberg

Avdeling

Fagressurs Drift og vedlikehold

Seksjon

Geofag Drift og vedlikehold 2

Prosjektnummer

C13389

Rapportnummer

1003

Prosjektleder

Tore Humstad

Godkjent av

Tore Humstad

Emneord

snøskred, snødrift, fokksnø, snøfokk

Sammendrag

Vindtransport av snø (snødrift), er en viktig utløsende faktor for snøskred, spesielt i terreng over tregrensen. Det finnes i dag få, om noen, målestasjoner for snødrift i forbindelse med skredvarslingsanlegg og fjelloverganger i Norge.

I samarbeid med Statens vegvesen og Innlandet fylkeskommune, vinteren 2022/2023, installerte og driftet Skred AS en målestasjon for snødrift ved fv. 53 Tyin-Årdal.

Som en konseptutprøving ble data benyttet i det daglige arbeidet med stedsspesifikk snøskredvarsling og planlegging av skredkontroll for fv. 53 Tyin-Årdal.

Rapporten er skrevet av Skred AS.

Title

Snowdrift monitoring

Subtitle

Snowdrift data as basis for decision-making in site-specific avalanche warning

Author

Siiri Wickström og Nils Arne K. Walberg

Department

O&M Planning and Engineering Services

Section

O&M Geomechanics

Project number

C13389

Report number

1003

Project manager

Tore Humstad

Approved by

Tore Humstad

Key words

snow avalanches, snowdrift

Summary

Wind transport of snow (snowdrift) is an important triggering factor for avalanches, especially in terrain above the tree line. Today there are few, if any, local snowdrift stations for avalanche warning systems and mountain passes in Norway.

In collaboration with the Norwegian Public Roads Administration and Innlandet County, in the winter of 2022/2023, Skred AS installed and operated a snowdrift station at county road 53 between Tyin and Årdal, as a proof of concept.

Data from the station was used in the daily work with site-specific avalanche warning and planning of avalanche control for the road.

The report is written by Skred AS.

Oppdragsgiver	Navn	Kontaktperson
	Statens vegvesen / Innlandet fylkeskommune	Tore Humstad (SVV) / Marius Y. Meland (IFK)
Oppdrag	Nummer og navn	Oppdragsleder
	22503, FoU Snødrift – måling av snødrift	Nils Arne Walberg
Dokument	Nummer	Dato
	22503-02-1	2023-10-06
	Utført av	Kontrollert av
	Siiri Wickström, Nils Arne K. Walberg	Pål Lohne

Versjon	Dato	Utført	Kontroll	Beskrivelse
1	2023-10-06	NAKW & SW	PL	Original

Snødriftsensor – Snødrift som beslutningsverktøy for lokal skredvarsling

Sammendrag

Vindtransport av snø, heretter kalt snødrift, er en viktig utløsende faktor for snøskred, spesielt i høyfjellsområder over skoggrensen. Akkumulert snødrift over tid, eller kortvarig kraftig snødrift i forbindelse med uvær, kan transportere betydelige mengder snø inn i leheng, og lokalt føre til økt skredfare og skred på vei. Snødrift er i tillegg en ressurs- og kostnadskrevende prosess i drift av vinterveier i Norge.

Det finnes i dag få, om noen, lokale målestasjoner for snødrift i forbindelse med lokale skredvarslingsanlegg og høyfjellsoverganger på fastlands Norge. Dette til tross for at det over tid har vært tilgjengelig sensorer for måling av snødrift, og denne brukes aktivt i infrastrukturprosjekter i andre land. Skred AS, i samarbeid med Statens vegvesen og Innlandet fylkeskommune, har gjennom vinteren 2022/23 installert og driftet en målestasjon for snødrift ved fv. 53 Tyin-Årdal. Data fra stasjonen er aktivt benyttet i det daglige arbeidet med stedsspesifikk snøskredvarsling og planlegging av skredkontroll for fv. 53 Tyin-Årdal som Skred AS utfører på oppdrag fra Innlandet fylkeskommune. Formålet med prosjektet er å skaffe praktisk erfaring med installasjon og drift gjennom vinteren, samt anvendelse av måledataene opp mot stedsspesifikk skredvarsling gjennom vinteren 2022/23, og hvordan dette kan kobles opp mot snøskredrelaterte problemstillinger ifm. infrastruktur. Prosjektet er gjennomført av Skred AS, Statens vegvesen og Innlandet fylkeskommune innenfor rammeverket for direkte tildeling.

Innhold

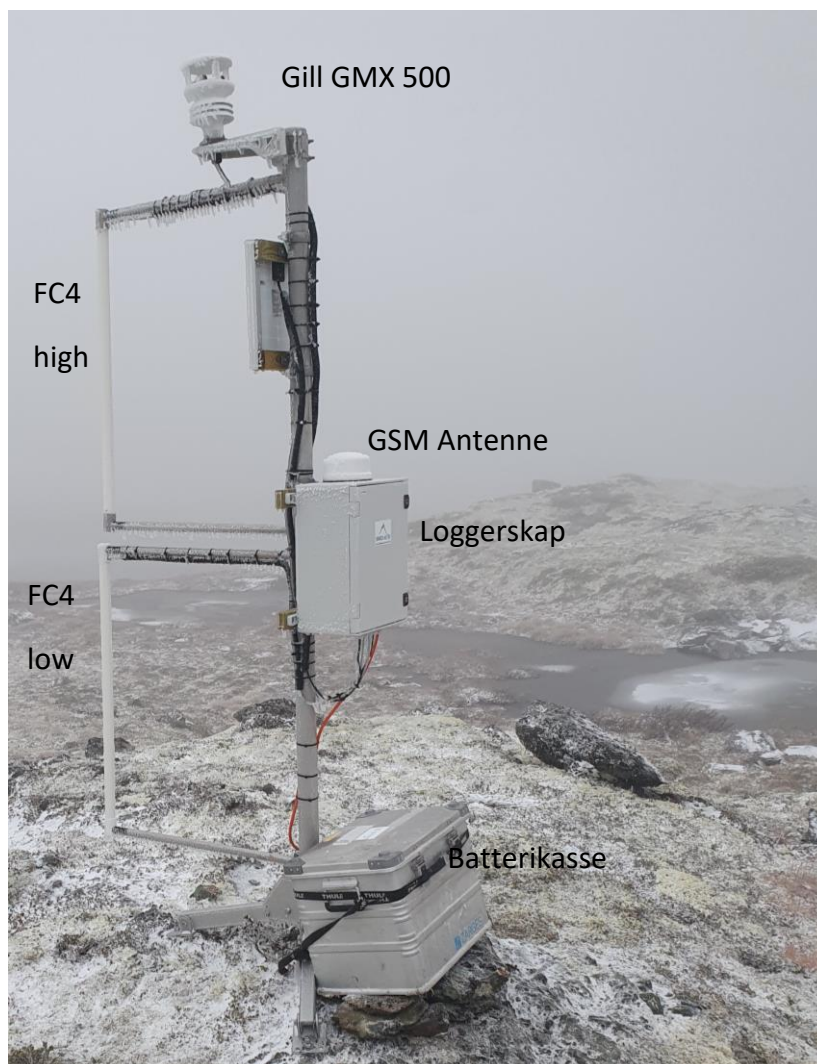
1	Innledning.....	3
2	Sensoroppsett	3
2.1	Snødrift	4
2.2	Vind.....	4
2.3	Loggersystem og dataflyt	4
2.4	Batteri og solcelle	4
2.5	Lokalitet	5
3	Erfaringer.....	6
3.1	Installasjon og plassering i felt	6
3.2	Sensor, batteri og loggeroppsett.....	6
3.3	Dataflyt	6
3.4	Lokal meteorologi (ising på sensor).....	6
4	Data og analyser.....	7
4.1	Data.....	7
4.2	Snødrift og vind	10
4.3	Snødrift og skredhendelser	13
4.3.1	Generelt.....	13
4.3.2	Naturlige skredhendelser over vei 10. februar	15
4.3.3	Aktiv skredkontroll 21. februar	17
4.3.4	Aktiv skredkontroll 30. april	21
4.3.5	Akkumulert snødrift per hendelse	24
4.4	Teoretisk snødrift sammenlignet med direkte målinger.....	24
5	Diskusjon og videre arbeid	27
6	Referanser	28

1 Innledning

Skred AS, i samarbeid med Statens vegvesen og Innlandet fylkeskommune, har gjennom vinteren 2022/23 installert og driftet en målestasjon for snødrift ved fv. 53 Tyin-Årdal. Data fra stasjonen er aktivt benyttet i det daglige arbeidet med stedsspesifikk snøskredvarsling og planlegging av skredkontroll for fv. 53 Tyin-Årdal, som Skred AS utfører på oppdrag fra Innlandet fylkeskommune. Denne rapporten oppsummerer erfaringene igjennom vintersesongen 2022/23, knyttet til praktisk installasjon, datakvalitet og nytteverdi. I tillegg inneholder rapporten forslag til framtidig utvikling og ytterligere testing.

2 Sensoroppsett

Målesystemet består av en Gill GMX kompakt værstasjon som måler temperatur, luftfuktighet, vindhastighet og -retning, samt 2 stk ISAW Flowcapt sensor (FC4) plassert over hverandre (0-1 m over bakken, og 1-2 m over bakken). Dataene blir samlet inn ved bruk av en Campbell Scientific datalogger. Sensor og logger får strøm via 12 V batteri som lades ved hjelp av solcelle.

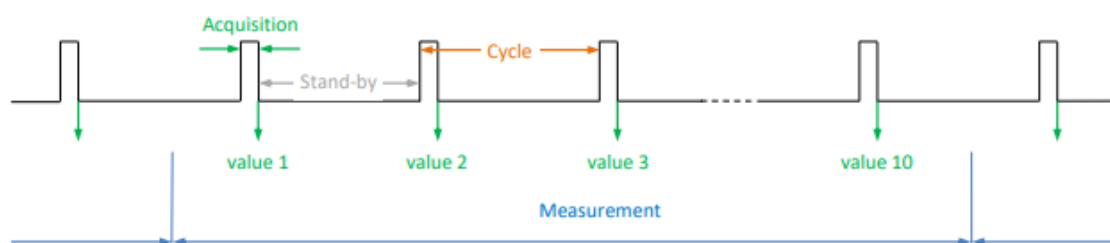


Figur 1: Oversikt over installasjon. Bilde er tatt 15.11.2022 (Foto: Skred AS).

2.1 Snødrift

For å måle vinddrift er sensoren [Flow Capt 4 \(FC4\)](#) fra ISAW benyttet. FC4 er en akustisk sensor som måler intensiteten av partikkelfluks (solid particle flux intensity) og vindhastighet. Sensoren har ingen bevegelige deler, og har et relativt lavt strømforbruk som gjør at den egner seg for stasjoner med begrenset strømtilgang.

Sensoren er satt opp til å måle aktivt 6 sekunder hvert minutt, for deretter å sammenstille gjennomsnitts-, maximums- og minimumsverdier for 10 minutters perioder, se Figur 2 . Dette gjør at vi får et svært reelt situasjonsbilde av pågående væraktivitet sammenliknet med om vi f.eks. gjør en enkeltmåling hvert 10 minutt.



Measurement settings	Description	Default value
Acquisition duration [A]	True observation time of the physical phenomena, also called <i>time integration window</i> .	6 seconds
Cycle duration [C]	Sum of the acquisition duration and a stand-by duration.	1 minute
Measurement duration [M]	Reading/writing data interval, called <i>averaging duration</i> .	10 minutes
Duty cycle	Ratio between acquisition duration and cycle duration, i.e. fraction of time in which the sensor is effectively active.	10%

Figur 2: Måleintervall for FC4 sensoren (ISAW, 2021, s. 11)

2.2 Vind

For vindmålinger er MaxiMet GMX 500 Compact Weather Station fra Gill Instruments benyttet. Sensoren måler vindhastighet og -retning med ultrasonisk sensor og elektronisk kompass. I tillegg måler sensoren temperatur, lufttrykk og luftfuktighet. Fordelen med sensoren er at den ikke har bevegelige deler som kan gå i stykker i alpint terreng grunnet kraftig vind, ising etc. Sensoren er festet på toppen av masten (ca. 2,5 m) på en tilhørende sidemontert festebrakett.

Måleintervall på sensoren er tilpasset FC4 sensoren, slik at vi har data fra samme tidsperioder.

2.3 Loggersystem og dataflyt

Dataloggeren CR350-Cell215 fra Campbell Scientific er benyttet for innsamling av måledata. Måledataene sendes via 4G/5G mobilnettet (Telenor) til en lokal FTP server.

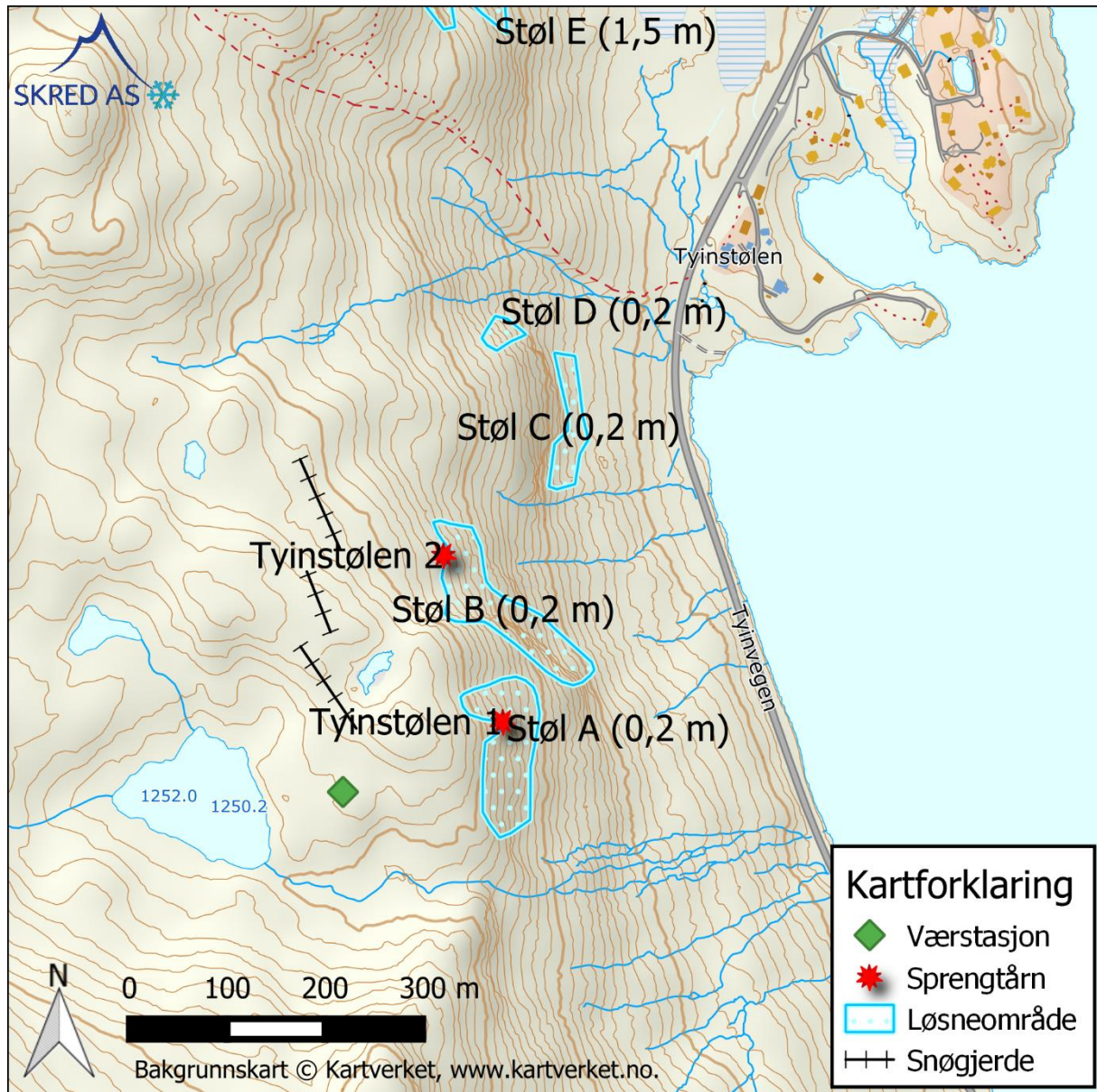
For visning og analyse av måledata igjennom sesongen er Grafana benyttet.

2.4 Batteri og solcelle

Det ble benyttet et 12 V Litium batteri på 100Ah, samt et lite solpanel på 10W.

2.5 Lokalitet

Målestasjonen er plassert sør for snøgjerdene som står ovenfor bratthenget ved skredtårnene Støl 1 og 2 ved Tyinstølen. Stasjonen står på en liten forhøyning (ca. 1260 moh.) i terrenget øst for navnløst tjern (1250 moh.) og nord for forsenkningen som danner bekke draget som drenerer tjernet. Nærmeste skredtårn er Støl 1 og nærmeste skredbaner er Støl A, samt Galden rygg, Galden brattheng og Galden skavl som alle ligger ved utløpet av nevnte forsenkning.



Figur 3: Plassering av værstasjon med snødriftmålinger ved Tyinstølen. Tall i parentes indikerer kritisk bruddkanthøyde for at skred skal treffe vei.

3 Erfaringer

3.1 Installasjon og plassering i felt

Sensorene, koblingsskap og solcellen ble installert av Skred AS på medfølgende mast fra produsent av FC4, og det trengtes derfor ingen tilpasninger. Det at masten kommer i lengder av ca. 1 m gjør at frakt og montering enkelt. Med et «mounting kit» fra sensorleverandøren kan også sensoren installeres på de fleste eksisterende master og stolper.

Utstyret, inkl. verktøy, ble fraktet av to personer fra veien og opp til fots, men det anbefales å benytte terrenggående kjøretøy eller helikopter, selv for slike korte turer. Installasjon bør gjøres på barmark for å enklest mulig finne en ideell plassering med godt feste for bolter. Armene sensorene festes på ble orientert på en slik måte at de ikke ville havne i le for solcelle, batterikasse og loggerskap under dominerende vindretning. Dette for å minimere potensiell påvirkning på måledataene.

Kjennskap til lokal topografi og fordeling av snø i terrenget vinterstid er en fordel for å sikre at snødriftsensoren ikke snør ned ved store nedbørmengder. Sensoren bør plasseres i et område hvor snø forventes å bli transportert, men ikke avlagret. Sensoren bør heller ikke plasseres i et område hvor det forventes mye turbulens, f.eks. på toppen eller lesiden av en rygg.

Dersom man mangler kunnskap om de lokale snø- og vindforholdene vurderer vi at det kan gi mening å modellere snødrift fra spesielt dominerende vindretninger i forkant av installasjon. En god plassering vil øke verdien av målingene, mens en dårlig plassering i felt kan gjøre at nytteverdien av sensoren faller bort, da den ikke vil fange opp værhendelser av interesse.

3.2 Sensor, batteri og loggeroppsett

I frykt for at solcellen fysisk skulle skjerme vinddriftsensoren, begrenset høyde på masten og kort planleggingstid før installasjon ble en fysisk liten solcelle installert (10W). Denne hadde nok ikke tilstrekkelig effekt til å lade batteriet igjennom vinteren, og vi måtte utføre et batteribytte i månedsskiftet januar/februar. Ved videre drift anbefaler Skred AS å bytte ut solcellepanelet til ett med tilstrekkelig effekt.

3.3 Dataflyt

Loggeren har sendt data til Skred AS sin ftp-server via mobilt nettverk fra Telenor. Dette har fungert bra i prosjektperioden, og vi har ikke hatt problemer med kommunikasjon.

3.4 Lokal meteorologi (ising på sensor)

Første del av sesongen hadde vi problemer med manglende data fra Gill vindsensoren, antatt grunnet ising på sensor. Før isen på Tyinsjøen la seg er det høy luftfuktighet, noe som førte til kraftig ising på sensorene. Vi var oppe flere ganger, bl.a. for å forsøke å fjerne isen med varmepistol, men dette var ingen suksess. Når isen la seg på sjøen forsvant isen relativt fort fra sensorene, og vi hadde vesentlig mindre problemer igjennom sen vinteren. FC4 sensoren ga også data for vindstyrke i denne perioden, slik at vi hadde data for vindstyrke, men ikke retning. Dette ga en viss robusthet / redundans for vindmålinger.

På samme måte som vindsensoren så har vi observert is på FC4 sensoren. Vi har hatt dialog med leverandør hvordan kraftig ising er kjent å påvirke måledata. Ettersom snøfluks er en fysisk interaksjon mellom partikler og sensor, så antas det at et solid islag uten luftlommer ikke påvirker/demper interaksjonen i vesentlig grad. Dessuten, hvis ledningen dempes litt, kan man tenke seg at dette kompenseres litt av økningen i størrelsen på hindringen (størrelsen på sensoren med isen er større enn størrelsen på sensoren i seg selv). Sånn sett kan man anta at isen til slutt ikke endrer følsomheten til sensoren mye.

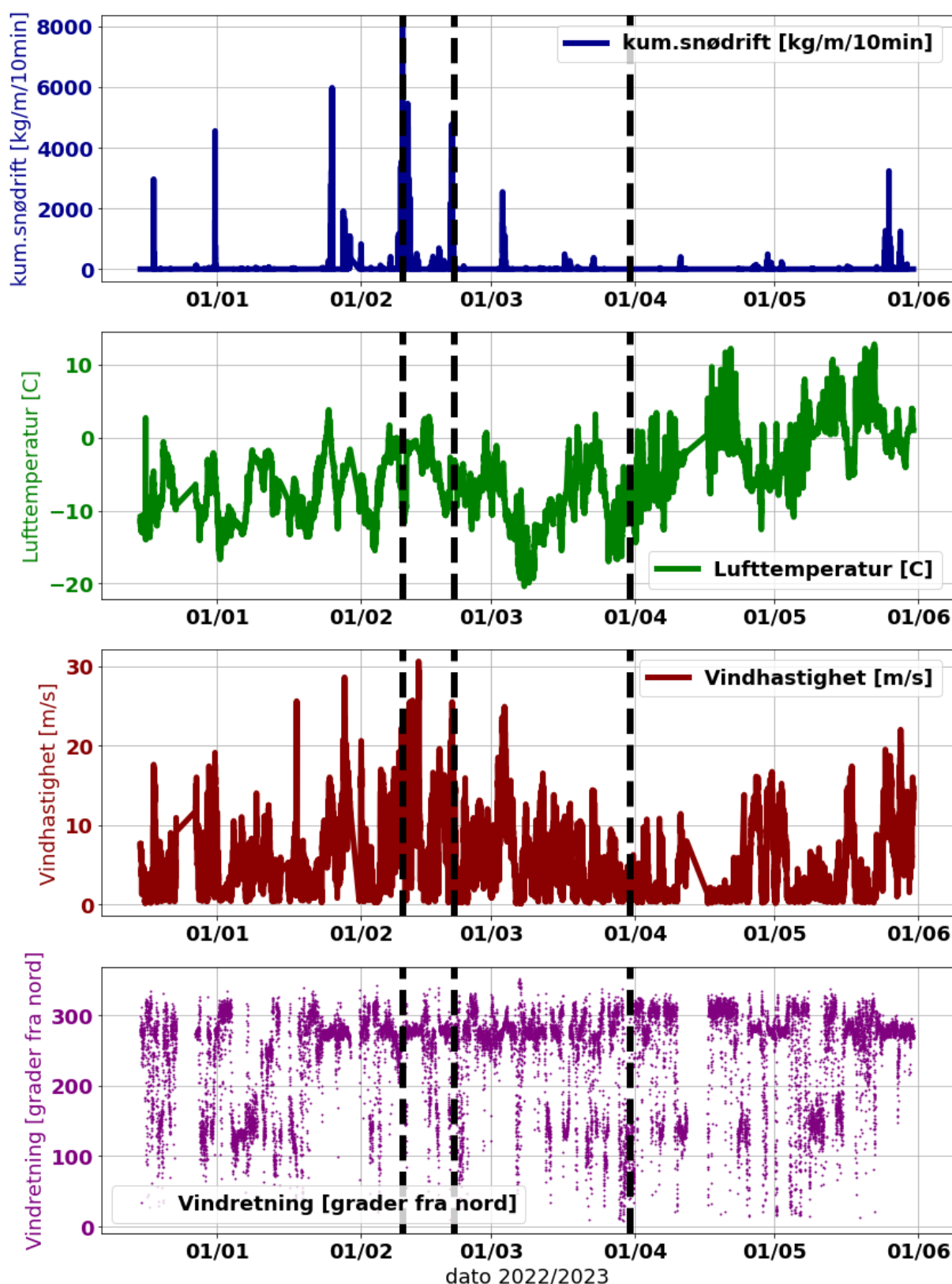
På den andre siden vil et ekstra grensesnitt (is – metall) føre til at ledningsevnen/signalstyrken som måles er avhengig av tilstanden til denne overgangen. F.eks. vil vann i grensesnittet under perioder hvor metallet varmes opp og fører til at isen smelter føre til kraftig demping av signal. Det samme vil gjelde dersom isen inneholder hulrom og luftlommer. Erfaringene til leverandøren er likevel at de svært sjelden under målinger i felt opplever at fluks- eller vindsignalene faller kraftig eller får en vesentlig endring i dynamikk. Dette gjelder også en rekke målestasjoner i Antarktis, og er en indikasjon på at sensorens oppførsel forblir ganske stabil, også under ising (Critin, 2022).

4 Data og analyser

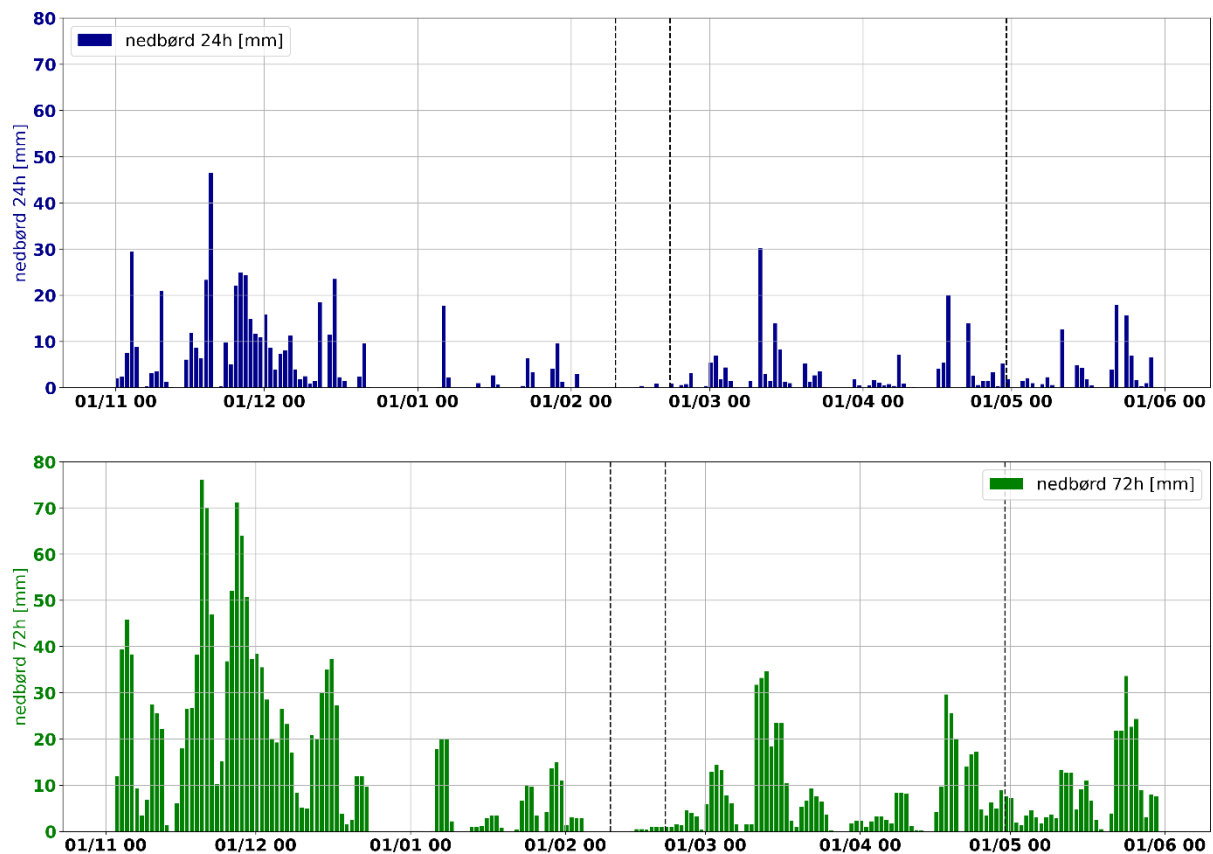
4.1 Data

Figur 4 og Figur 5 viser en sammenstilling av henholdsvis lokale måledata og SeNorge interpolerte data (NVE, 2023) som er brukt til videre analyse. Vertikale stiplede linjer representerer skredhendelser 10. feb., 21. feb. og 31. mars som blir nærmere presentert i kapittel 3.6

For videre analyse har vi benyttet måledata for vind og snødrift fra perioden 15. desember 2022 til 31. mai 2023. Data fra november og første halvdel av desember er utelatt da vi ikke hadde komplette data for alle parametere grunnet problemer med ising på tidligvinteren som ikke ga målinger for vindretning.



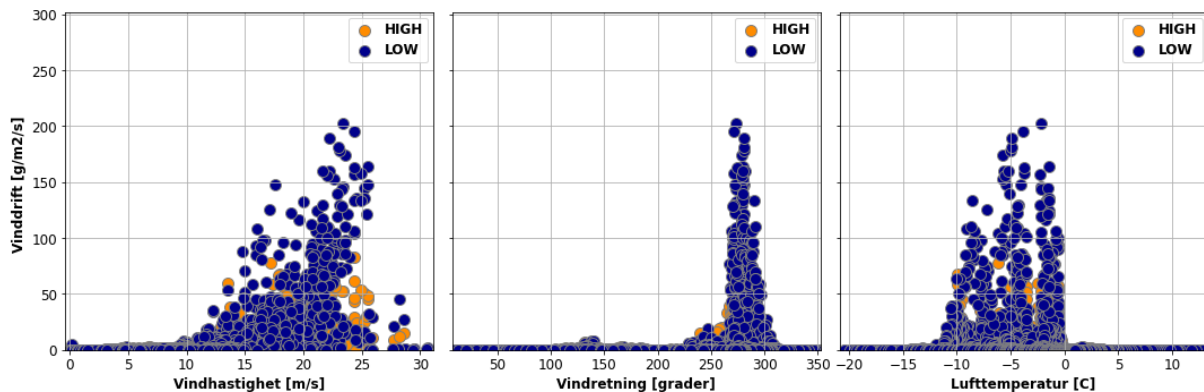
Figur 4 Observert tidsserie av akkumulert snødrift [kg/m²/10min] (1. fra toppen), 2-meter lufttemperatur [°C] (2), vindhastighet [m/s] (3), vindretning [grader fra nord] (4) fra værstasjonen for vintersesongen 2022/2023 (desember-mai). Første dato er 15.12.2022. Vertikale stiplede linjer representerer skredhendelser som blir presentert i kapittel 3.6.



Figur 5 Nedbør fra SeNorge-griddatasetet (NVE 2023) med 24h akkumulert nedbør i og 3-døgns akkumulert nedbør i [mm] under. Aall data er fra gridpunktet nærmest værstasjonen på Tyn. De vertikale stiplede linjene indikerer skredhendelser som presenteres nærmere i kapittel 4.3.

4.2 Snødrift og vind

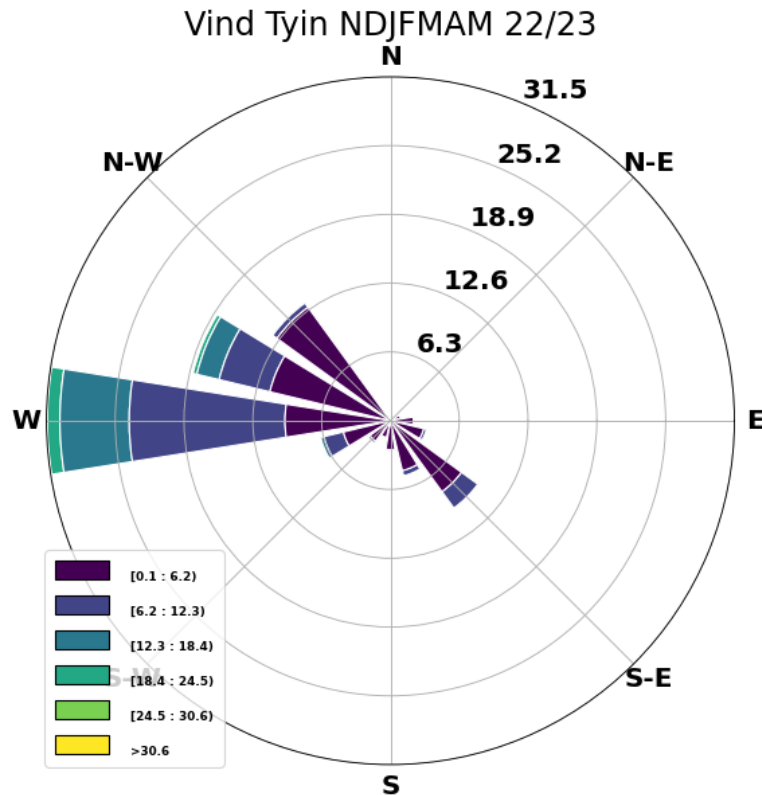
Skred AS har sammenliknet dataene fra snødriftsensorene (high and low) og vindsensoren (hastighet og retning) og temperaturmåleren. Dataene er oppsummert i Figur 6. Figuren viser målt snødrift med enheten gram snø per kvadratmeter per sekund [$\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$].



Figur 6: Figuren viser vinddrift i gram snø per m^2 per s fra FlowCapt sensoren. Øvre sensor (HIGH) er markert med oransje sirkler og nedre sensor (LOW) med blå sirkler. Snødrift er vist som en funksjon av a) Vindhastighet i m/s b) Vindretning i grader (0/180 grader er vind nord/sør) og c) 2 meter lufttemperatur. Alle verdiene er middelerverdier for 10 minutter i tidsrommet 15.12.2022 og 1.6 2023

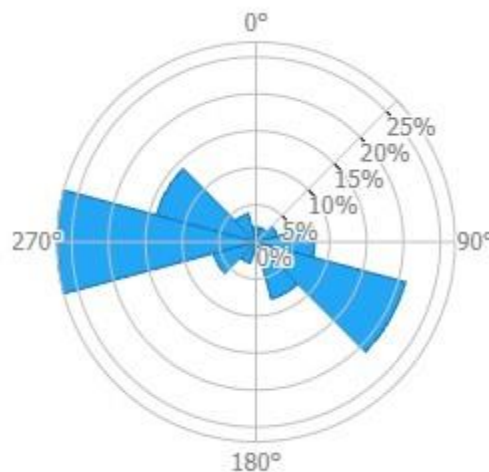
Vår analyse viser at:

- Snødriftmålingene fra FlowCapt 4 viser terskelverdi for vindtransport på ca. 10 m/s (Figur 6a). Dette er noe høyere en klassiske tabellverdier, men viser at sensoren gir realistiske data. Årsaken til den høyere terskelverdien kan være at sensoren står på en liten forhøyning, og at vindtransport av snø ved lavere vindhastigheter følger lokaltopografien i dalsøkket på nedsiden.
- Vindtransporten øker opp til full storm (25 m/s) og den målte maks verdien var rundt $200 \text{ g}/\text{m}^2/\text{s}$.
- Vindhastigheter over 25 m/s viser avtakende vindtransport av snø. Dette er sannsynligvis på grunn av at snøoverflaten allerede i stor grad er avblåst og dermed hard før disse maks vindstyrkene inntreffer.
- Mest snødrift ble målt med vind fra nordvestlig sektor (250 til 320 grader). Dette stemmer bra med plassering av sensor og lokaltopografi. Figur 7 viser fordelingen på vind som ble målt gjennom vinteren 22/23, hvor vinddata er fra Gill sensoren øverst på masten.
- Vinddrift ble målt i temperaturer mellom -12 og 0 grader. Dette er også det temperaturområde som erfaringsmessig gir mest nedbør som snø.



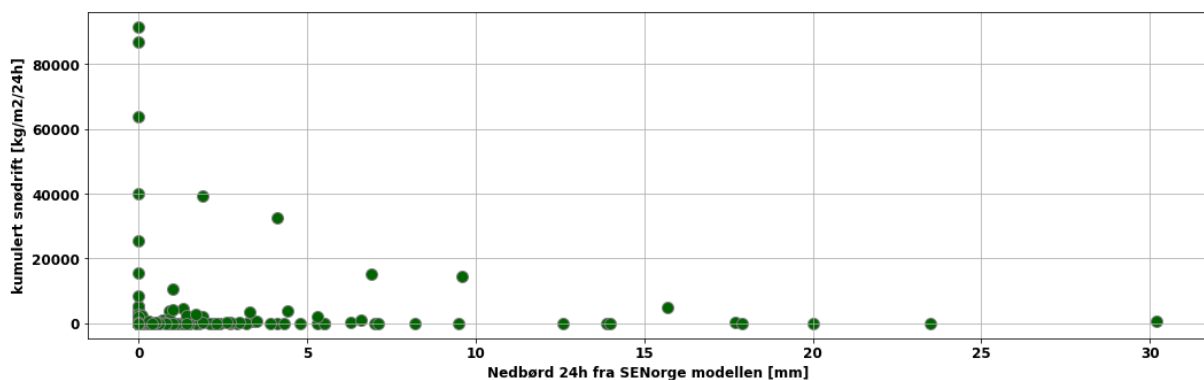
Figur 7: Vindrose som viser fordelingen i % (på radial akselen) av observerte vindhastigheter fargekodet i [m/s] og vindretninger [kardinal retning] i snøsesongen 22/23 (15.desember – 31. mai).

- Dominerende vindretning er fra vest (V, 31.5%) og nordvest (NV, 18%). Det er også V og NV vind som har de høyeste målte vindhastighetene.
- Det ble nesten ikke målt vind fra nord og nordøst. Dette stemmer bra med modellert vinddata fra Global Vind Atlas (Figur 8).



Figur 8 Vindrose for Tyn fra 50m over bakken fra Global Wind Atlas (Global Wind Atlas, 2023) basert på datasett ERA-Interim i perioden 1979-2023 med 9 km resolusjon.

Vi har ikke hatt lokale nedbørmålinger, men for å sammenlikne nedbør og snødrift har vi tatt utgangspunkt i SeNorges datasett, se Figur 9.



Figur 9: Sammenlikning av akkumulert snødrift over 24h og akkumulert 24h nedbør fra SeNorge datasettet.

Analysen viser

- Mest snødrift i perioder med lite eller ingen nedbør.

Figur 9 antyder dermed at nedbør ikke er en viktig indikator på snødrift selv om den ferske snøen som ikke ennå har festet seg er lett å flytte på. Lokalt vet vi at det kommer mye nedbør med østlig rolig vind, som dermed ikke fanges opp av snødriftsensoren før vinden erfaringsmessig øker og dreier. Det interpolerte SeNorge (NVE, Meteorologisk institutt, Statens vegvesen, & Kartverket, 2023) datasettet i Figur 9 kommer dessuten med stor usikkerhet og dette er et argument for å måle nedbør eller snødybde lokalt som en fremtidig forbedring i å koble vinddrift til nedbør/endringer i snødybde i løseområdene.

4.3 Snødrift og skredhendelser

4.3.1 Generelt

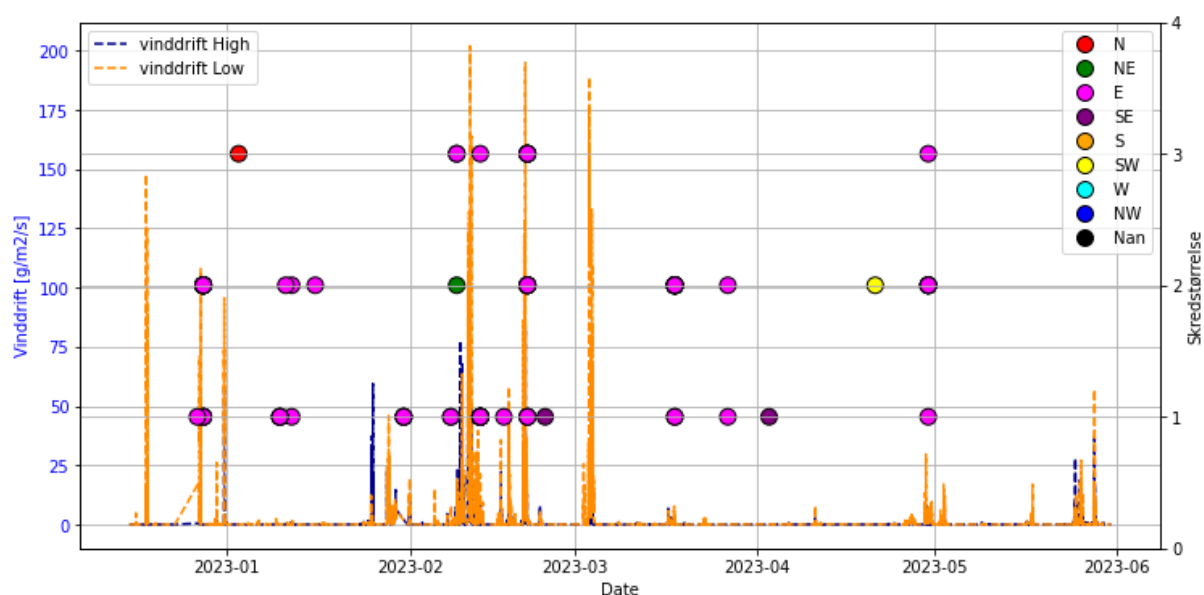
Skred AS har hatt stedsspesifikk snøskredvarsling for Fv. 53 Tyn - Årdal og har god kunnskap om skredhendelsene i området og alle skredhendelser er blitt registrert og loggført på RegObs. Informasjonen om skredhendelsene som presenteres her er hentet fra RegObs databasen. Vi hentet ut all data fra varslingsregion Jotunheimen og inkludert skredhendelser vi anser som relevant for skredbanene vi varsler for, dvs. hendelser som er registrert innen 5 km radius fra værstasjonen.

Tabell 1 oppsummerer antall skredhendelser, fordelingen av himmelretninger og andel som er løst ut i forbindelse med aktiv skredkontroll (sprengtårn). De fleste av skredene er utløst med hjelp av Wyssen-tårn som forebyggende skredkontroll, hvilket sannsynlig begrenser de observerte skredstørrelsene, samt at tidspunktene for skredaktiviteten ofte er rett i etterkant av uvær da man er avhengige av relativt godt vær/sikt for å utføre kontrollen.

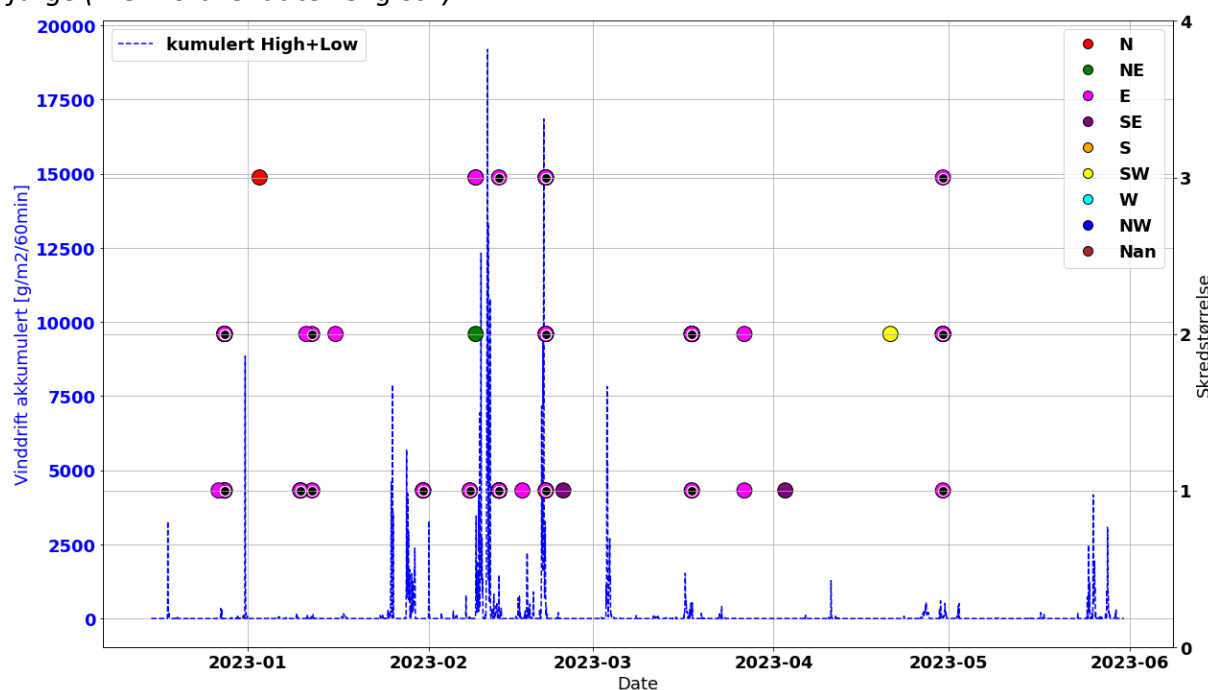
Tabell 1: Oppsummering av skredhendelser i Regobs.

Antall skredhendelser per himmelretning av skredbanen*	Ikke forebyggende skredkontroll	Forebyggende skredkontroll	Totalt
Ø	12	60	72
SØ	2	5	7
NØ	1	2	3
SV	1	0	1
N	1	0	1
Alle	17	67	84

* bare himmelretninger med skred er inkludert



Figur 10: Snødriftmålinger fra sensorene Low og High for snøsesongen 22/23 (15.12.2022 til 1.6 2023) med skredhendelser lastet ned fra RegObs innen en radius på 5 km fra sensoren. Størrelse på skred er indikert med tall på høyresiden og himmelretning av skredbanen med farge (N er nordvendt terreng osv).

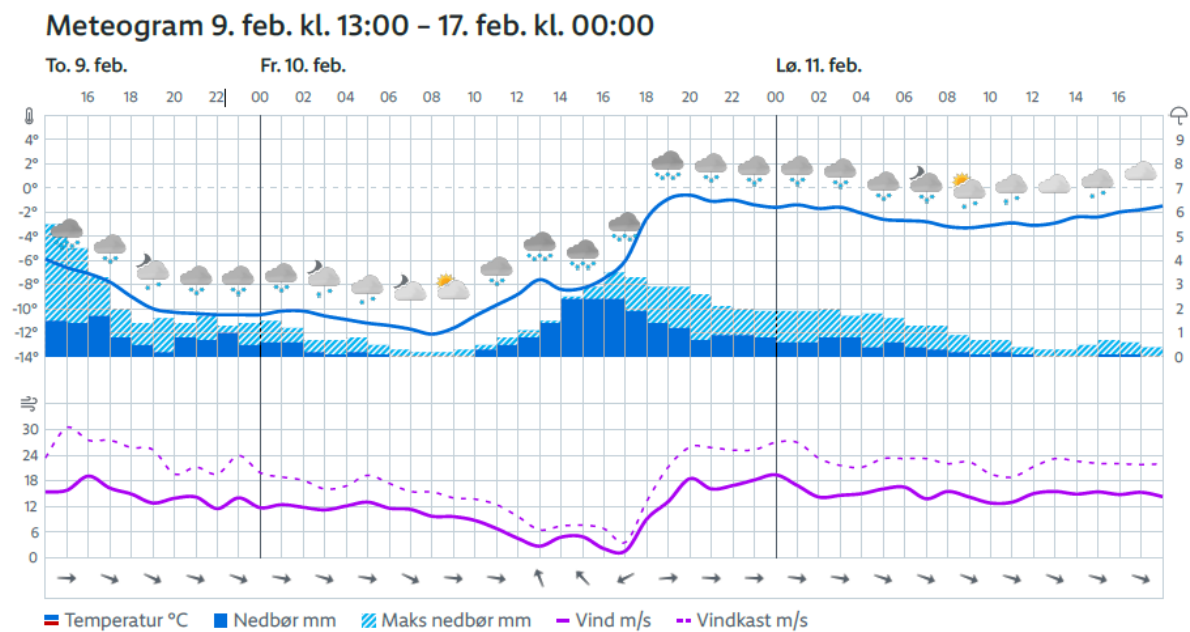


Figur 11: Her viser vi tilsvarende av Figur 10, men med kumulert 10-minutters snødrift fra begge sensorene (High+low). Skredene som er utløst som forebyggende skredkontroll er marker med en svart sirkel. Høyeste snødrift verdiene ble målt i februar 2023, en periode med mye skredkontroll og skredaktivitet.

4.3.2 Naturlige skredhendelser over vei 10. februar

Fredag morgen 10.02 fikk Skred AS info fra fresemannskap om at det i løpet av natten hadde gått naturlige skred over vegen på tre steder: ved Langøddin tårnet (skredbane Langø), ved tårnene ved Støl 1 & 2 (skredbanene Støl A & B) og ved Melvike, nedenfor Mel 2-tårnet (skredbane Mel C). Veien var på dette tidspunktet stengt og det var rødt varsel.

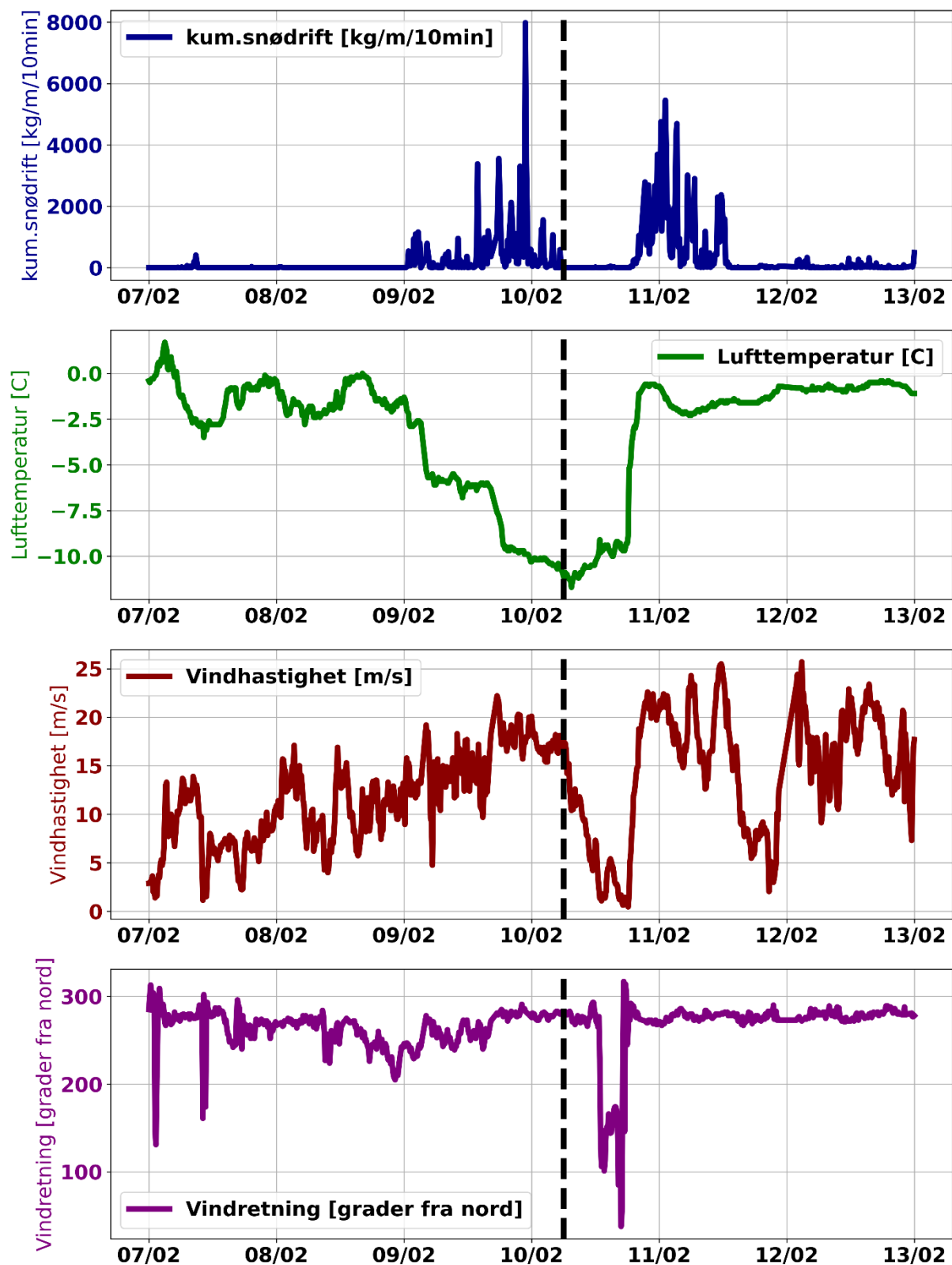
I forkant av skredhendelsen var det stabilt snødekke, men torsdag ettermiddag og kveld var det ventet opptil 25 mm nedbør som snø med kuling fra V (Figur 12).



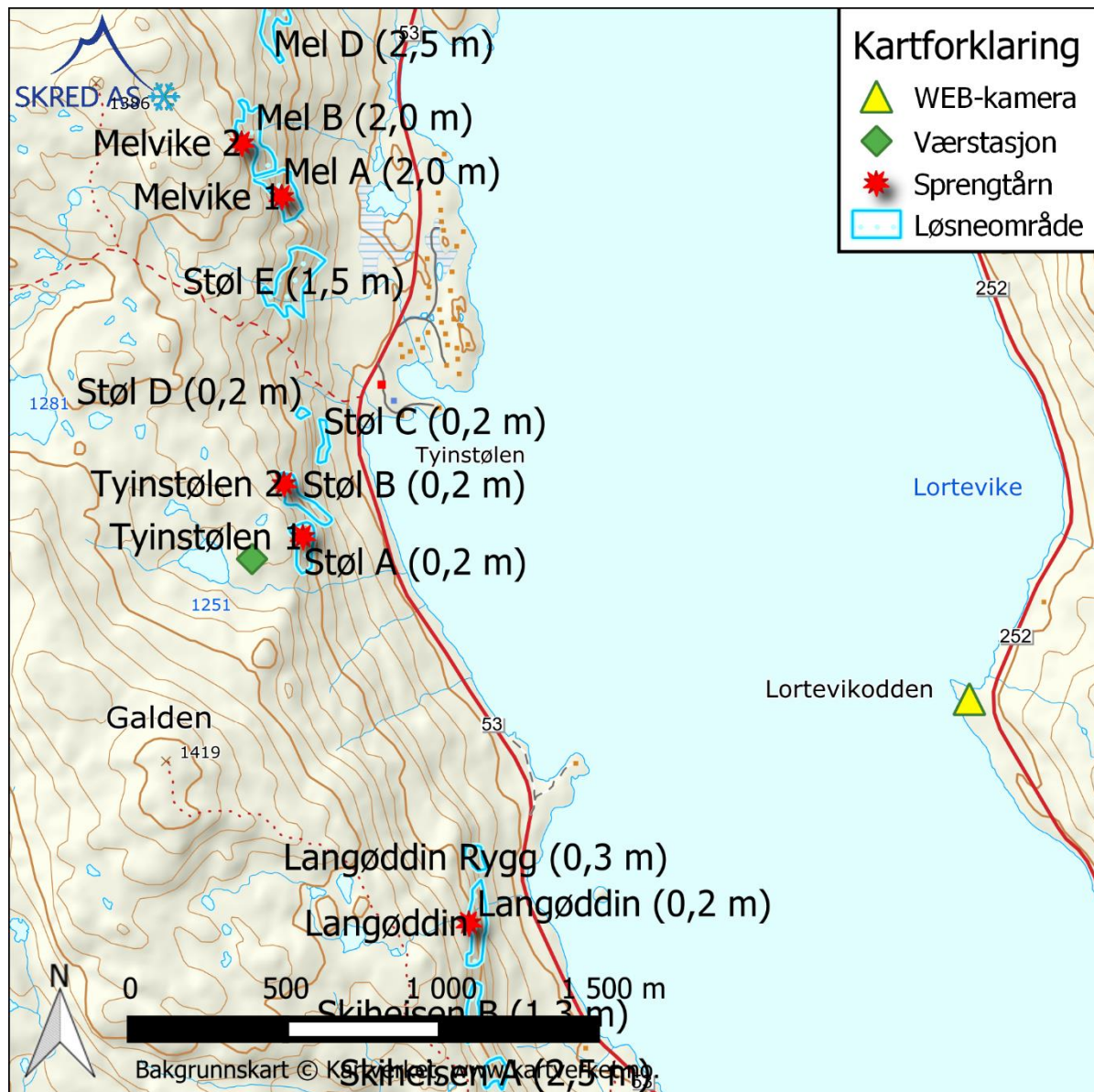
Figur 12 Værvarsel torsdag 9. februar for Tyinstølnøse

Værstasjonen viste kraftig VNV vind over 15m/s og snødrift i perioden med verdier opp over 150 g/m²/s, og summert 8000 kg/m for 10 minutters intervall. Dette antas å ha ført til stor pålagring i løsneområdene med tilhørende skredaktivitet.

Av andre kilder ser vi at SeNorge dataen (NVE, 2023) ikke fanger nedbøren som vises i meteogrammet fra Yr, dette er sannsynlig en kombinasjon av usikkerhet i værvarslet og svakheter i SeNorge dataen. Dette er et argument å måle nedbør og/eller snødybde lokalt.



Figur 13: Måledata for perioden før og etter 10.02 hvor vi hadde naturlig skredaktivitet på vei. Loddrett stiplet linje viser antatt tidspunkt for skredaktivitet, og vi ser at vi har hatt økende vind og kraftig snødrift opp mot dette tidspunktet.

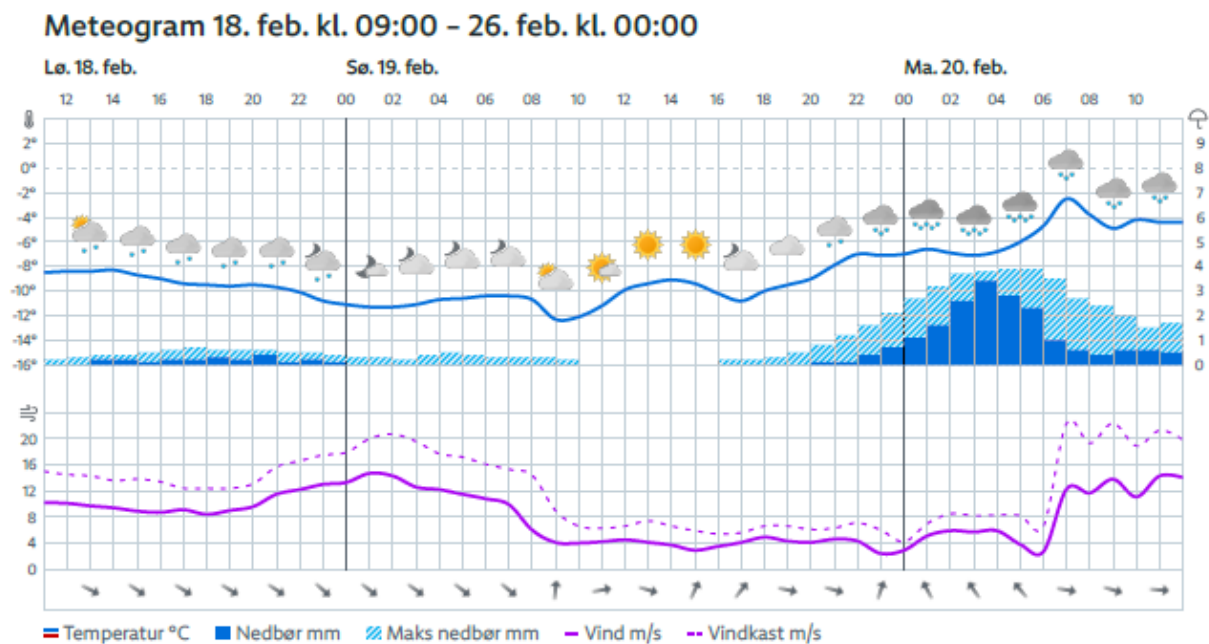


Figur 14 Oversikt over et utvalg av skredbanene Skred AS har varslet for som det refereres til i teksten. Tall i parentes indikerer kritisk bruddkanthøyde for at skred skal treffe vei.

4.3.3 Aktiv skredkontroll 21. februar

Vind fra vest og mye nedbør var ventet å ha dannet ferske fokksnøflakk oppå fokksnøen som ble avsatt uken før. Dette basert på grunnlag av bl.a. snødriftmålinger, som viste opp mot $200 \text{ g/m}^2/\text{s}$ og summert opp mot 5000 kg/m for 10 minutters intervall (kumulerte verdier high+low).

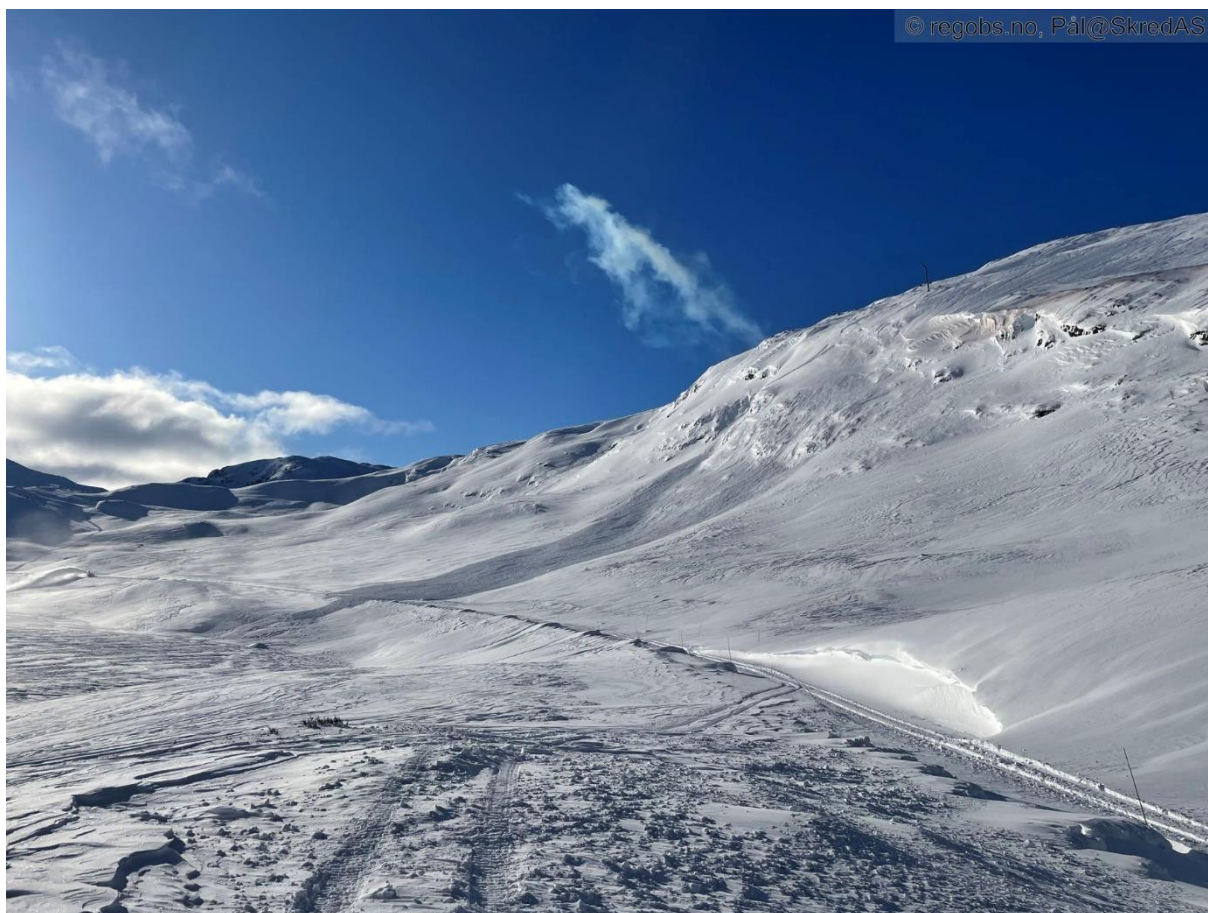
Under fersk fokksnø var snødekket hardt med vindskare og smelteskare avhengig av høyde. Det fantes også et lag av begerkrystaller ved bakken som er tørt og løst, men som ikke var ventet å være til stede i skredbanene. Mandag var det kommet 20 cm nysnø etterfulgt av V vind ifølge observasjoner.



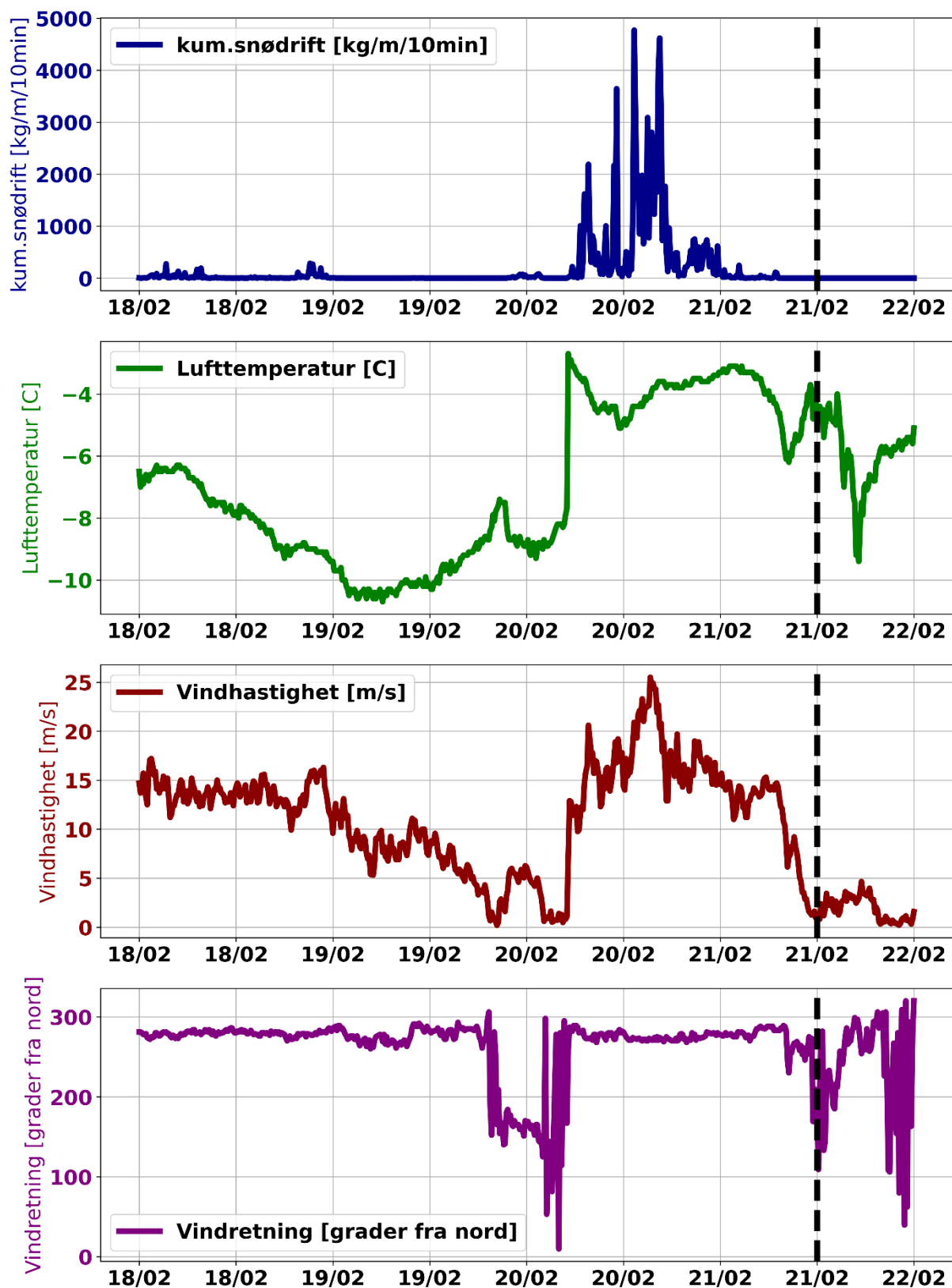
Figur 15: Yr varsel frem mot 20. februar for Tyinstølneøse.

Nedbør som snø og mye vind gjorde at det ikke var mulig å observere skred fra webkamera på mandag, samtidig som vegen var holdt stengt. Det ble ikke observert naturlig utløste skred på tirsdags morgen. Skredkontrollen startet rundt kl. 11, og samtlige tårn ble sprengt. Dette førte til større 3 skred i skredbane Mel A, Langøddin og Tørv A og C. Gamle Varden gikk også over veien, mens det løsnet str. 1+2 skred i de fleste andre skredbaner.

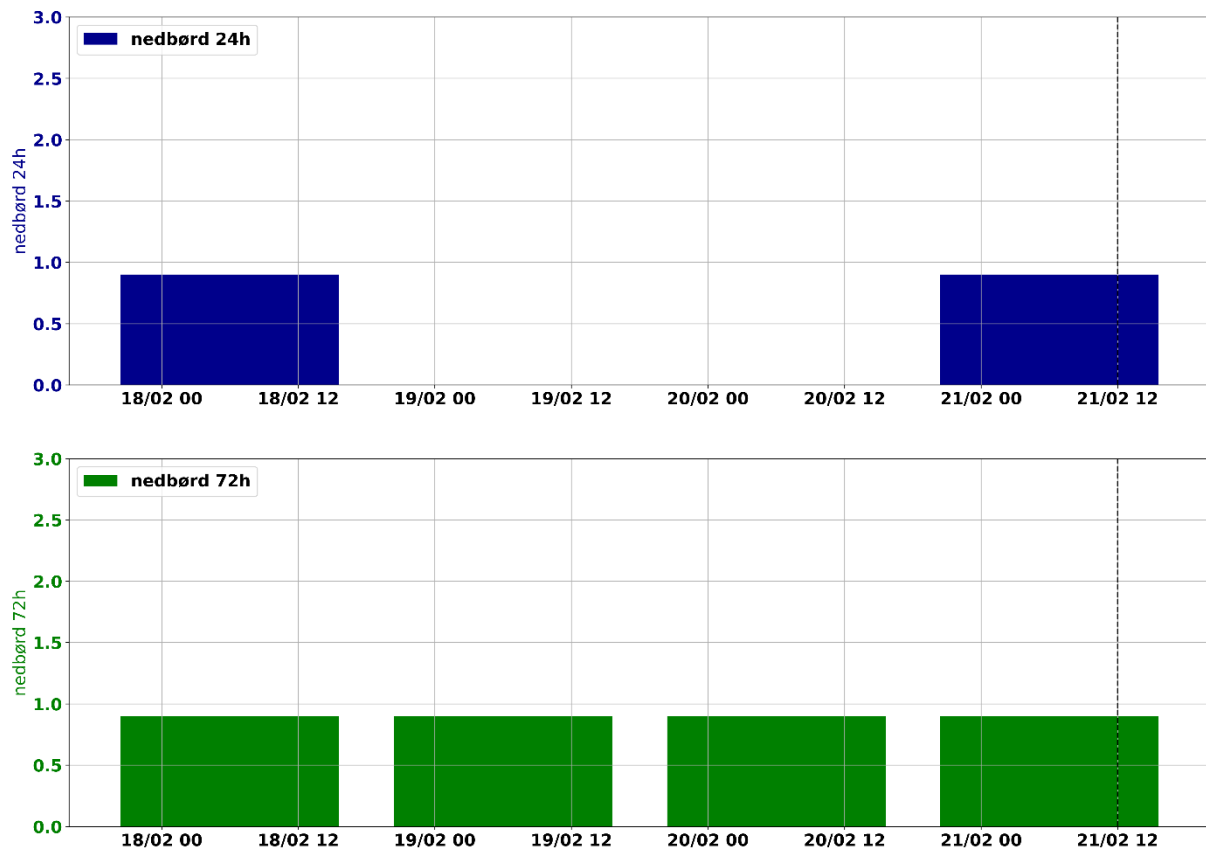
Resultatet av skredkontrollen (Figur 16) viste at var betydelig pålagring i løseområdene. Dårlig sikt mandag gjorde at det ikke var mulig å visuelt vurdere pålagring, men snødriftmålingene (Figur 17) ga en veldig god antagelse om stor pålagring, noe som viste seg å stemme. Nok en gang ser vi at data fra SeNorge ikke stemmer lokalt, og at man dermed er avhengige av lokale målinger og observasjoner.



Figur 16: Str. 3 snøskred ved Langøddin utløst ved sprenging ([Varsom RegObs](#)).



Figur 17: Måledata for perioden frem mot 21.02 hvor aktiv skredkontroll ga mange store skred som indikerte stor pålagring i løseområdene. Loddrett stiplet linje viser tidspunkt for skredkontroll.



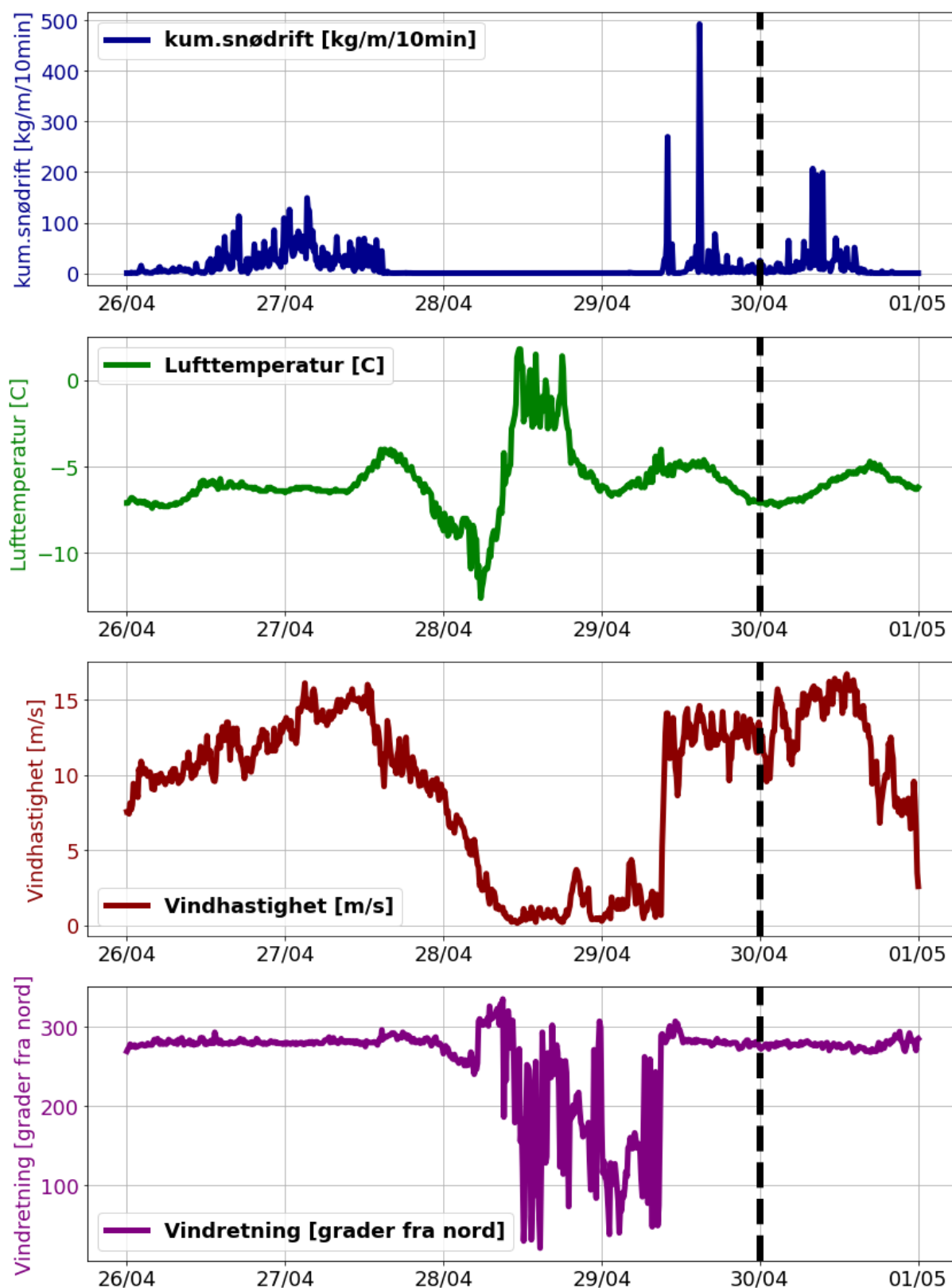
Figur 18: SeNorge data fanger ikke opp nedbøren (mm) som kom i forkant av kraftig vestavind.

4.3.4 Aktiv skredkontroll 30. april

Under snødekkeobservasjon fredag 28. april observerte Skred AS flere svake lag i snødekket, og potensiale for utløsning. Aktsomhetsnivået til varslingen var på «rød» fra lørdag 29. april grunnet varslet snø og vind fra vest. Vegen var stengt. Et naturlig utløst skred sør for tårnet på Langøddin ble observert på webkamera lørdag. Søndag morgen ble det utført kontroll. Langs Tyn var det godt effekt av skredkontrollen, og samtlige tårn løste ut skred. Str. 3 skred ble registrert i skredbanene Melvike 2 og Langøddin. Øvrige skredbaner på Tyn ga størrelse 2 skred. Alle utløste skred løsnet i to sjiktoverganger. Skred AS sjekket ikke bruddkantene, men antar at øvre sjikt var i eller i bunnen av nysnøen fra de foregående to døgn. Det nedre sjikt var trolig i forbindelse med kantkorn rundt ett av smelteskarelagene observert i snødekket fredag. I Tyinslinna var det bare effekt ved Tørv 1, men alle tårn ble ikke sprengt grunnet lite snø i dette området.

Snødriftmåleren viste i forkant tydelig snødrift, men relativt lave verdier ($<10\text{g/m}^2/\text{s}$) og i hovedsak på den nedre sensoren. Akkumulerte verdier ble målt opp til 2.5 g/m^2 for 10 minutters intervall, som følge av snødrift 0-1 m over bakkenivå. Basert på erfaring kan vi

anta noe høyere snødrift grunnet sensorens plassering i terrenget, hvor vi antagelig mister en del snødrift ved vindhastigheter mellom 5-10 m/s.



Figur 19: Måledata frem mot skredkontroll 30. april.



Figur 20: SeNorge data for nedbør (mm).

4.3.5 Akkumulert snødrift per hendelse

Akkumulert snødrift per hendelse kan f.eks. benyttes til å estimere pålagring / bruddkanthøyder, og evt. sammenlikne dette med funn fra feltarbeid eller detaljerte terrengmodeller før og etter en snødrifthendelse. Dette kan f.eks. lages ved bruk av dronefotogrammetri eller laserskanning.

Vi er kjent med at det er samlet inn data fra en slik hendelse i forbindelse med en masteroppgave om snødrift ved Universitetet i Tromsø (Jens Tveit, SVV), men disse dataene er ikke vurdert i denne rapporten.

Tabell 2: Akkumulert snødrift per hendelse.

	Akkumulert snødrift [kg/m ²]	Akkumulert nedbør [mm]
Hendelse 1 (7. – 11. feb)	107 211	0
Hendelse 2 (18. – 22. feb)	92 643	1.8
Hendelse 3 (27.april – 1mai)	10008.	12.2

4.4 Teoretisk snødrift sammenlignet med direkte målinger

I tillegg til å analysere vinddrift mot andre meteorologiske parametere har vi beregnet en teoretisk vinddriftsverdi etter Tabler 2003. Beregningene er basert på Tabler 2003 for å

beregne total snødrift fra bakken opp til 5m over bakken for vindretningen j og vindhastighetsklasse i , $q_{i,j}$, i [kg/m] [1];

$$q_{i,j} = \frac{f_{i,j} D (86400) [C_u U_{i,j}]^{3.8}}{233847} \quad (1)$$

der $f_{i,j}$ er andel (frekvens) av en gitt vindretning j og vindstyrkeklasse i , D er antall dager i snøsesongen med vindretning j og vindstyrkeklasse i , 86400 er faktor for å konvertere døgnet til sekund, C_u er en korreksjonsfaktor for vindmålinger som ikke er målt på standardhøyde 10m ($C_u = 10/Z^{1/7}$, der Z er høyden på vindmålingene) og $U_{i,j}$ er middelvindhastighet i vindhastighetsklassen for vindretningen j .

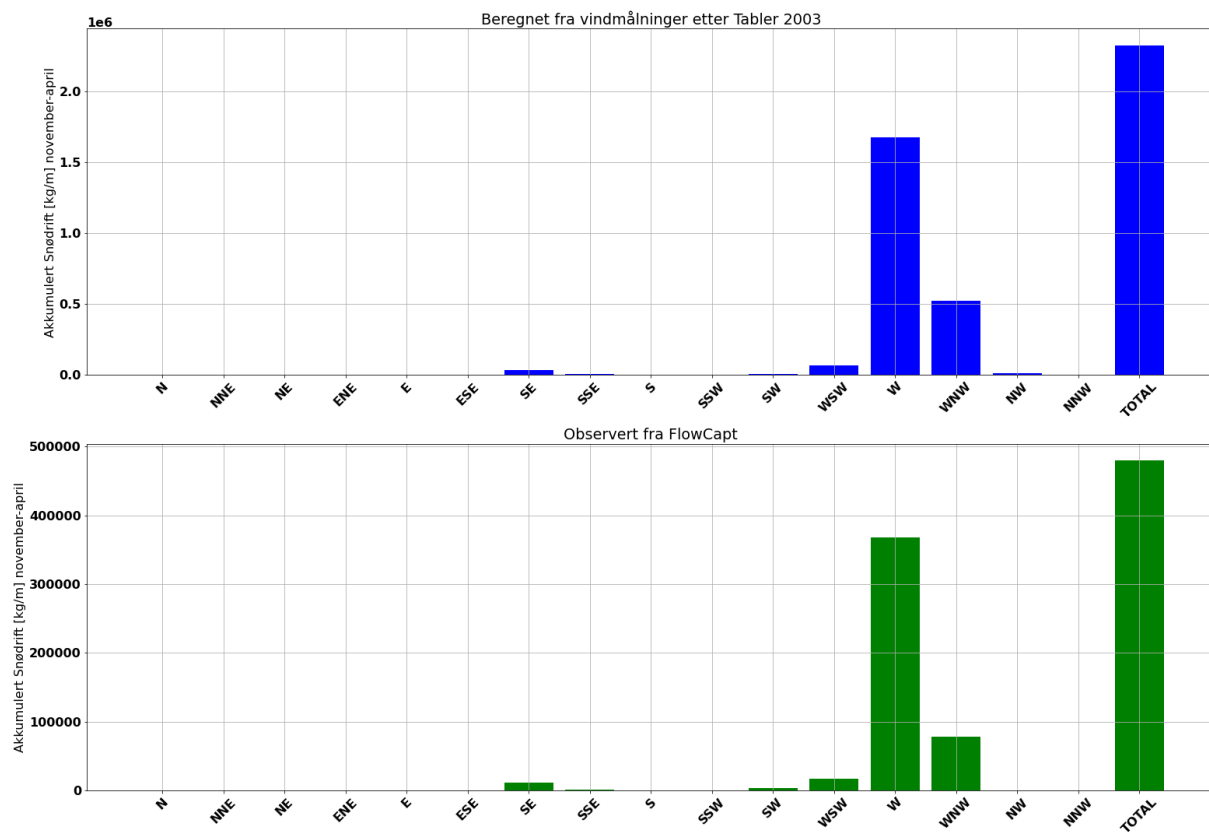
Den totale snødriften kontrollert av vind, Q_{upot} , beregnes gjennom å summere bidragene fra alle vindhastighetsklasser og vindretninger $q_{i,j}$ [1];

$$Q_{upot} = \sum q$$

Vi har kun inkludert alle vindhastigheter over 5.5 m/s (ca. 20 km/h) som etter Tabler er en terskelverdi for vindtransport av snø [1]. Vi har delt vindretningene i klasser på 22.5 grader (Tabell 3).

Tabell 3: Inndeling vindretningene i klasser.

Vindretning i grader	Vindretning i kardinal retning
348.75 to 11.25	N
11.25-33.75	NNØ
33.75-56.25	NØ
56.25-78.75	ØNØ
78.75-101.25	Ø
101.25-123.75	ØSØ
123.75-146.25	SØ
146.25-168.75	SSØ
168.75-191.25	S
191.25-213.75	SSV
213.75-236.25	SV
236.25-258.75	VSV
258.75-281.25	V
281.25-303.75	VNV
303.75-326.25	NV
326.25-348.75	NNV



Figur 21 Beregnet snødrift etter Tabler 2003 over og målt snødrift fra FC4 under i [kg/m] for hele snøsesongen. Total bidraget fra alle vindretninger (definert i Tabell 3). Merk at beregnet snødrift er ca. 4x mer enn målt (y akse øverst har verdi 10^6)

Vår analyse viser at

- Det er stor forskjell i beregnet og målt snødrift i Figur 21. Denne forskjellen kan henge sammen med at resultatet av a formel (1) beregner snødrift fra 0 til 5 m, mens FC4 kun måler fra 0-2 m.
- Figur 6 og Figur 10 viser at den nedre sensoren på FC4 ('low') har et betydelig større bidrag til den totala kumulererte snødriften. Vi forventer derfor ikke at bidraget fra 2-5 m over bakken (beregnet, ikke målt) forklarer hele forskjellen. I og med at den totale snødriften observert er ca. 4 ganger lavere enn den beregnede (ca 500 000 vs 2 000 000) i Figur 21 så antar vi at det er en systematisk overestimering med beregningen sammenlignet med målte verdier. Et mulig og sannsynlig bidrag er definisjonen på snøsesongen, da det ikke nødvendigvis er mye snø tilgjengelig i f.eks. november. Dersom det er mye vind, men lite snø, vil ikke beregningen fange opp dette. Her har vi beregnet snødrift med vinddata fra vindsensoren på masten og dermed er tidsperioden 15.12.2022 til 1.6 2023 for både observerte og beregnede verdier.
- Figur 6 viser at det er veldig lite snødrift ved masten med vindretninger under 10 m/s. Dette kan være en effekt av plasseringen, men i og med at Tabler 2003 har en

terskelverdi på 5.5 m/s for at snøen skal drive er det naturlig at den beregnede i dette tilfelle er vesentlig høyere enn de målte verdiene.

- Stasjonen ligger vindutsatt i høyfjellet hvilket gir et vindfullt klima og en generelt vindpåvirka og hard snøoverflate der mye av snøen som er tilgjengelig for transport blir raskt blåst bort. Dermed er det også grunn å tro at de beregnede verdiene overestimerer snødrift i og med at det alltid forventes snødrift når vinden er over 5.5 m/s (20 km/t).
- Beregnet og målt snødrift er fint samkjørt på fordeling og vindretninger, men dette er ikke helt uavhengige datasett når vind dataen er fra stasjonen (Gill sensor).

5 Diskusjon og videre arbeid

Snødriftsensoren FlowCapt 4, i kombinasjon med værstasjon som måler vindstyrke og -retning, har gitt et verdifullt datagrunnlag for stedsspesifikk snøskredvarsling og planlegging av skredkontroll for fv. 53 Tyn-Årdal. Snødriftsensoren har gitt varslingsgruppen til Skred AS nyttig informasjon om vær situasjonen og hvordan den påvirker skredfaren, i perioder hvor andre informasjonskanaler som lokale observasjoner og webkameraer ikke har gitt informasjon grunnet uvær og dårlig sikt. I tillegg gir FlowCapt4 sensoren kontinuerlige måledata (summert over 10 min intervaller), i motsetning til punktobservasjonene (observasjoner og webkamera), noe som har gitt varslingsgruppen mulighet til å evaluere varighet på perioder med snødrift, og dermed si noe om den totale pålagringen i løseområdene.

Snødriftsensoren bør alltid installeres i kombinasjon med vindmåler som måler vindhastighet og -retning, samt lufttemperatur. Det bør også installeres en snødybdemåler, som erstatning/proxy for vinternebbør som er vanskelig å måle.

FlowCapt 4 snødriftsensor vurderes som et svært nyttig verktøy i stedsspesifikk snøskredvarsling, spesielt i prosjekter med svært skredutsatt infrastruktur hvor det skal relativt lite pålagring til før kritiske mengder nås, slik som drift av aktiv skredkontroll. Ved ytterligere analyse, innsamling av erfaringsdata og montering av snødybdemålere, tror Skred AS det være mulig å etablere terskelverdier for pålagring i løseområder.

Målingene fra sensoren ved Tyn-Årdal skiller seg fra teoretiske verdier og beregninger, og som med andre lokal meteorologiske målinger antas lokale forhold som plassering, topografi og klima å spille en rolle. Uten ytterligere forarbeid har det likevel lyktes i å fange opp data som er av stor verdi for varslingen, som ikke er synlig i modelldata og som ikke fanges opp av nedbørmålinger lokalt/regionalt.

Skred AS mener snødriftsensoren også har et potensiale for vinterdrift av veier, da erfaringsverdier for snødrift antas å kunne brukes direkte, i tillegg til at det vurderes som enklere å etablere terskelverdier for snødrift av betydning for drift av veien.

Innspill til videre bruk og testing av snødriftsensoren kan være:

- Etablere snødybdemålinger i kombinasjon med snødriftssensoren, for å se hvordan snødriften korrelerer med snøfall og snø tilgjengelig for transport. Dette vil også gi

informasjon om hvordan sensoren blir påvirket hvis deler av sensoren snør ned igjennom vinteren.

- Etablere snødybdemålinger i løseområder/leområder for å vurdere pålagring forårsaket av snødrift. Dette kan også gjøres i kombinasjon med etablering av terrengmodeller ved bruk av dronfotogrammetri/LiDAR scan.
- Instrumentere opp med flere sensorer i et område for å vurdere lokaltopografisk påvirkning på måledata og -verdier.
- Etablere lengre måleserier for å skaffe erfaringsdata av snødrift, og dermed kunne kalibrere Tabler (2003) for norske høyfjellsforhold.
- Etablere flere sensorer over hverandre, for å kunne skille snødrift langs bakken (0-1m) og snødrift høyere opp (2-3-4 m). Dette kan f.eks. knyttes opp mot sikt analyser og drift av vinterveier.

6 Referanser

Critin, V. (2022, 11 29). Pers. komm., epost.

Global Wind Atlas. (2023, 09 29). Hentet fra <https://globalwindatlas.info/en/>

ISAW. (2021). *21-ISAW_User_Guide_V2.18.pdf*. Hentet 2023 fra https://www.isaw-products.com/wp-content/uploads/2023/03/21-ISAW_User_Guide_V2.18.pdf

NVE, Meteorologisk institutt, Statens vegvesen, & Kartverket. (2023). *SeNorge.no*. Hentet fra <https://www.senorge.no/?p=klima>

Tabler, R. (2003). *Controlling Blowing and Drifting Snow with Snow Fences and Road Design*.



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag