

# Deteksjon av snøskred ved hjelp av infralyd

Erfaringer fra fire skredutsatte veger i Norge (2014 – 2020)

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 717



## Tittel

Deteksjon av snøskred ved hjelp av infralyd

## Undertittel

Erfaringer fra fire skredutsatte veger i Norge (2014 – 2020)

## Forfatter

Tore Humstad, Martin Venås, Paul Velsand og Stian Langeland

## Avdeling

Fagressurser Drift og vedlikehold

## Seksjon

Geofag Drift og vedlikehold

## Prosjektnummer

C13389

## Rapportnummer

Nr. 717

## Prosjektleder

Tore Humstad

## Godkjent av

Viggo Aronsen

## Emneord

skredfag, snøskred, instrumentering, infralyd

## Sammendrag

Statens vegvesen har i perioden 2014 – 2020 brukt infralydteknologi til deteksjon av snøskred langs fire veger i Norge. Metoden går ut på å registrere lavfrekvente lydkilder som dannes i snøskred og deretter automatisk varsle beslutningstakere i nær sanntid om at skred har gått innenfor et bestemt område.

Det i alt er gjort 584 deteksjoner av snøskred og sprenginger i snø. Disse er automatisk formidlet via SMS, e-post og nettside. Data er også blitt delt med eksterne tjenester.

Infralydteknologi ser ut til å fungere bra til sitt formål for veger som er utsatt for flere skredløp innen et avgrenset, snødekt område. Best resultater får man dersom skredløpene ligger innenfor en radius på 3 km fra sensorene.

Det bør jobbes mer med valideringssystemer, smartere opplasting av fotodokumentasjon og mer avansert overføring til nasjonale databaser.

## Title

Snow avalanche detection with infrasonic sensors arrays

## Subtitle

Experiences from four avalanche prone roads in Norway (2014 – 2020)

## Author

Tore Humstad, Martin Venås, Paul Velsand and Stian Langeland

## Department

Planning and Engineering Services

## Section

Geomechanics

## Project number

C13389

## Report number

No. 717

## Project manager

Tore Humstad

## Approved by

Viggo Aronsen

## Key words

snow science, avalanches, instrumentation, infrasound

## Summary

The NPRA has used infrasound technology to detect avalanches along four roads in Norway (2014 – 2020). The method involves registering low-frequency sound sources that are formed in avalanches and then automatically notifying decision-makers in near real time that avalanches have occurred within a certain area.

584 avalanche and explosions in snow are detected. These are automatically communicated via SMS, e-mail and a website. Data has also been shared with external services. Infrasound technology seems to work well for its purpose for roads that are exposed to several avalanches within a limited, snow-covered area. Best results are obtained if the avalanches are within a radius of 3 km from the sensors.

More work should be done with validation systems, smarter uploading of photo documentation and more advanced transfer to national databases.



## INNHold

1	INNLEDNING .....	5
2	Framgangsmåte .....	7
2.1	Lokaliteter og kampanjer .....	7
2.2	Målemetode .....	8
2.2.1	Teknologi .....	8
2.2.2	Programvare og fysisk utstyr .....	12
2.3	Konseptutvikling .....	12
2.3.1	Oppstart med klimapåkjenninger .....	13
2.3.2	Værbestandighet og validering .....	14
2.3.3	Automatisk stedfesting .....	15
2.3.4	Integrasjon til andre systemer .....	16
3	Resultater .....	18
3.1	Typer deteksjoner .....	18
3.2	Detekterte hendelser .....	19
3.3	Oppetid og deteksjonsevne .....	22
3.4	Validering av resultater .....	23
3.4.1	Problemstilling .....	23
3.4.2	Bruk av kamera .....	24
3.4.3	Bruk av satellittdata .....	28
4	Drøfting .....	30
4.1	Identifiserte utfordringer .....	30
4.2	Deteksjonsevne og vindstøy .....	30
4.3	Operativ bruk i drift av veg .....	32
4.4	Betydning av avstand og skredtype .....	32
4.5	Bruk i skredvarsling .....	33
5	Konklusjon .....	35
	REFERANSER .....	37

VEDLEGG .....	i
Vedlegg A: Deteksjoner i nedre og øvre Grasdalen (2014–2019).....	ii
Vedlegg B: Deteksjoner i Indreeidsdalen (2015 – 2019) .....	iii
Vedlegg C: Deteksjoner i Lavangsdalen (2018 – 2020).....	iv
Vedlegg D: Sammenstilling IDA og SatSkred 14.–16. februar 2019.....	v
Vedlegg E: Sammenstilling IDA og SatSkred 23.–27. februar 2019 .....	vi



## 1 INNLEDNING

Statens vegvesen har siden 2014 prøvd ut og brukt infralydteknologi til deteksjon av snøskred på til sammen fem lokaliteter i Stryn, Norddal og Tromsø kommuner. Deteksjonsmetoden går ut på å registrere lavfrekvente lydkilder som dannes i snøskred og deretter automatisk varsle beslutningstakere i nær sanntid om at skred har gått innenfor et bestemt deteksjonsområde nær veg.

Formålet med denne deteksjonen er å redusere sannsynligheten for at mannskap og trafikanter uforvarende kjører inn i skredmasser som ligger på vegen, gi grunnlag for mer presise skredvarsler og bidra til effektive beslutninger med hensyn til stengning, åpning og forebyggende skredkontroll. Mer overordnet kan vi si at bedre dokumentasjon av pågående skredsykluser gir et bedre datagrunnlag for løpende vurdering av snøskredfare (LaChapelle, 1980), i dette tilfellet mot veg.

Før infralydteknologi ble tatt i bruk til dette formålet, hadde Vegvesenet allerede erfaring med deteksjon av skredhendelser for automatisk stenging av veg under spesifikke skredløp (Statens vegvesen, 2014), men begrenset erfaring med generell overvåkning av skredaktivitet i et større område med *flere* skredløp.

Infralyd er lydbølger med en frekvens lavere enn ca. 15 Hz, som er den normale, nedre grensen for menneskelig hørsel (SNL, 2021). Denne grensen er omdiskutert, fordi det har vist seg mulig å høre lyd med enda lavere frekvens, dersom lyden er sterk nok, dvs. har et tilstrekkelig høyt trykknivå (Leventhall, 2007). Det er uansett dokumentert at frekvensområdet fra 1 til 20 Hz kan brukes til å overvåke naturlige prosesser i stein-, vann- og snømasser. Siden infralyd oppstår naturlig med kilder som uvær, bølger, skred, jordskjelv, vulkaner, fosser og kalving av isfjell (Leventhall, 2007), kan et nettverk av sensorer oppdage naturfarer i et varslingsystem. Fordi lydbølgene når fram til sensorene i nettverket på ulike tidspunkt, kan en finne ut hvor lydkilden kommer fra ved hjelp av automatisk krysspeiling.

Infralyd beveger seg med lydets hastighet. Denne varierer med temperatur og lufttrykk. Hvis vi antar at trykket er 1 atmosfære (1 013 hPa) og temperaturen er 20 °C, vil lydets hastighet være ca. 340 m/s. Siden frekvensen er lav, er bølgelengden desto lengre. Dersom vi tar utgangspunkt i en frekvens på 3 Hz (typisk for snøskred), får vi en bølgelengde på 113 m (Søderblom og Hansen, 2016). Den lave frekvens fører til at infralyd bærer lengre enn hørbar lyd.

Akustisk deteksjon i forbindelse med *snøskred*, ble testet allerede i 1970-årene, da Sommerfeld (1977) registrerte økt akustisk aktivitet rett i forkant av naturlig utløste skred. Det ble senere konkludert at også selve skredet dannet lavfrekvente lydbølger som kunne brukes til deteksjon (f.eks. Chritin m. fl., 1996 og Adam, 1998; Scott m. fl., 2004).

En mer operativ bruk av infralydteknologi ble før 2014 gjort noen få steder, f.eks. i Little Cottonwood Canyon i Utah, USA (Vyas, 2009), Ischgl i Østerrike (Marchetti m. fl., 2015) og Gonda i Sveits (se f.eks. Thüning m. fl., 2015). Disse systemene er i utgangspunktet stasjonære. Det er også gjort forsøk med flyttbare løsninger (Loo m. fl., 2018).

Da teknologien først ble testet ut for vegformål i Norge fra 2014, var det internasjonalt lite erfaring med målinger i vindutsatt terreng i snaufjellet og nær kysten. Det var derfor et poeng i seg selv å se hvordan vindstøy og vindpåvirkning av snødekket ville påvirke resultatene. Det var også ønskelig å skaffe erfaring med skreddeteksjoner i områder med mørketid og krevende vær, der mulighetene for visuelle observasjoner er begrenset i store deler av året (Humstad m. fl., 2016).

Omtrent samtidig som Vegvesenets første forsøk kom i gang, tok NORSAR i bruk infralydteknologi ved Bardufoss for å detektere eventuelle atomprøvesprengninger i nordområdene (Geoforskning, 2014).

Den første sesongen av Vegvesenets tester, 2014/2015, bød på en god del utfordringer og mangelfulle data (se avsnitt 2.3.1). Men etter hvert som målesystemet fikk et mer robust oppsett sesongen etter, var resultatene straks mer lovende (Humstad m.fl., 2016). Statens vegvesen vurderte derfor at det var grunnlag for å utvide målingene både til flere sesonger og flere lokaliteter (Steinkogler m. fl., 2018). Etter hvert som teknologien viste seg stabil og pålitelig, flytta fokuset seg videre fra selve måleteknologien til å utvikle en mer brukervennlig datapresentasjon og en smartere dataflyt internt i egen organisasjon. Etter hvert ble det også ønskelig med automatisk deling av data til nasjonale databaser.

Infralydteknologien som Statens vegvesen brukte i perioden 2014 – 2020 er utviklet av italienske Item s.r.l og GeCo s.r.l i samarbeid med sveitsiske Wyssen Avalanche Control AG – og levert i Norge av Wyssen Norge AS. Denne rapporten er skrevet i samarbeid med dem. Norges Geotekniske Institutt har bidratt med delfinansiering, bruk og analyser av data ved lokalitetene i Stryn (NGI, 2020). Prosjektet har også samarbeidet med Høgskulen på Vestlandet (Søderblom og Hansen, 2016) og Norges teknisk–naturvitenskapelige universitet (Lunde, 2017) om veiledning av hhv. bachelor– og masteroppgave.

Denne rapporten gir en oversikt over lokalitetene som har blitt brukt og beskriver de viktigste elementene i teknologien og hvilke resultater den har gitt så langt. Det er også gitt en oppsummering over spesielle utfordringer som har oppstått underveis og hvordan disse har blitt håndtert.

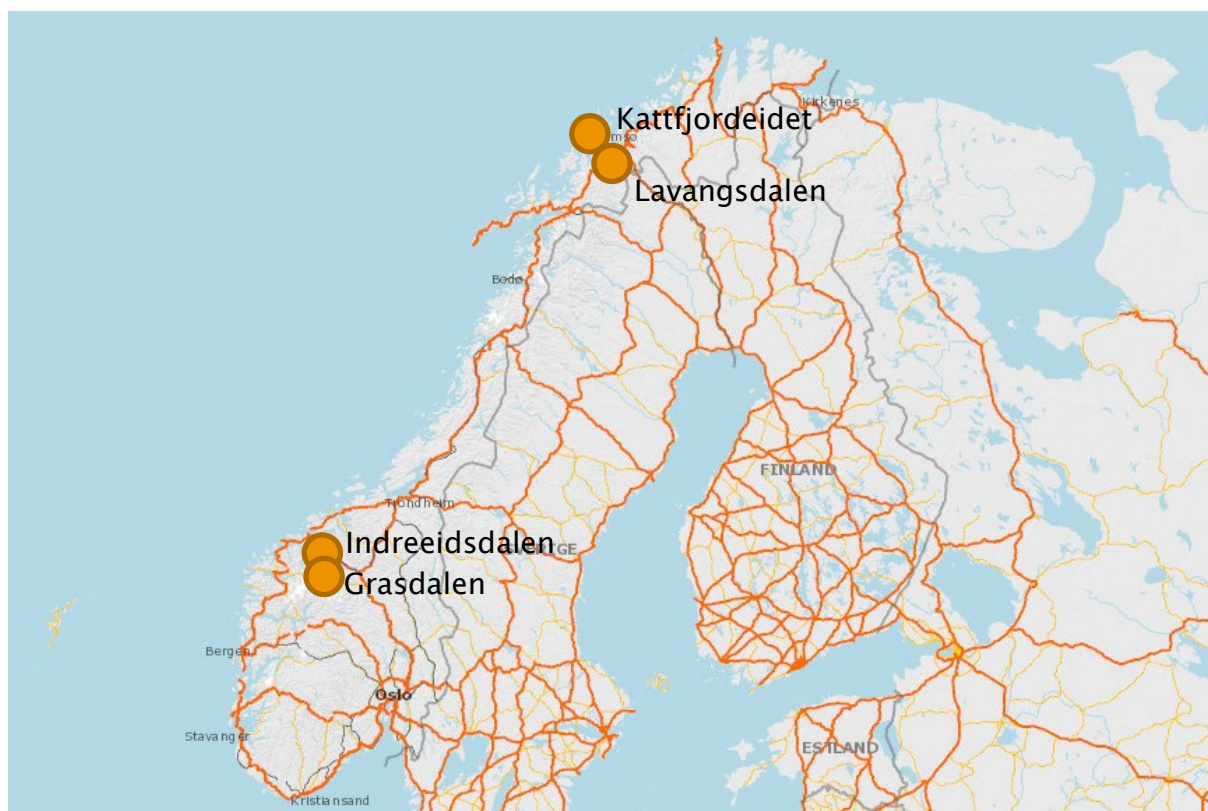
## 2 Framgangsmåte

Oppgaven med å gjennomføre infralydmålinger for Statens vegvesen ble først kunngjort som en tjenesteanskaffelse i 2014 via Database for offentlige innkjøp (doffin.no). Videreføring ble kunngjort samme sted i 2016 og 2020.

### 2.1 Lokalteter og kampanjer

Det er mellom 2014 og 2020 utført målinger ved til sammen fem lokaliteter som ligger ved fire vegstrekninger. Disse er øvre og nedre del av Grasdalen ved rv. 15 i Stryn kommune, ved fv. 63 gjennom Indreeidsdalen i Norddal kommune (dagens Fjord kommune), ved fv. 862 over Kattfjordeidet i Tromsø kommune og ved E8 gjennom Lavangsdalen, også dette i Tromsø kommune.

Lokalitetene ble i begynnelsen valgt ut fra FoU-hensyn og senere ut fra hvilke driftsenheter i Statens vegvesen, som på det aktuelle tidspunktet, hadde behov og finansieringsmuligheter til å innføre denne teknologien operativt i sine ansvarsområder. Se oversikt over lokalitetene i Figur 1 og Tabell 1.



**Figur 1: Oversikt over lokaliteter for bruk av infralydmålinger i Statens vegvesen (bakgrunnskart: vegkart.no)**

I motsetning til f.eks. geofoner og dopplerradarer, så er ikke infralydsensorer egna som skredvarslingsanlegg med formål om å stenge veg mens skredet går. Til dette er deteksjonsområdet for vidtfavnende og algoritmene for langvarige til at man rekker å stenge vegen før skredene kommer ned til dem. Det ligger dessuten i målekonseptet

at det må følge skredet fra start til slutt før algoritmene kan tolke om det er et skred eller ikke.

Derimot er infralyd godt egna til å dokumentere skred i *nær sanntid* i et større område. Nær sanntid betyr i denne sammenhengen at varsel kan sendes innen 2 minutter etter at skredet stopper opp (Humstad m. fl., 2016). Formålet med målekonseptet blir da å bruke ferske snøskred som et av de sikreste tegnene på pågående skredfare (LaChapelle, 1980). I områder med flere skredløp kan informasjon om ett skred brukes som et forvarsel om at skred kan være nært forestående også i andre skredløp. Alle lokalitetene ble derfor lagt til dalfører med flere skredløp i flere eksposisjoner, der annen form for skreddeteksjon eller varslingsanlegg ble vurdert som lite hensiktsmessige.

**Tabell 1: Oversikt over lokaliteter for bruk av infralydmålinger i Statens vegvesen (med lenker til vegkart.no)**

	Veg	Høyde (moh)	Måleperiode	Relevante skredpunkt/skredløp
Nedre Grasdalen	Rv. 15	770	15.12.2014–6.5.2017	Sætreskarfjellet/Grasdalen, Grasdaltunnelen sør, Ospelitunnelen Nord (se <a href="#">lenke</a> til vegkart.no). Ryggfonn (se <a href="#">lenke</a> til ngi.no)
Øvre Grasdalen	Rv. 15	880	12.11.2017–19.4.2019	
Indreeidsdalen	Fv. 63	490	6.12.2015–14.4.2019	Bulegfonna, Korsmyrdalsfonna, Oppskredfonna, Setrefonna (Hesjedalen), Breiskredfonna, Geitskredfonna, Skrea og Indreeidsdalen (se <a href="#">lenke</a> til vegkart.no).
Kattfjordeidet	Fv. 862	160	3.11.2016–31.3.2018	Kattfjordeidet I–IV (se <a href="#">lenke</a> til vegkart.no).
Lavangsdalen	E8	70	29.12.2018–2.6.2020	Stortinden, Sarasteinen/Reinsvoll, Skavskogen, Hestvollan (se <a href="#">lenke</a> til vegkart.no).

## 2.2 Målemetode

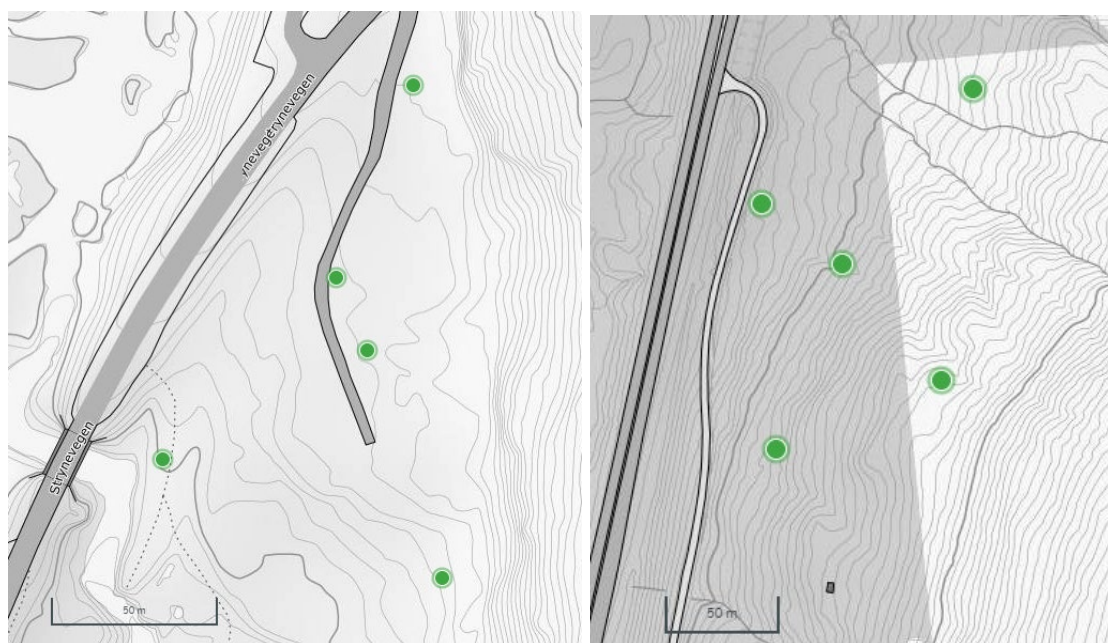
### 2.2.1 Teknologi

Det er altså mulig å sette ut en trykksensor, eller spesialmikrofon, som detekterer infralyd. På samme måte som et menneske med hørsel bare på ett øre får problemer med å fastslå hvor en lyd kommer fra, vil en enkelt infralydsensor klare å detektere infralyden, men ikke klare å tolke hvor lydkilden kommer fra. Dersom man derimot setter ut flere sensorer i et *nettverk*, kan ankomsttidspunktet til hver enkelt sensor brukes til å peile retningen til lydkilden i forhold til sensorene. Dersom man etablerer smarte algoritmer, filtrering av støykilder og gode varslingsrutiner, kan teknologien brukes til å varsle om skred. For enkelthets skyld bruker vi begrepet 'infralydteknologi' til å beskrive den helhetlige, teknologiske løsningen med sensorer og tilhørende infrastruktur, algoritmer og varslingsrutiner.



I dette prosjektet ble infralydteknologien 'IDA' brukt. Dette er merkenavnet til infralyddetekteringsystemet som leveres i Norge av 'Wyssen Norge AS' på vegne av sveitsiske 'Wyssen Avalanche Control AG'.

Funksjonsprinsippet til et IDA-system er at flere trykksensorer står plassert i en kjent geometri i nærheten av flere skredløp. For sensornettverkene i våre prosjekter, ble det installert 4 – 5 sensorer i stjerneform med en avstand på ca. 100 m mellom hver sensor (Wyssen, 2021). Sensornettverkene ble på våre lokaliteter plassert sentralt i de skredutsatte terrengformasjonene som skulle overvåkes, men i trygg avstand til de fleste tenkelige utløpssoner. Sensornettverket ble koblet til en sentral datamaskin i en liten, provisorisk kontrollbu med brenselcelle og modem. Derfra ble dataene sendt til en server for behandling. Eksempler på sensorplassering for to av de totalt fem lokalitetene, kan sees i Figur 2.



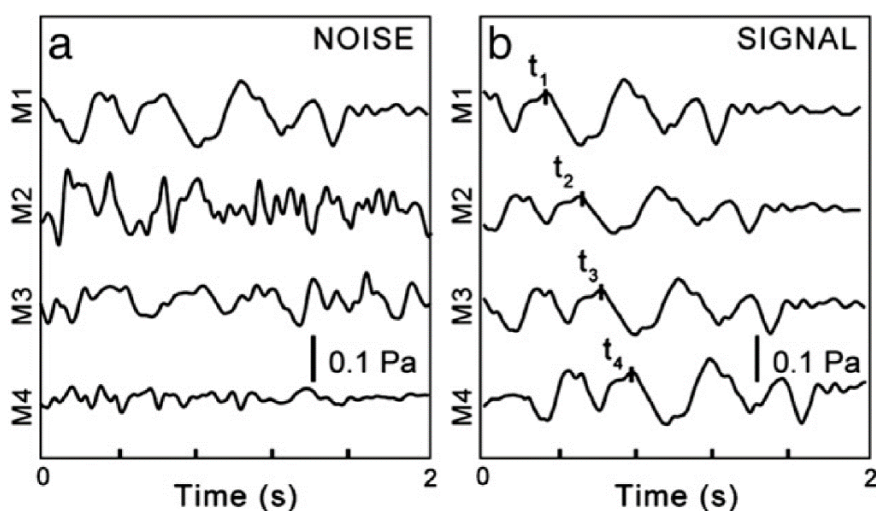
**Figur 2: Eksempel på plassering av infralydsensorer ved rv. 15 i Øvre Gradsalen (t.v.) og E8 i Lavangsdalen pr. februar 2021 (kilde: vegkart.no/Wyssen Norge AS)**

Sensorene ble satt delvis ned i jorda og senere naturlig dekket med snø i løpet av vinteren. Snøpakken demper ikke infralyd, men fungerer ifølge Wyssen (2021) som et filter mot uønsket støy f.eks. fra vind og trafikk (les mer om sensorutvikling i avsnitt 2.2.2 og støy i avsnitt 4.2).

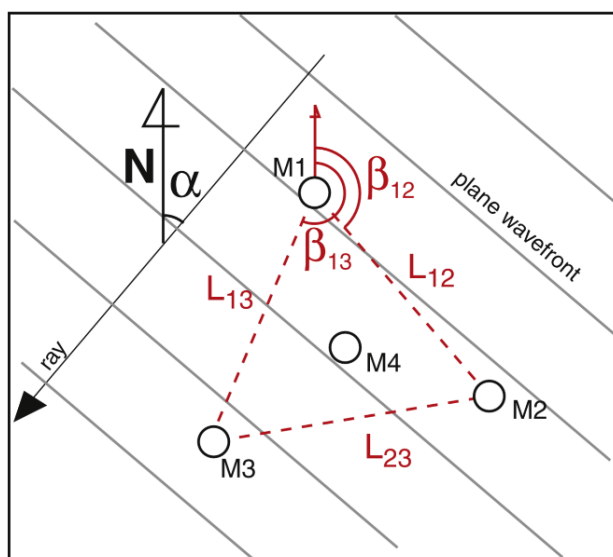
En kan velge ett eller flere sensornettverk. Ett sensornettverk vil ha en stabil rekkevidde på rundt 3 km (Mayer m. fl., 2019) og være i stand til å lokalisere skredhendelser slik at observasjonene kan kobles til skredløp eller grupper av skredløp. Ved bruk av flere sensornettverk med overlappende dekningsområde, får man i tillegg en gjensidig verifikasjon av hendelsene og en større presisjon på

lokaliseringen av dem. Her vil økonomi og behov være avgjørende for valg av løsning. I våre forsøk ble det gjennomgående brukt bare *ett* sensornettverk pr. lokalitet.

Trykkbølgen fra ett og samme skred antas å gi likt signal i alle sensorene. Siden disse signalene kommer fram til sensorene med litt tidsforsinkelse, kan dataalgoritmer skille skredhendelser fra støy. Figur 3 illustrerer korrelasjonen mellom signalene. Ved å anta at lydquellen har lik hastighet mot alle sensorene, og at bølgefronten er plan når den treffer sensorene, kan man regne ut retningen fra sensorgruppa mot området der skredet går, dvs. der lyden kommer fra.



Figur 3: Forskjellige amplitudesignaturer ved støy (eksempel a) og signal fra skred (eksempel b). Amplituden korrelerer i b, men ikke i a. Forsinkelsestiden i  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  og  $t_4$  brukes til å beregne kildeposisjon for signalet når plasseringene til sensorene er kjent og man antar lik hastighet for trykkbølgene mot sensorene (figur fra Olivieri m.fl., 2011).



Figur 4: Skisse som skjematisk viser kjente vinkler i et system av sensorer som kan brukes til å beregne opphavsområdet ( $\alpha$ ) for infralydsignalet fra et snøskred.  $\beta_{ij}$  og  $L_{ij}$  er henholdsvis vinkler og lengder mellom sensorer (figur fra Olivieri m.fl., 2011).

Formen på signalene kan også brukes til å skille mellom de tre typene deteksjoner som anlegget skal varsle om:

- naturlig utløste skred
- sprengninger i snø (under forebyggende skredkontroll)
- kontrollert utløste skred (etter forebyggende skredkontroll)

Dette blir nærmere forklart i avsnitt 3.1.

Infralydanleggene lytter kontinuerlig etter trykkbølgevariasjoner i luften. Siden både vind, biltrafikk og kryssende fly danner infralyd som ofte vil gi brå variasjoner, er det etablert filtre som gjør at ikke alle endringer kan tolkes som snøskred. For eksempel forutsettes det at snøskred i motsetning til biler og fly vil ha en sterk nedoverretta bevegelse. Den nedoverretta bevegelsen kan avsløres vha. den 'tilsynelatende hastigheten'. Siden sensorene ofte ligger i et horisontalt plan i dalbunnen, vil lydkilder som kommer fra høyereliggende løseområder, komme skrått fram mot sensorene og tilsynelatende ha en høyere hastighet enn lydkilder fra utløpssonen. Hvis utløpssonen ligger omtrent på samme høydenivå som sensornettverket, vil lydbølgene nå fram til sensorene i samme plan og dermed ha en lavere tilsynelatende hastighet, dvs. nærmere reell hastighet (Mayer m. fl., 2019).

Når et skred ble registrert i IDA på de omtalte lokalitetene, ble rådata og egenskaper for hvert skred registrert om vist nedenfor:

#### Rådata som registreres i alle tidssteg for hvert detekterte skred:

- Trykk [mPa] hvert halve sekund
- Frekvens [Hz] hvert halve sekund
- Tilsynelatende hastighet [m/s] hvert halve sekund
- Horisontalvinkel [°] hvert halve sekund

#### De viktigste egenskapene som deretter tilegnes hvert enkelt skred:

- Tidspunkt for skredet
- Gjennomsnittlig horisontalvinkel fra sensornettverk til lydkilde [N0° – N360°]
- Vinkelendring fra sensornettverk til lydkilden fra første til siste lydsignal (målt i grader med eller mot klokka, sett i forhold til sensornettverket).
- Varighet [s]
- Amplitude på trykkbølgen [mPa] (dvs. lydstyrke, volum)
- Tolket pålitelighet (i prosent eller kategorier, f.eks. 'høy' eller 'middels')

Mer utfyllende beskrivelser av hvordan Wyssen sitt IDA-system fungerer, kan finnes i ulike artikler og studentoppgaver (f.eks. Ulivieri, 2011; Humstad m. fl., 2016; Søderblom og Hansen 2016; Lunde, 2017).

## 2.2.2 Programvare og fysisk utstyr

Det fysiske utstyret som Vegvesenet tok i bruk i 2014 ble levert av det italienske firmaet 'iTem s.r.l.' (senere 'GeCo s.r.l.') gjennom Wyssen Norge AS. Fra 2018 tok Wyssen Avalanche Control i Sveits over produksjonen. Gjennom denne utviklingen ble plastbokser med manuelt utskårede hull for beskyttelse av trykksensorene, som ble brukt de første sesongene, byttet ut med maskinproduserte sensorbokser i stål og aluminium med god vannforsegling (se Figur 5). Disse ble montert på korte stålstag rett over bakken. Det nye utstyret var noe mindre avhengig av snø som isolering/filter. Da IDA-systemet gikk over til utstyr produsert i Wyssens egenregi, ble også datainnsamlingen gjort på Wyssens egne servere.

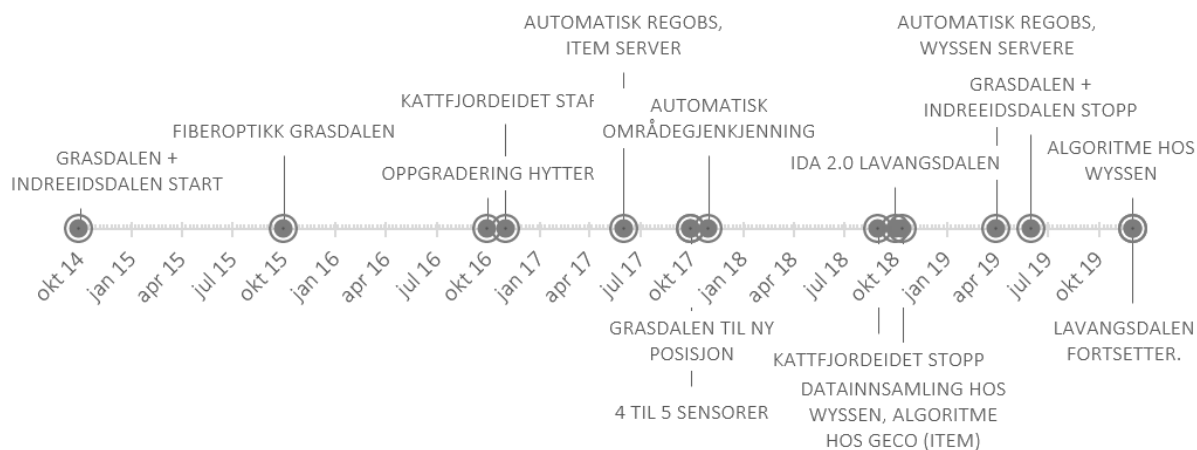
Når det gjelder programvare, så ble også deteksjonsalgoritmen gradvis overført fra Item/GeCo til Wyssen sine servere. Sesongen 2018/2019 kjørte den operative algoritmen hos GeCo, samtidig som samme algoritme kjørte parallelt hos Wyssen for å undersøke hvor godt denne overgangen ville fungere. Sesongen 2019/2020 ble algoritmen hos Wyssen satt til å være den operative, mens GeCo-algoritmen fungerte som kvalitetssjekk. Fra høsten 2020 kjører datainnsamling og prosessering utelukkende på Wyssens servere.



Figur 5: Venstre: plastbokser som rommer infralydsensorer. Murerbøtten lå over den hvite boksen for å beskytte denne. Disse ble brukt fram til 2018. Høyre: Nye sensorbokser produsert av Wyssen i Sveits fra 2018 (foto: Wyssen Norge AS).

## 2.3 Konseptutvikling

Gjennom årene infralyd har blitt brukt, har teknologi og konsept utviklet seg underveis. I dette avsnittet utdypes utviklingen nærmere. Figur 6 gir en oversikt over hvilke justeringer av teknologi og konsept som omtales videre.



Figur 6: Konseptutvikling under prosjektet (figur: Wyssen Norge).

### 2.3.1 Oppstart med klimapåkjenninger

Den første sesongen (2014/2015) ble målinger utført i Grasdalen og Indreidsdalen. Oppsettet var forholdsvis enkelt. Tre sensorer ble plassert i en trekant rundt kontrollbua, der den fjerde og siste sensoren ble plassert. Kontrollbua hadde en enkel design. Elektriske signalkabler mellom sensorene og kontrollbua lå eksponert i terrengoverflaten. Denne bua inneholdt PC, modem og brenselcelle. Detekterte skred ble klassifisert i to kategorier: *høy* pålitelighet og *middels/lav* pålitelighet. Varsel om hendelser ble sendt på SMS og e-post til en forhåndsdefinert mottakerliste, og de viktigste egenskaper ved skredene ble vist på en egen nettside for prosjektet.

Et eksempel på automatisk utsendt SMS ser slik ut:

*Snøskred fra skredløpet **Stortinden** i **Lavangsdalen** er detektert ved hjelp av infralydmålinger. Skredet gikk **22.10**, kl. **14:03**. Signalvarigheten på deteksjonen var **63** sekunder.*

Tekst med uthevet skrift ble hentet fra prosjektinformasjon for den enkelte lokaliteten eller fra tekniske data fra det enkelte skredet, mens resten er standardtekst brukt i alle meldinger.

Flere utfordringer oppstod som følge av tung snø, ising og små flommer som påvirket både kontrollbu, strømforsyning og deteksjonsevne. I tillegg var dataflyten ustabil som følge av uklarheter rundt Vegvesenets mobilabonnement. For nedre del av Grasdalen ble det en tilleggsutfordring at atkomsten på ski til anlegget var skredutsatt, slik at det ble vanskelig å inispisere det vinterstid. I sommersesongen ble noen av kablene ødelagt av beitende kyr.



Det var altså ikke vinden som var den største utfordringen, slik vi vurderte det på forhånd. Den viktigste konklusjonen fra første sesong, var at hele konseptet måtte bli mer robust mot en rekke påkjenninger i norsk høyfjellsklima.

### 2.3.2 Værbestandighet og validering

Før den andre sesongen (2015/2016) ble det gjort en rekke forbedringer. Kontrollbuene ble forsterket, de elektriske signalkablene ble byttet ut med fiberoptiske kabler og disse ble lagt i korrugerte trekkerør (diameter ca. 50 mm) som ble både bardunert og terrengtilpasset slik at de kunne tåle både flomstore bekker og beitende kyr. Sensorplasseringen ble målt inn med GPS og til dels markert med brøytestikker, for å muliggjøre eventuelle utskiftninger ila. vintersesongen. Fra den første sesongen til den andre økte oppetiden fra 15 % til 78–95 %. Antall deteksjoner på de to lokalitetene økte fra 5 til 95 skred i sesongen (Humstad m.fl., 2016).

Skredregistreringer i IDA ble forsøkt verifisert manuelt vha. webkamera eller andre manuelle observasjoner, f.eks. brøytemannskap som fotograferte skredmasser når de allikevel kjørte forbi. Dette var naturlig nok en utfordring, da sikten ofte var dårlig på grunn uvær og fravær av dagslys under de verste skredsyklusene vinterstid. Dessuten er kontrasten langs både bruddkant og skredavsetninger svært dårlig, med mindre lyset er spesielt gunstig som ved klarvær og god lysvinkel (f.eks. kveldslys). I tillegg krever dette mye manuelt arbeid. Det var ikke gitt at de involverte i prosjektet til enhver tid hadde anledning til å gjøre manuelle bildesøk, gå inn på live-kamera eller stoppe bilen for å ta bilder.

Testlokaliteten ved nedre Grasdalen hadde den ulempen at de mange *glideskredene* som gikk fra de bratte svaene ikke var så relevante for veg, fordi vegen var utsatt for andre skredproblem (flakskred i lagdelt vintersnø). Fordelen med denne lokaliteten var derimot at glideskred er lette å verifisere i bilder, da hele snødekket forsvinner og eksponerer mørke fjelloverflater som gir god kontrast i bildeserier (Humstad m. fl., 2016). Det var dermed en god lokalitet for testing og verifisering av deteksjonsevnen, men ikke fullt så god for testing av anvendbarheten til varslingen fra systemet.

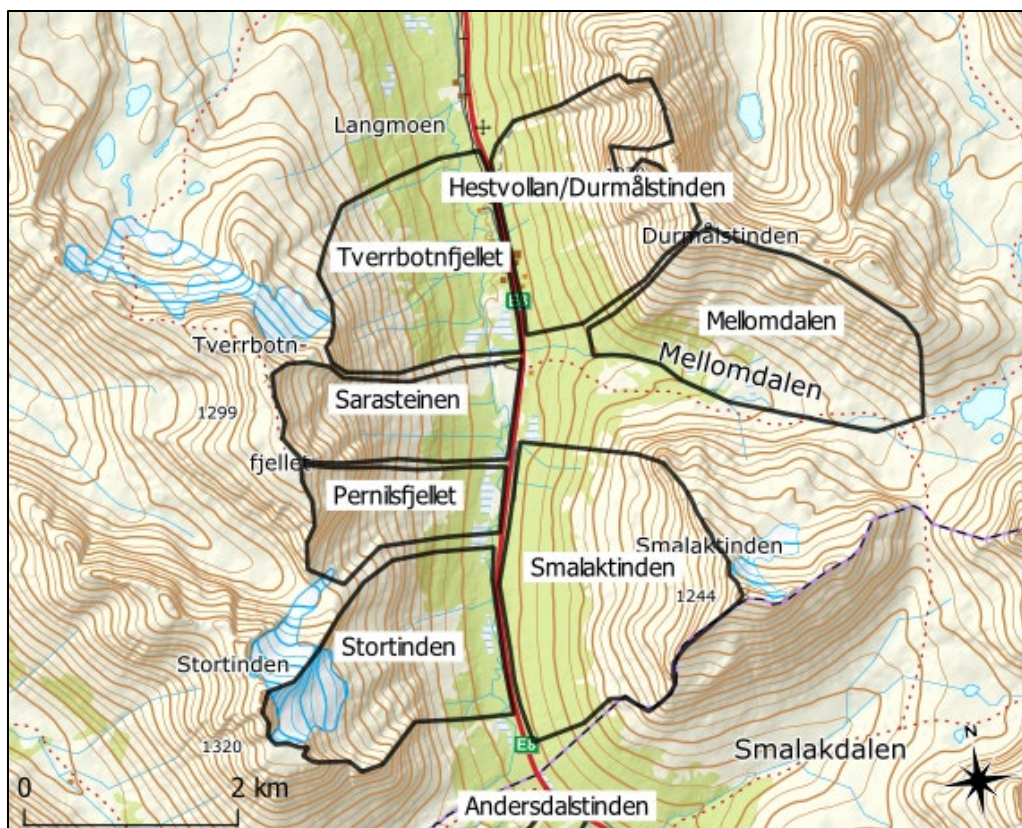
I løpet av de to første sesongene ble kun 5 av 95 skredeteksjoner antatt å være falske alarmer (Humstad m. fl., 2016). De lovende resultatene fra den andre sesongen, samt økende etterspørsel etter skredovervåking i Vegvesenet, førte til at prosjektet ble videreført de påfølgende sesongene. Det ble også utvidet slik at en lokalitet på Kattfjordeidet i Tromsø ble med fra 2016/2017. Før denne sesongen ble også strømforsyningen forsterket med solcellepanel i tillegg til brenselcelle.

Før sesongen 2017/2018 ble sensornettverkene utvidet fra 4 til 5 sensorer.

### 2.3.3 Automatisk stedfesting

Søderblom og Hansen (2016) utviklet i sin bacheloroppgave om infralydteknologi i Grasdalen et konsept for å stedfeste hver enkelt deteksjon til bestemte soner. Disse sonene bestod av skredløp eller grupper av skredløp (i prosjektet omtalt som 'skredsoner', eller 'skredområder'). Ulike GIS-verktøy ble brukt for å klassifisere terrengsoner ut fra hvordan de naturlig hørte sammen, f.eks. om de lå inntil hverandre og hadde lignende helningsvinkel og helningsretning. Deretter ble det satt opp regler for hvordan ulike infralydparametere fra hvert skred automatisk skulle kobles til en skredsoner. Dette ble gjort ut fra hvilke egenskaper som var teknisk mulig i hver sone. Parameterne som ble brukt til dette var 1) horisontal gjennomsnittsvinkel (asimut) fra sensornettverket mot lydkilden, 2) positiv horisontal vinkelendring gjennom selve skredet (endring av asimut *med* klokka) og 3) negativ, horisontal vinkelendring gjennom skredet (endring av asimut *mot* klokka). Alle vinkler og vinkleendringer beskrives i grader (0 - 360°) i forhold til sensornettverket.

Den største fordelen med en slik soneinndeling, var at systemet kunne stedfeste skredene vha. automatisk navnsetting, slik at dette lett kunne framkomme i SMS og e-post der grafisk visning ikke var mulig. For eksempel kunne et skred i «sone G» i Lavangsdalen automatisk få navnet «Smalaktinden» i SMS og e-post som ble mottatt av brøytemannskapet (se Figur 7).



**Figur 7: Navn på skredområder i Lavangsdalen i Tromsø kommune brukt til stedfesting/navnsetting av de enkelte skredene.**

En slik løsning ble innlemmet i konseptet fra desember 2018 og videreutviklet senere.

### 2.3.4 Integrasjon til andre systemer

Gjennom en samarbeidsavtale mellom NVE og Statens vegvesen om regional skredvarsling i Norge (på varsom.no), blir det satset på en offentlig utveksling av bl.a. ferske vær-, snø- og skreddata, slik at denne informasjonen kan komme til nytte og gjenbrukes i både i regionale, lokale og steds spesifikke varslingstjenester fra offentlige og private tjenesteleverandører. Det ble derfor bestemt at data fra infralydanleggene automatisk skulle sendes til Regobs-plattformen (regobs.no) som NVEs regionale varslingstjeneste bruker, ikke bare brukes internt i Statens vegvesen.

Ut fra denne tankegangen utarbeidet Lunde (2017) et forslag til automatisk dataflyt fra IDA-systemene til Regobs. Forslaget gikk ut på å bruke data som IDA-systemet leverte og omsette disse, så langt det lot seg gjøre, til observasjonstyper<sup>1</sup> som Regobs etterspurte og som inkluderer skredregistreringer. Eksempler på dette var ferske skred som 'faretegn', 'skredaktivitet' eller 'skredhendelse'. Lunde (2017) foreslo at IDA-deteksjoner med av *lav/middels* pålitelighet kunne sendes til Regobs som faretegn (i betydningen 'mulig ferskt skred'), mens IDA-deteksjoner av *høy* pålitelighet kunne sendes som enten skredaktivitet eller skredhendelse. For å minimere sannsynligheten for å sende falske alarmer til Regobs, mente Lunde at IDA-deteksjoner som *ikke* sammenfalt med de definerte skredsonene (se avsnitt 2.3.3) burde neglisjeres. Det ble også foreslått en modell for å estimere skredets størrelse basert på en sammenligning av skredets lengde (observert i felt) med varighet av skredhendelsen (målt i IDA-systemet). Lite snø på feltlokaliteten på Kattfjordeidet den aktuelle vinteren oppgaven ble gjennomført (2016/2017), ga liten skredaktivitet og mye støy rundt sensorene, noe som gjorde det vanskelig å verifisere denne delen av modellen. Det ble derfor foreslått å jobbe videre med dette i senere prosjekter.

Integrasjon med Regobs ble gjennomført i prosjektet fra høsten 2017 i øvre Grasdalen, Indreeidsdalen og på Kattfjordeidet. Fra starten ble registreringene overført til Item/GeCo sine servere, mens fra våren 2019 ble dette gjort fra Wyssens egne servere. Objektet 'skredaktivitet' ble fra starten brukt som en generell registrering for et helt døgn dersom det *ikke* gikk skred i måleområdet (i betydningen «ingen skredaktivitet siste døgn»), mens objektet 'faretegn' (ferske skred) ble midlertidig prøvd ut som øyeblikksregistrering idet skred ble detektert med høy pålitelighet. Skred med lav/middels pålitelighet ble ikke sendt i det hele tatt i denne første utprøvingen. Siden avgrensning av måleområdet var vanskelig å forstå for

---

<sup>1</sup> Regobs API: <http://api.nve.no/doc/regobs/>

publikum, ble egenskapen «ingen skredaktivitet siste døgn» etter hvert fjernet. Det kunne jo gå skred i skyggeområder og avstander større enn 3 km, så dette ble litt misvisende for noen brukere. Det ble derfor satset videre på registrering kun av faktisk detekterte skred med siktemål om å bruke 'skredaktivitet' eller 'skredhendelse' senere, i tråd med forslaget til Lunde (2017). Fra vinteren 2020/2021 ble dette innført operativt.

Det er i skrivende stund (mars 2021) sendt 815 registreringer<sup>2</sup> fra infralydanleggene til Regobs. Disse registreringene inneholder teknisk informasjon, dels fylt inn i datafelter, og dels skrevet ut som forhåndsdefinerte «fritekster» med teknisk innhold. Foto er til nå ikke automatisk lastet opp, men mulighet for manuell oppdatering innen 48 timer etter opprettelse av en registrering, gjorde det i mange tilfeller relevant å etterregistrere bilder og annen dokumentasjon (se eksempel i [regobs 228905](#)).

---

<sup>2</sup> Registreringer fra IDA-anleggene som Wyssen har sendt til Regobs på oppdrag fra Statens vegvesen ([lenke](#))

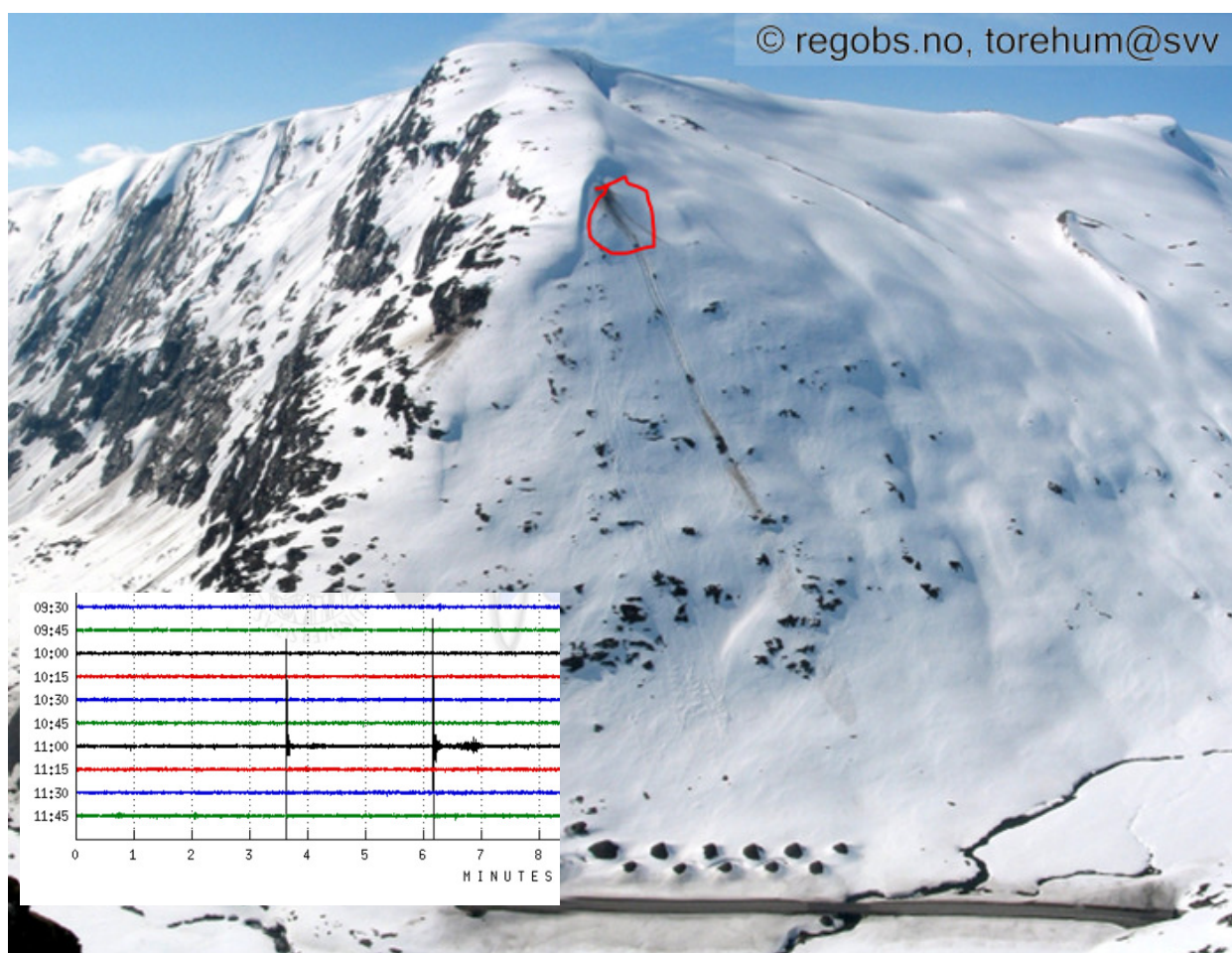


## 3 Resultater

### 3.1 Typer deteksjoner

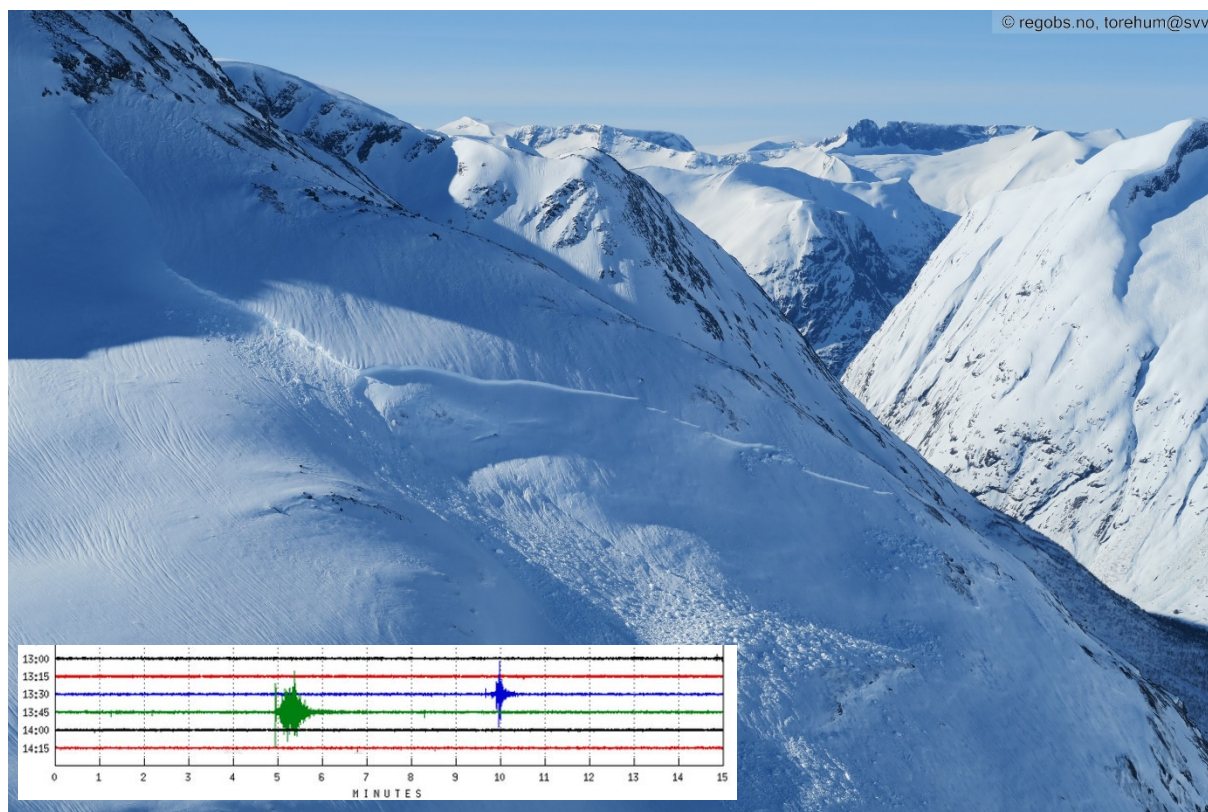
I datasettet fra 2014 – 2020 finnes tre hovedtyper deteksjoner. Disse er 1) naturlig utløste skred, 2) kontrollert utløste skred og 3) sprenginger gjennomført som forebyggende skredkontroll.

*Sprengingene* framstår som tydelige pulser med stor amplitude og kort varighet. *Skred* har mindre amplitude og vesentlig lengre varighet. De kontrollert utløste skredene kjennetegnes ved at de kommer rett etter en sprengning (se Figur 8), mens de naturlig utløste skredene sees uten noen forutgående utslag (Figur 9).



Figur 8: Bilde tatt fra webkamera etter forebyggende skredkontroll 27.2.2016 utført av Mesta AS, der infralydanlegget først detekterte en sprengning kl. 11:03 (UTC) som ikke førte til skred (se [regobs 87697](#)). Deretter ble en sprengning utført kl. 11:06 (UTC). Dette førte til et lite løssnøskred som sees midt i bildet ([regobs 87697](#)). Begge sprengingene sees som store amplituder i trykkbølgediagrammet, mens skredet sees som små utslag minuttet etterpå. Et lignende eksempel fra 16.3.2016 kan sees på [regobs 89612](#).





Figur 9: Skreddeteksjon av ett, eller mest sannsynlig to, naturlig utløste skred fra Svartebardskaret 26. mars 2017 13:40 og 13:55 (UTC). Det største skredet, som ble klassifisert som str. 4 svært stort, gikk ned i Grasdalen (til høyre), mens IDA-anlegget fortsatt stod i nedre del av dalen. Skredområdet lå dermed litt i skyggen for anlegget, og dette kan ha bidratt til at skredet framstår mer beskjedent enn det var i virkeligheten (foto: Tore Humstad).

### 3.2 Detekterte hendelser

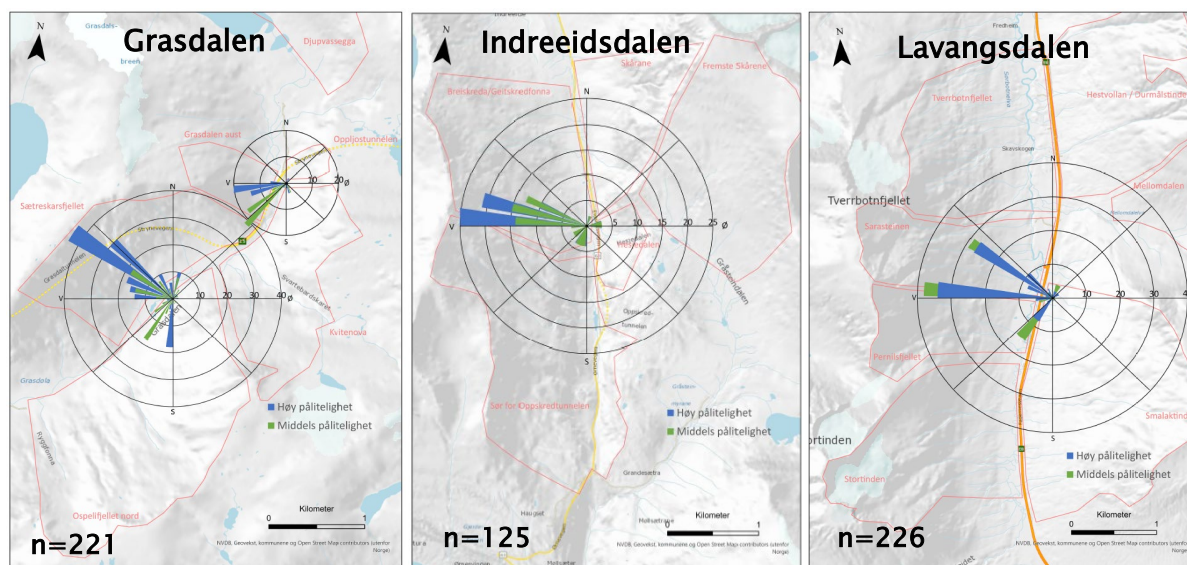
Det ble i perioden 2014 – 2020 gjort 584 deteksjoner. Av disse er 271 deteksjoner klassifisert med middels pålitelighet og 313 med høy pålitelighet (se Tabell 2). Disse fordelte seg på følgende typer hendelser:

- Naturlig utløste snøskred            547
- Kontrollert utløste snøskred        4
- Sprenginger                            33

Alle sprengninger og kontrollert utløste skred tilhører lokaliteten i Grasdalen, hvor Mesta AS utfører forebyggende skredkontroll for Statens vegvesen noen ganger pr. sesong i skredløpet Sætreskarsfjellet og hvor Wyssen Norge AS utførte sprengninger for NGI i skredløpet Ryggfonn.

534 hendelser ble automatisk detektert, mens 50 er manuelt etterregistrert i forbindelse med validering av hendelser og videreutvikling av algoritmer. Omfanget manuelle etterregistreringer var spesielt omfattende sesongen 2016/2017.

Retningen mot lydquellen (gjennomsnittlig horisontalvinkel) er plottet i kart i Figur 8 og vedlegg A - C.



**Figur 10:** Detekterte hendelser er plottet mht. asimut (gjennomsnittlig horisontalvinkel fra infralydanlegg) og antall. De er også sortert på pålitelighetskategori og plassert på aktuelle lokaliteter (se detaljer i vedlegg A - C). Skredsoner brukt til navnsetting (se avsnitt 2.3.3) er vist i bakgrunnskartet. I tillegg til disse, ble det gjort 12 deteksjoner på Kattfjordeidet mellom 2016 og 2018.

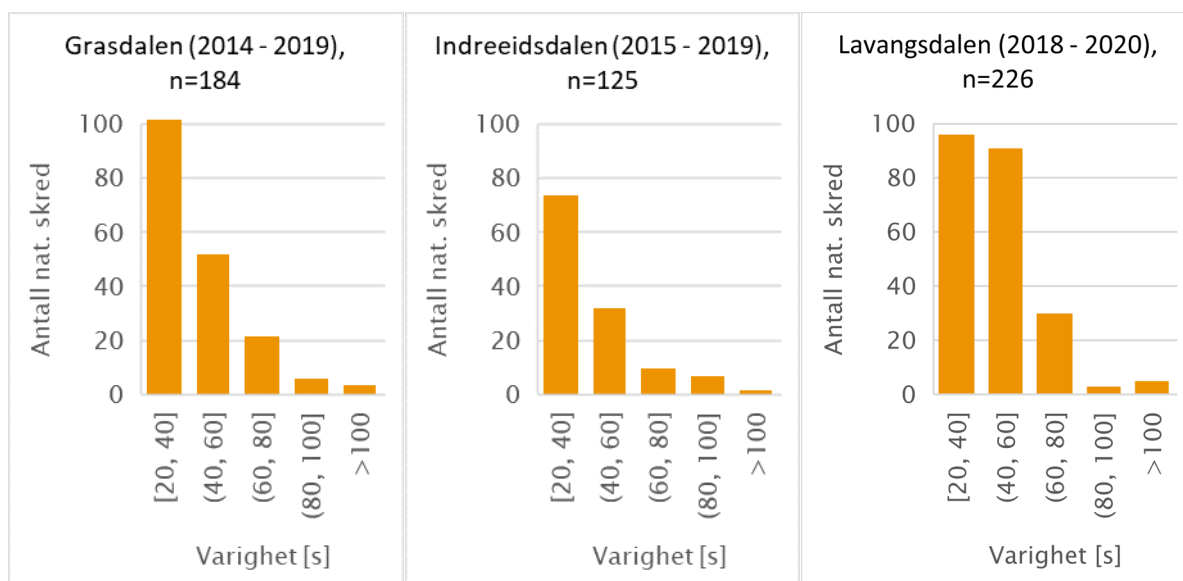
Deteksjonene er også sortert på de fem lokalitetene i Tabell 2.

I Lavangsdalen er det gjort ytterligere 35 deteksjoner i 2020/2021 pr. 5.3.2020. Disse er ikke beskrevet nærmere i denne rapporten. Men flere av disse er godt fotodokumentert og mulig å studere videre.

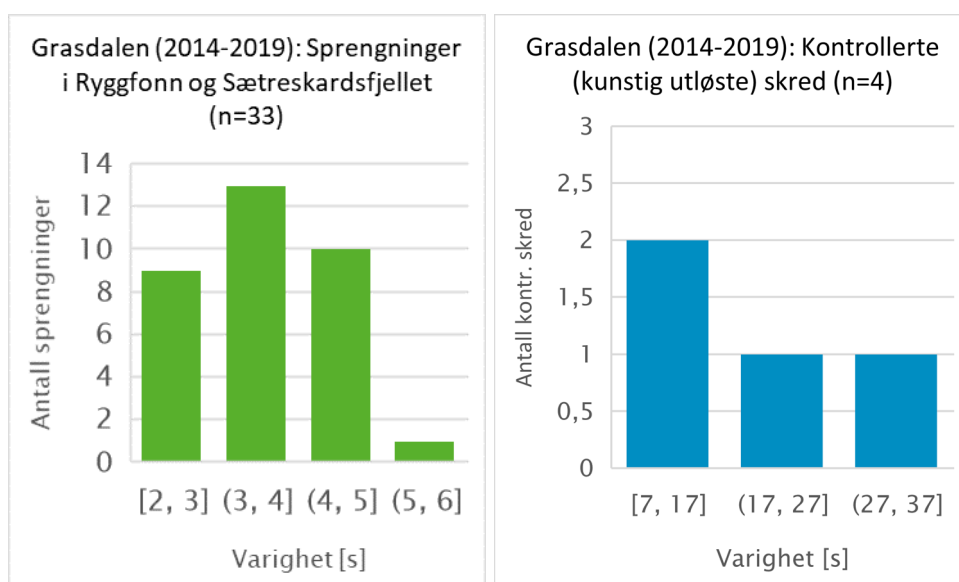
**Tabell 2:** Oversikt over totalt antall infralyd-deteksjoner av snøskred og skredutløsning med middels og høy pålitelighet, samt andel automatiske tolkninger (i motsetning til manuell etterregistrering)

Sesong	Grasdalen, nedre			Grasdalen, øvre			Indreeidsdalen			Kattfjordeidet			Lavangsdalen		
	med.	høy	aut. [%]	med.	høy	aut. [%]	med.	høy	aut. [%]	med.	høy	aut. [%]	med.	høy	aut. [%]
2014/2015	1	4	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015/2016	36	34	98	-	-	-	15	15	97	-	-	-	-	-	-
2016/2017	23	61	60	-	-	-	9	16	84	11	0	100	-	-	-
2017/2018	-	-	-	7	16	77	27	22	86	1	0	100	-	-	-
2018/2019	-	-	-	22	17	97	5	16	100	-	-	-	45	70	100
2019/2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69	42	100
<b>Sum</b>	<b>60</b>	<b>99</b>	<b>-</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>-</b>	<b>56</b>	<b>69</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>114</b>	<b>112</b>	<b>-</b>

Varigheten på de ulike deteksjonene er sortert på kategori pr. lokalitet og oppsummert histogram i Figur 11 og Figur 12.



Figur 11: Histogram som viser varighetskategorier for deteksjoner av naturlig utløste skred i Grasdalen (nedre og øvre), Indreiedsdalen og Lavangsdalen. Deteksjonene på Kattfjordeidet (n=12) hadde ujevn kvalitet og er ikke tatt med her.

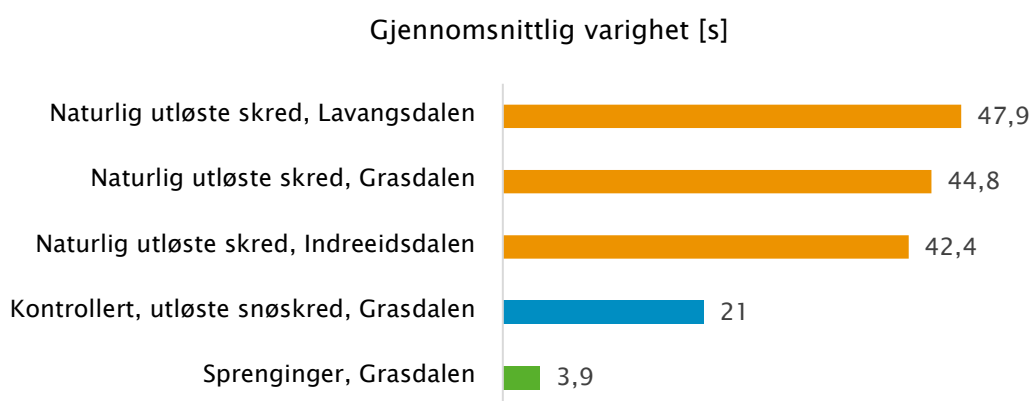


Figur 12: Histogram som viser varighetskategorier på detekterte sprengninger i Grasdalen (Ryggfonn og Sætreskarsfjellet) og deteksjoner av kontrollerte (kunstig utløste) skred som følge av sprengning.

Gjennomsnittlig varighet pr. type hendelse og lokalitet er oppsummert Figur 13. De naturlig utløste skredene i Lavangsdalen ser ut til å ha litt lengre varighet (i snitt) enn skredene i Grasdalen og Indreiedsdalen. Det kan være ulike grunner til at lydilder fra skred får ulik varighet, f.eks. lengden på skredløp, utløpsdistanser i de enkelte hendelsene, snøens fuktighet, totale snømengder og antall bølger i skredet. Vi går ikke nærmere inn på noen tolkning av dette i denne rapporten, men det er viktig å merke seg at varigheten på lydilden ikke nødvendigvis er det samme som tiden fra

et skred løsner til fronten stopper. Det er ikke uvanlig med bevegelser skredløpet selv etter at fronten har stoppet.

Et påfallende trekk i diagrammet (Figur 13), er at kontrollert utløste skred ser ut til å ha en vesentlig kortere varighet enn naturlig utløste. Dette kan til en viss grad være tilfeldig (datagrunnlaget er svært tynt for førstnevnte), men en viktig forklaring er terskelverdien på 20 sekunder som er satt for naturlig utløste skred (Mayer, 2019), ikke gjelder for skred som er forårsaket av sprenging. Dessuten er det rimelig å anta at noen sprenginger har blitt gjort på stabile forhold, noe som har medført kun små, løssnøskred.



Figur 13: Gjennomsnittlig varighet av ulike typer hendelser i perioden 2014 – 2020.

### 3.3 Oppetid og deteksjonsevne

Umiddelbare forbedringer fra den første til den andre sesongen, førte til at oppetiden økte fra 15 % til 78–95 % (Humstad m.fl., 2016). I dette tilfellet ble oppetid brukt som et tall på hvor stor del av sesongen anlegget hadde kommunikasjon og var i stand til å levere data til server.

Det har ellers ikke vært fokusert mye på oppetid i de aktuelle prosjektene. Dette skyldes at vi i hovedsak har hatt god kontakt med anleggene mesteparten av tiden, og at de viktigste skredsyklusene har blitt detektert. En presis tallfesting av oppetid krever en streng definisjon av hva oppetid er. Det kan være snakk om teknisk oppetid, f.eks. at anlegget virker teknisk, at det samler data og har strøm og kommunikasjon. Eller det kan være snakk om funksjonell oppetid, f.eks. at støykilder ikke forstyrrer datafangsten, at alle terskelverdier er riktig satt og at alle mottakere får melding på korrekt måte.

Vi har i dette prosjektet antatt grovt sett at anleggene har hatt evne til å detektere skred om lag 90 % av tiden. Dette er altså ikke dokumentert vitenskapelig, så det kan være en aktuell oppgave i en senere studie.

### 3.4 Validering av resultater

#### 3.4.1 Problemstilling

Hvordan kan vi vite at de detekterte skredene var virkelige skred? Og hvordan vet vi at *ingen* alarmer fra anlegget er ensbetydende med ingen skred?

Det ligger i sakens natur at validering av hendelser er krevende. Dette skyldes naturlig nok både sikt- og værutfordringer og tidkrevende manuell oppfølging (Humstad, m. fl., 2016). Det er jo nettopp på grunn av usikre skreddata at infralydteknologi har blitt tatt i bruk. En fullgod validering må jo i praksis gjøre omtrent samme jobben som infralydanlegget, nemlig dokumentere alle skred og alle dager med fravær av skred. Den eneste fordelen et valideringssystem har sammenlignet med selve infralydanlegget, er at den har bedre tid på seg. I allfall kan det «vente» på bedre sikt, så lenge sporene etter skred i snøen ikke viskes ut av vær og vind. Men en åpenbar ulempe med ventetid, er at de som utfører manuelle valideringsoperasjoner ofte ikke har tid og ressurser til å vente eller til stadighet å sjekke om sikten har blitt god nok, f.eks. til å ta bilder.

En annen utfordring med validering, er at den ikke bare skal bekrefte eller avkrefte skreddeteksjoner i anlegget, den skal også identifisere skredhendelser som anlegget *ikke* klarer å detektere og bekrefte at dager *uten* skreddeteksjoner faktisk var dager uten skred. Den skal altså bekrefte og avkrefte både forventet deteksjonsevne og falske alarmer, enten skredene går eller ikke (Steinkogler m.fl., 2018).

Vi har med bakgrunn i ovennevnte faktorer ikke vært i stand til å gjøre en presis validering. Det generelle inntrykket har likevel vært at feilmarginen har vært tillitsvekkende lav. Men vi har observert at lokaliteter som i perioder har hatt tynt snødekke og trolig mer vindstøy (f.eks. Kattfjordeidet og periodevis Indreeidsdalen), har gitt mindre pålitelige data. Mayer m. fl. (2019) fant 13–30 % falske alarmer i sine data fra Sveits. I sin drøfting av dette, peker de på at sensorer plassert i befolkede og snøfattige dalbotner i Sveits kan være utsatt for mer støy enn fjerntliggende høyfjellsterreng i Norge.

De forsøkene som er gjort for å validere deteksjoner i Norge, er bl.a. dokumentert på bilder blant de 815 automatiske registreringene<sup>3</sup> i Regobs (hvor bilder er lagt til i

---

<sup>3</sup> Automatiske registreringer fra IDA-anleggene sendt til Regobs (NVE) på oppdrag for Statens vegvesen ([lenke](#))



etterkant) og til en rekke manuelle etterregistreringer gjort på de fem lokalitetene i perioden 2014 – 2020. Disse kan søkes fram i kart, f.eks. på xgeo.no.

### 3.4.2 Bruk av kamera

#### Kamera i Grasdalen

I dette prosjektet ble det brukt kamera som allerede var plassert på fjellet Kvitenoa og ved Ryggfonn og Fonnbu for lokalitetene i Grasdalen. Fra Kvitenoa ble det tatt bilder i faste bildeutsnitt hvert 10 minutt, noe som ga en god validering av hendelser så lenge det var sikt. Figur 14 viser et eksempel.



Figur 14: Resultat etter bruk av bildeserier tatt fra Kvitenoa i faste utsnitt og med faste mellomrom (10 minutter). Dette avslører fire (gulmarkerte) skred 24. april 2016 (se [regobs 95521](#)). Skred kl. 12:36 og 13:51 ble også bekreftet av infralydanlegget, mens skred ca. 14:55 og 15:41 lå delvis i skyggen for datidens plassering av infralydsensorer og er ikke bekreftet.

#### Kamera i Indreeidsdalen

I Indreeidsdalen ble fotografering så langt det lot seg gjøre utført av brøytemannskap vha. mobilapplikasjoner (se Figur 15). På slutten av prosjektet ble det dessuten satt opp et styrbart kamera på Hesjedalshaugen på østsiden av dalen (Figur 16).



Figur 15: Eksempel på detektert skred fra «Breiskreda» i Indreeidsdalen (se [regobs 139214](#)). Foto fra ulike mobilapper brukt av entreprenør på stedet (foto: Veidekke AS)



**Figur 16:** Styrbart kamera ved Hesjedalshaugen (ca. 980 moh) på østsiden av Indreeidsdalen. For eksempel på bruk i validering, se [regobs 188020](#) (foto: Tore Humstad)

### Kamera i Tromsø (Kattfjordeidet og Lavangsdalen)

I Tromsø ble det montert opp styrbart kamera først ved Kattfjordeidet, og senere i Lavangsdalen. Kameraene har blitt brukt manuelt så langt det har vært mulig.

Gjennom vinteren 2018/2019 ble det i Lavangsdalen gjort flere visuelle observasjoner av ferske skredavsetninger som kan knyttes opp til enkeltregistreringer. De fleste av observasjonene er gjort med styrbart, fast installert kamera (PTZ-kamera) på rasteplassen ved Sarasteinen kort tid etter varsel fra IDA-systemet. Kameraet var også programmert til å ta automatiske bilder av fem forhåndsdefinerte løснеområder hver 3. time i dagslys denne vinteren. Bildene ble lagret på FTP-server tilgjengelig for visuelle analyser.

Et eksempel på verifisering av skred vha. kamera etter skreddeteksjon 9. april 2019 er vist i (Figur 17). Fra disse bildene kan en dokumentere at skredet må ha gått i tidsrommet mellom 08:00 og 11:07 denne dagen. Denne hendelsen ble tilfeldigvis også dokumentert av forbipasserende kl. 09:08 mens skredet pågikk (innfelt foto i Figur 17), noe som i dette tilfellet ga en sikker validering.





Figur 17: Eksempel på infralyddeteksjon av snøskred 9. april 2019 kl. 09:08 i Lavangsdalen. Dette ble godt dokumentert både i infralydanlegg og med kamera (se [regobs 190430](#))

### Erfaringer med kamera

Kameraene har gitt nok dokumentasjon til at de involverte har fått tilstrekkelig tillitt til metoden. Men av åpenbare utfordringer nevnt i forrige avsnitt, har det ikke vært mulig å gi en forskningsmessig, presis dokumentasjon av deteksjonsevne og feil.

Dersom kamera i framtida skal brukes til automatisk validering uten menneskelige feil og begrensninger, ligger nok løsningen i en form for automatisk fotografering som automatisk vurderer lysforhold eller som til dels opererer uavhengig av lysforhold (f.eks. varmekamera eller kamera laget for fotografering i halvmørke). Kamerasystemer som vha. maskinlæring selv tolker skredhendelser eller identifiserer gode værvindu for fotografering (se f.eks. Smørgrav og Susort, 2020), kan være en aktuell løsning, så lenge dette viser seg å være teknisk-økonomisk gjennomførbart for dette formålet.

I påvente av gode løsninger for automatisk fotografering i de rette værvinduene, har gode kameraløsninger for manuelle inspeksjoner vært til stor hjelp for å få tillitt til teknologien, selv om presis tallfesting av ytelsen har vært umulig til nå.

Alle visuelle observasjoner gjennom sesongen 2018/2019 er ikke listet opp i denne rapporten. Men fotodokumentasjon av visuelle observasjoner med PTZ-kameraet er lagret både sammen med skreddeteksjoner i regobs.no og på egne FTP-servere for eventuelle analyser senere.



### 3.4.3 Bruk av satellittdata

Siden det ikke finnes et kontinuerlig datasett med visuelle observasjoner, er det for Lavangsdalen forsøkt å validere infralyddeteksjoner mot satellittobservasjoner. I prosjektet SatSkred<sup>4</sup> blir skredavsetninger på snøoverflaten detektert vha. Sentinel-1 satellitter<sup>5</sup>. I følge Eckerstorfer m. fl. (2019) gjøres repeterte opptak fra Troms med 3–6 dagers mellomrom.

Det har vært utfordrende å sammenligne SatSkred-datasettet med infralyd-registreringene bl.a. på grunn av forsinkelsen på inntil 6 dager. Det er heller ikke mulig å bestemme eksakt tidspunkt for skredet som har forårsaket de kartlagte skredavsetningene. Til sammenligning detekterer IDA alle skred etter noen minutter. En annen forskjell er at SatSkred stedfester skredavsetningene som polygon i et kart, mens IDA har mindre eksakt stedfesting av skred (kun vektorer fra sensorenes plassering i terrenget).

Datasettene må derfor sammenlignes med en lav tidsopløsning og lav kartopløsning for å få et inntrykk av korrelasjonen. Et eksempel på en slik sammenligning er gjort for to skredsykluser i februar 2019 i Figur 18 (og vedlegg D – E). Her kan det antydes en mulig korrelasjon mellom datasettene, men forskjeller der den ene metoden ikke bekrefter den andre.

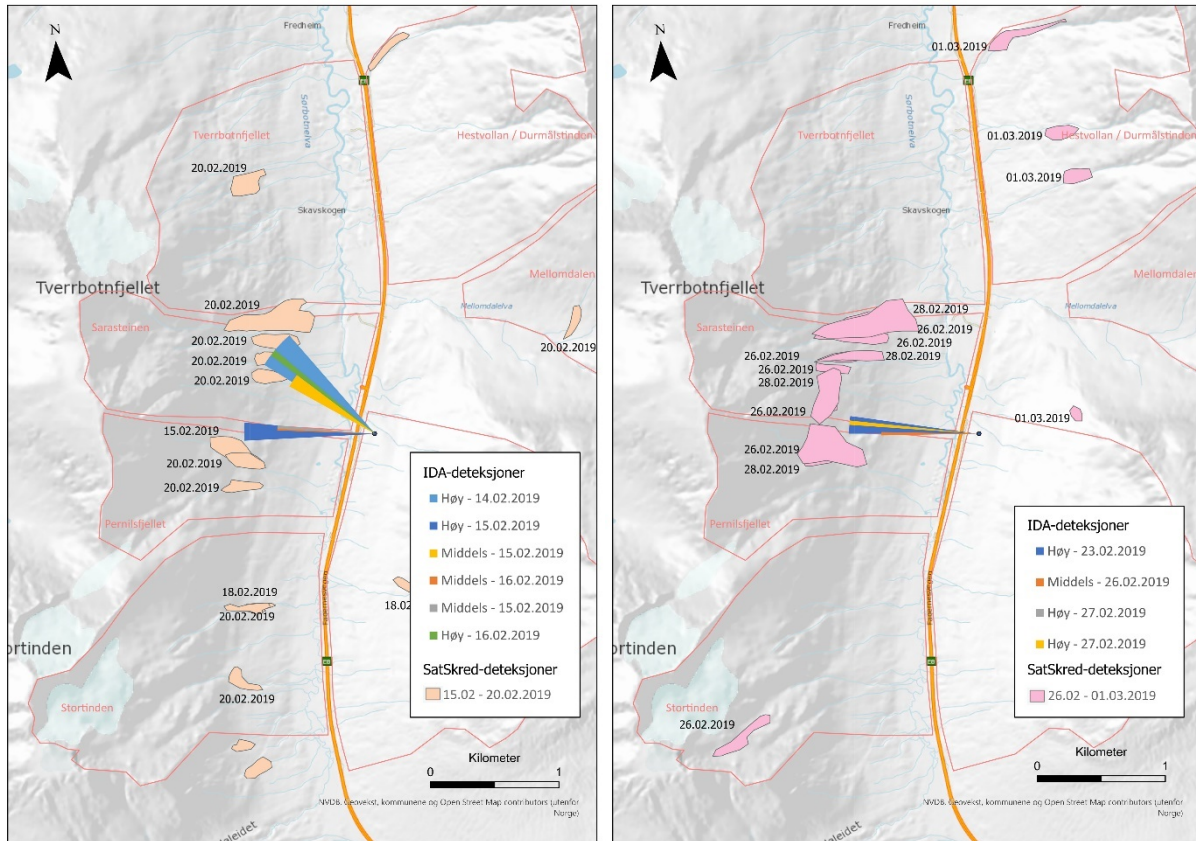
En annen utfordring med å sammenligne disse datasettene, er at mens IDA har sine styrker på deteksjon av tørre snøskred (Ulivieri, 2011), så presterer SatSkred trolig best ved våte skredavsetninger (Oterhals, 2020; Pedersen, 2020).

Til tross for utfordringene med å sammenligne datasettene, utelukkes det ikke at en grundigere sammenligning av et større datasett kunne gi bedre resultater.

---

<sup>4</sup> SatSkred: [satskred.nve.no](https://satskred.nve.no)

<sup>5</sup> Sentinel satellitter: <https://snl.no/Sentinel>



**Figur 18: Detekterte skred med IDA er plottet mot tolkede skred basert Sentinel-1 SAR data. IDA-deteksjoner er plottet mht. start til slutt på horisontalvinkel fra infralydanlegg. SatSkred-data vises som polygoner av antatte skredavsetninger (i utløpssoner) tolket fra Sentinel-1 SAR data. Se full størrelse av figurene i vedlegg D – E.**

## 4 Drøfting

### 4.1 Identifiserte utfordringer

Blant de viktigste utfordringene som prosjektet har støtt på, er påkjenninger fra snølast, is, flomstore bekker og beitende kyr. Av mer praktiske utfordringer kan nevnes lang og kronglete tilkomst til lokalitetene i nedre del av Grasdalen og på Kattfjordeidet, samt gjensnødde dører og luker de første sesongene. Det har også vært administrative utfordringer knyttet til håndtering av varsler, alarmer og oppdatering av mottakerlister.

De fleste utfordringer har blitt håndtert etter hvert som de har blitt identifisert (se Figur 19).

Av mer konseptuelle utfordringer er validering av hendelser og tallfesting av oppetid de mest framtreddende i tillegg til effekt av støy (se avsnitt 4.2).



Figur 19: Forbedring av kontrollbu underveis i prosjektet, der første versjon (2014 – 2016) vises til venstre, og siste versjon (2016 – 2020) vises til høyre.

### 4.2 Deteksjonsevne og vindstøy

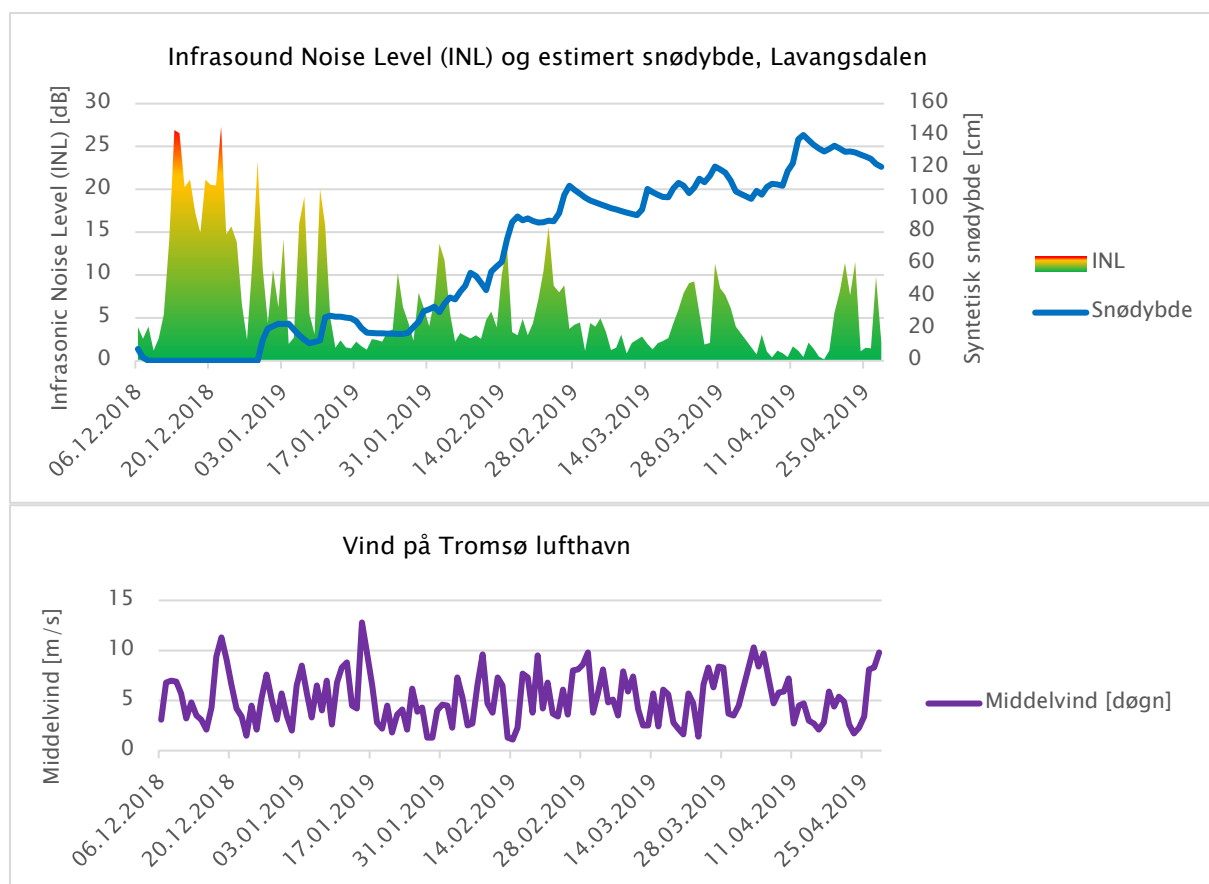
Før prosjektet startet, var den største spenningen knyttet til støy fra vind i kystnært og skogfritt fjellandskap.

Ulivieri (2019) har utviklet indeksen «Infrasonic Noise Level» (INL) for å tallfeste støynivået. INL er et forholdstall mellom infralyd i den aktuelle støykilden registrert i sensorene på stedet og den generelle infralydsstøyen som en kan anta alltid er til stede i bakgrunnen (Bowman m.fl., 2005).

Gjennom dette arbeidet foreslo Ulivieri (2019) en metode for å måle og varsle om reduksjon i deteksjonsevnen som følge av vindstøy. Generelle terskelverdier er

foreslått basert på målinger i 10 infralydsystem i Canada, Sveits og Norge, sesongen 2018/2019.

Denne metoden er brukt på våre data fra Lavangsdalen fra desember 2018 til april 2019 (Figur 20). Støynivået er plottet sammen med estimerte snødybder (syntetiske snødata hentet fra xgeo.no) og vinddata fra Tromsø lufthavn (26 km unna).



**Figur 20: Indeksen 'Infrasound Noise Level' (INL) (Ulivieri, 2019) basert på data fra IDA-systemet i Lavangsdalen reduseres markant når snødybden stiger fra midten av januar. Vinden ser ut til å ha lite å si for støyen etter at snødybden passerer en halv meter, men her må det nevnes at vindmålingene er tatt så langt som 26 km unna. Ulivieri (2019) foreslår at INL større enn 25 medfører at anlegget må vurderes som ikke operativt, mens INL lavere enn 15 bør betraktes som ideelt.**

I en sammenligning Ulivieri (2019) gjorde for anlegg i Sveits, Norge og Canada som var operative samtidig, fikk han følgende rangering fra minst til mest støy:

1. Rogers Pass (tre lokaliteter på ca. 1330 moh) i British Columbia, Canada
2. Quinto (1011 moh), Sveits
3. Blitzingen (1290 moh), Sveits
4. Lavangsdalen (70 moh), Norge
5. Grasdalen (880 moh), Norge
6. Indreeidsdalen (490 moh), Norge
7. Reckingen (1316 moh), Sveits
8. Guttannen (~2000 moh), Sveits



Det ser ut som at de norske lokalitetene skiller seg ut ved å ha mye støy tidlig på sesongen før snøen legger seg og akseptabel støy etter at snødekket har etablert seg. Den mest snøfattige lokaliteten (Indreeidsdalen), ser ut til å få mye støy også på våren da snøen smelter tidligere der enn på de andre lokalitetene. Kombinasjonen skogkledd terreng og stabilt, tjukt snødekke gir minst støy (slik som ved Rogers pass, Quinto og Blitzingen). Reckingen har mest støy på dagtid, noe som antas å skyldes plassering nært et tettsted (500 m unna). Guttannen ligger høyt til fjells, har ikke skog og får mest støy.

Ulivieri (2019) foreslår at INL-verdi større enn 25 dB bør forstås som at anlegget mister deteksjonsevnen mens INL-verdi mindre enn 15 dB betyr at anlegget er fullt ut operativt. Han hevder at anleggene i Norge gjennom testperioden i 2018/2019, og ut fra de nevnte terskelverdiene, har mindre enn 10 % feil som følge av støy. Til sammenlikning har Rogers Pass nærmere 0 %, mens Guttannen i Sveits fikk 27 %.

### 4.3 Operativ bruk i drift av veg

I løpet av sesongene infralydteknologi har vært i bruk, har vi hatt en økende grad av involvering av driftsansvarlige. Mottakere har vært byggeledere, kontrollingeniører, anleggsledere, maskinførere og brøytebilsjåførere involvert i drift av veg. Nytteverdien har vært best i tilfeller der mottakerne har et bevisst forhold til skredfare, f.eks. dersom det betyr noe for egensikkerhet eller måten de utfører arbeidet på. En suksessfaktor for vellykket mottak av alarmer, er at kun de mest relevante varslene sendes ut, at teksten er lett forståelig og kommer fram til rett tid.

Det har også vist seg at en viss faglig forståelse for snøskred og lokale forhold er avgjørende for at varslene brukes på rett måte. Sannsynligvis er det en fordel at geofaglige enheter har ansvaret for å forvalte og følge opp slike systemer.

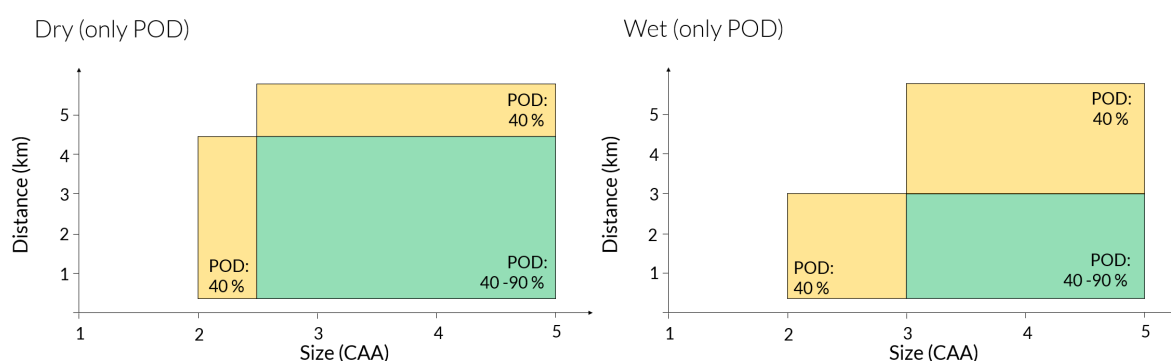
### 4.4 Betydning av avstand og skredtype

Det har innen forskning på infralyddeteksjon av snøskred etablert seg en forståelse av at deteksjon er mulig med avstander inntil 3–6 km, men at dette er avhengig av både skredstørrelse og skredtype (Steinkogler m. fl., 2018; Mayer m.fl., 2019). I våre målinger gikk de fleste detekterte skred i Grasdalen 2 – 4 km fra sensornettverket. Ved ett tilfelle, ble det også detektert et stort, kunstig utløst skred i Napefonn ([regobs120879](#)), som ligger om lag 6 km unna sensorene (Lunde, 2017).

I Indreeidsdalen, som er en trang og dyp dal, ble de fleste skred detektert innen 1 – 2 km fra sensoren. De samme avstandene gjaldt for Kattfjordeidet, mens for Lavangsdalen lå de fleste skred 2 – 4 km fra sensorene. Disse avstandene henger naturlig nok sammen med terrenget lokalt, dvs. hvor det er naturlig at skred går og hvilke skyggeområder som finnes. Men avstanden betyr mye, fordi jo lengre unna et

skred går, jo mindre endringer blir det i både horisontale og vertikale vinkler sett fra sensornettverket.

Steinkogler m. fl. (2018) hevder at tørre snøskred vanligvis skaper kraftigere infralyd enn våte snøskred, noe som gjør det lettere å detektere dem i større avstander. Våte snøskred må til sammenligning ha større volum og gå i brattere terreng for å bli detektert like lett som tørre skred. Et forslag på å beskrive deteksjonsevne (POD, probability of detection) er vist i Figur 21 (Steinkogler, m. fl., 2018).



**Figur 21: Deteksjonsevnen (probability of detection, POD) er begrenset av avstand og skredstørrelse. Tørre skred (t.v.) er normalt lettere å detektere enn våte skred (t.h.). Figur fra Steinkogler m. fl. (2018)**

## 4.5 Bruk i skredvarsling

Gjennom automatiske og manuelle etterregistreringer av infralyd-detekterte skredhendelser i Regobs, har anleggene bidratt med datagrunnlag for både regionale og lokale skredvarslingstjenester. En viktig fordel med automatiske målinger av skredaktivitet, er at observasjoner kan tilflyte varslingen hele døgnet, i motsetning til hva som er tilfellet med utelukkende å bruke menneskelig observasjonskorps som må jobbe i dagslys. Det betyr at ferske observasjoner kan ligge klar når skredvarslerne starter på jobb om morgenen.

### Regional skredvarsling

Det er ikke gjort en egen vurdering av betydning for regional snøskredvarsling (på varsom.no). Men de fem infralydlokalitetene har gitt data til fire varslingsregioner (Indre Fjordane, Sunnmøre, Lyngen og Tromsø) i flere sesonger. I varslingsverktøyet som brukes for å publisere varsler på varsom.no, er det et eget felt for å beskrive ferske skred. Det har ofte blitt referert til infralyddata i disse feltene.

## Lokal skredvarsling for Grasdalen

NGI (2020) har gått gjennom resultatene fra målingene i Grasdalen i perioden 2014 – 2018. Ett av målene med gjennomgangen var å vurdere bruken av slike data i operativ skredvarsling. NGI produserte selv daglige skredvarsler for rv. 15 gjennom Grasdalen på oppdrag for driftsoperatøren Mesta AS i denne perioden. Disse skredvarslene inneholder prognoser for neste døgn med lokal faregrad for området og sannsynlighetskategorier for at skred kan nå veg fra en håndfull skredløp.

Gjennomgangen viste at infralyddeteksjoner fra øvre del av Grasdalen (2017–2019) samsvarte bedre med varselet enn deteksjoner fra nedre del av Grasdalen (2017 – 2019). I øvre del av dalen ble de fleste deteksjoner gjort på faregrad 3 og 4, mens nedre del hadde flest skred på faregrad 2 og 3 (NGI, 2020). At varsel og deteksjoner samsvarte bedre lengst oppe i dalen, kan trolig forklares med at infralyd-anlegget fikk større nærhet til fokusområdet for varslingsstasjonen. Dessuten var andelen glideskred langt lavere i øvre del av Grasdalen. Dette er en skredtype som ikke så lett lar seg fange opp i skredvarsel som konsentrerer seg om nysnø, fokksnø og vedvarende svake lag i snøpakken.

Dersom ferske skred var detektert i IDA-systemet siden forrige varsel, ble dette inkludert i vurderingen og omtalt i varselet.

NGI (2020) vurderer at IDA-systemets evne til å registrere hendelser i dårlig vær er en betydelig fordel for skredvarslingen. Siden de største skredsyklusene kommer under værforhold når muligheten for å verifisere skredene er som dårligst (pga. dårlig sikt), bør fremtidig innsats, ifølge NGI (2020), rette seg mot forbedring av valideringen.

## 5 Konklusjon

Infralydteknologi ser ut til å fungere bra til sitt formål for veger som er utsatt for flere skredløp innen et avgrenset område. Best resultater får man dersom skredløpene ligger innenfor en radius på 3 km fra sensorene. Metoden ser ut til å fange opp både korte og lengre skredsykluser av betydning, selv om presisjonsnivået for små enkeltskred kan være begrenset av ulike forhold på lokaliteten. Støy fra vind ser ut til å påvirke resultatene negativt dersom snødekket er fraværende i dalbunnen i større deler av sesongen.

Deteksjonene kan ha ulik nytteverdi for ulike brukere. En brøytesjåfør vil vite om et skred kan dekke vegen et sted på brøyteroden, spesielt ved dårlig sikt, mens en skredvarsler trenger dokumentasjon på når en ventet skredsyklus er i gang. Automatiske varsel om detekterte skred kommer best til nytte for flest mottakere dersom innholdet kommuniserer enkelt og forståelig uten altfor mye fagspråk. Det ser ellers ut til at datasettene kommer best til nytte, dersom de forvaltes av profesjonelle mottakere med kompetanse og ansvar for varsling og skredfaglig beredskap framfor av driftspersonell som har et stort spenn i oppgaver innen flere fag.

En utfordring med infralyd som deteksjonsmetode, er at det ikke kan betraktes som hylleware. Teknologien er ennå forholdsvis umoden, og det kreves mye både av kunde og leverandør å sette opp et vellykket system. Det er også krevende å verifisere resultater og komplisert å gjøre velfunderte kost-/nytteanalyser. Installasjonene er også sårbare for klimatiske påkjenninger, og konfigurasjonen må ta hensyn til stedlige fysiske forhold. Anleggene krever kontinuerlig faglig oppfølging mtp. installasjon, validering, forbedring av algoritmer og feilretting.

Erfaringene vi har gjort på de fem lokalitetene i perioden 2014 – 2020 har gitt verdifull informasjon til Statens vegvesen og involverte entreprenører. Ny kunnskap er utviklet i organisasjonene. Leverandøren har fått erfaring med installasjon og drift i norsk klima. De har også fått erfaring med å tilpasse produktet til kundens behov. Dette er erfaring som kan komme hele leverandørbransjen til gode, bl.a. gjennom denne rapporten og bedre spesifikasjoner i framtida. Erfaringene fra Norge er også brukt til å videreutvikle lignende anlegg i andre land, og resultatene er omtalt i publikasjoner både i Canada, USA, Sveits og Italia.

I det videre arbeidet bør det jobbes mer med valideringssystemer, smartere opplasting av fotodokumentasjon, og mer avansert overføring til nasjonale databaser, ved f.eks. å innlemme automatisk tolkning av skredstørrelse. Det bør også jobbes videre med å sikre stabil deteksjonsevne i perioder med mye vind og lite snø. Det kan



også være fornuftig å utvikle standardløsninger som krever mindre stedlig tilpasning til den enkelte lokalitet.

## REFERANSER

- Adam, V., Chritin, V., Rossi, M., van Lancker, E. (1998):** Infrasonic Monitoring of snow-avalanche activity: what do we know and where do we go from here? *Annals of Glaciology* no. 26, January 1998, International Glaciological Society
- Bowman, J. R., Baker, E., Bahavar, M. (2005):** Ambient infrasound noise. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L09803, doi:10.1029/2005GL022486, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2005GL022486>
- Chritin, M., Rossi and Bolognesi, R. (1996):** Acoustic Detection System for Operational Avalanche Forecasting. Proceedings from International Snow Science Workshop, Banff, Canada. <https://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/issw-1996-149-153.pdf>
- Eckerstorfer, M., Malnes, E., Vickers, H., Müller, K., Engeset, R. V., Humstad, T. (2018):** Operational avalanche activity monitoring using radar satellites: From Norway to worldwide assistance in avalanche forecasting. International Snow Science Workshop Proceedings 2018, Innsbruck, Austria. <http://arc.lib.montana.edu/snow-science/item/2546>
- Eckerstorfer, M., Vickers, H., Malnes, E., Grahm, J. (2019):** Near-Real Time Automatic Snow Avalanche Activity Monitoring System Using Sentinel-1 SAR Data in Norway. *Remote Sens.* 2019, 11(23), 2863; <https://doi.org/10.3390/rs11232863>
- Geoforskning.no (2014):** Bidrar til nedrustning. Norges bidrar til det globale nettverket av målestasjoner som skal overvåke atomprøvesprengninger. <https://www.geoforskning.no/nyheter/grunnforskning/793-bidrar-til-nedrustning>
- Hendrikx, J., Dreier, L., Olivieri, G., Sanderson, J., Jones A., Steinkogler, W. (2018):** Evaluation of an infrasound detection system for avalanches in Rogers Pass, Canada. Conference paper, International Snow Science Workshop Proceedings 2018, Innsbruck, Austria (<http://arc.lib.montana.edu/snow-science/item.php?id=2510>)
- Humstad, T., Söderblom, Ø., Olivieri, G., Langeland, S., Dahle, H. (2016):** Infrasound detection of avalanches in Grasdalen and Indreidsdalen, Norway. Konferanseartikkel ved ISSW 2016. <http://arc.lib.montana.edu/snow-science/item.php?id=2334>
- LaChapelle, E. R. (1980):** The Fundamental Process in Avalanche Forecasting. *J. of Glaciology*. 26 (94) 75–84.
- Leventhall G. (2007):** What is infrasound?. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93(1–3), pp. 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2006.07.006>
- Lunde (2017):** Infralyddeteksjon av snøskred og vurdering av konsept for automatisk integrasjon med database for snøobservasjoner. Masteroppgave ved NTNU, Institutt for geovitenskap og petroleum. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2454742>
- Loo, S. M., Marshall, H.P., Davis, A., Lavery, M., Anderson, G., Durrant, A. Larsen, C., Johnson, J. B., Anderson, J. F., Nalli, B., Saurer, M. (2018):** Avalanche Monitoring using Portable Low-cost Infrasound Systems. Proceedings, International Snow Science Workshop, Innsbruck, Austria, 2018. [https://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/ISSW2018\\_O07.2.pdf](https://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/ISSW2018_O07.2.pdf)
- Marchetti, E., Ripepe, M., Olivieri, G., and Kogelnig, A. (2015):** Infrasound array criteria for automatic detection and front velocity estimation of snow avalanches: towards a real-time early-warning system, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 2545–2555.

<https://doi.org/10.5194/nhess-15-2545-2015>

**Mayer S., van Herwijnen, A., Ulivieri, G., Schwizer (2019):** Evaluating the performance of an operational infrasound avalanche detection system at three locations in the Swiss Alps during two winter seasons.

<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2019.102962>

**NGI (2020):** Monitoring snow avalanches in Grasdalen using an infrasound array. Project SP4 Snøskred 2017–2019. Technical note 20170131–18–TN, dated 2020–06–26

**Oterhals, H. D (2020):** Validation of satellite-detected snow avalanches by records from avalanche control work around Tyin, Norway. Master thesis at University of Oslo, spring 2020.

<https://www.duo.uio.no/handle/10852/79767>

**Pedersen, J. L. (2020):** Automatic validation of Sentinel-1 borne snow avalanche detections. Master thesis at University of Tromsø, spring 2020. <https://hdl.handle.net/10037/18985>

**Scott, E. D., Hayward, C. T., Kubichek R. T., Hamann J. C., Pierre J. P. (2004):** Results of Recent Infrasound Avalanche Monitoring Studies. Proceedings of the 2004 International Snow Science Workshop, Jackson Hole, Wyoming. <https://arc.lib.montana.edu/snow-science/item.php?id=1156>

**Smørgrav, T., og Susort, E. (2020):** Bildegjenkjenning i vurdering av skredfare. Mulighetsstudie av bildeserie fra Slettsvaet i Romsdalen. Rapport 636, Statens vegvesen. <http://hdl.handle.net/11250/2646517>

**SNL (2021):** 'infralyd' i Store norske leksikon på snl.no. Hentet 5. mars 2021 fra

<https://snl.no/infralyd>

**Sommerfeld, R. A. (1977):** Preliminary observations of acoustic emissions preceding avalanches. Journal of Glaciology 19(81): 399–409

**Statens vegvesen (2014):** Evaluering av geofonanlegg for detektering av skred <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2657466>

**Steinkogler, W., Langeland, S., Wyszen, S., Meier, L. (2016):** Operational radar and infrasound systems for avalanche detection. International Snow Science Workshop 2016 Proceedings, Breckenridge, CO, USA.

<https://arc.lib.montana.edu/snow-science/item.php?id=2285>

**Steinkogler, W., Ulivieri, G., Vezzosi, S., Hendrikx, J., van Herwijnen, A., Humstad, T. (2018):** Infrasound Detection of Avalanches: operational experience from 28 combined winter seasons and future developments, Conference paper, International Snow Science Workshop Proceedings 2018, Innsbruck, Austria. <http://arc.lib.montana.edu/snow-science/item.php?id=2612>

**Søderblom og Hansen (2016):** En undersøkelse av snøskredaktivitet i Grasdalen basert på Infrasound Detection Analysis.

Bacheloroppgave ved Høgskulen på Vestlandet, Geologi og geofare GE491, juni 2016.

<https://hvlopen.brage.unit.no/hvlopen-xmlui/handle/11250/2398050?locale-attribute=en>

**Thuring, M. S., van Herwijnen, A., and Schweizer, J. (2015):** Robust snow avalanche detection using supervised machine learning with infrasonic sensor arrays, Cold Reg. Sci. Technol., 111, 60–66, doi: 10.1016/j.coldregions.2014.12.014, 2015.

**Ulivieri, G., Marchetti, E., Ripepe, M., Chiambretti, I., De Rosa, G., Segord, V. (2011):** Monitoring snow avalanches in Northwestern Italian Alps using an infrasound array. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2011.09.006>

**Ulivieri, G. (2019):** Infrasonic Noise level and IDA Detection Capability. Technical Note GC–QT–0012019, January 17, GeCo S.r.l.

**Vyas, M. (2009):** Infraound avalanche monitoring system. Research evaluation. Utah Department of Transportation Research Division Report No. UT-09.01.  
<http://digitallibrary.utah.gov/awweb/awarchive?type=file&item=18921>

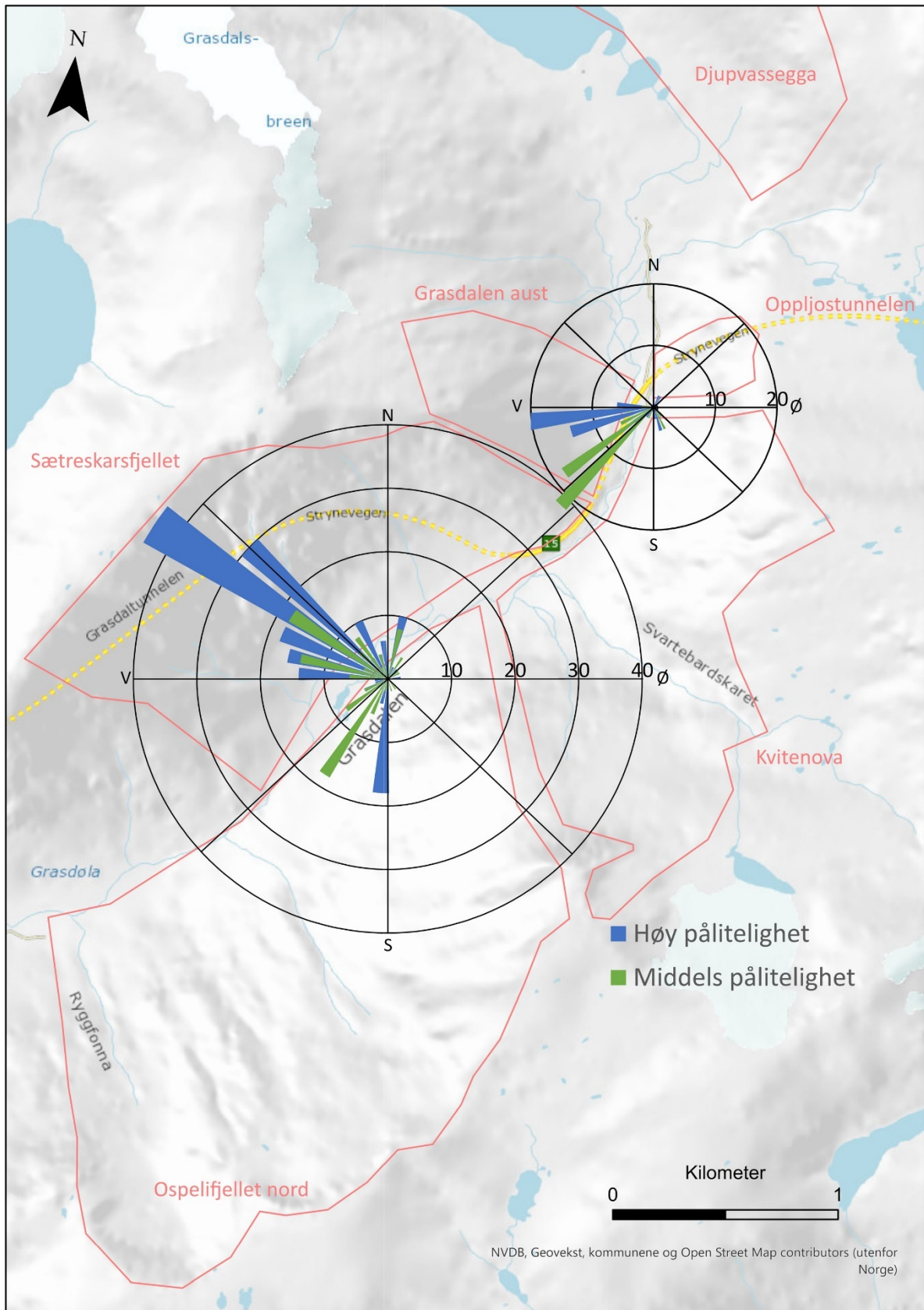
**Wyssen (2021):** Produktark for IDA infralyddeteksjon, lasta ned 28.2.2021. Wyssen Avalanche Control AG  
[https://www.wyssenavalanche.com/wp-content/uploads/2019/03/ida-infrasound-detection-system\\_en.pdf](https://www.wyssenavalanche.com/wp-content/uploads/2019/03/ida-infrasound-detection-system_en.pdf)



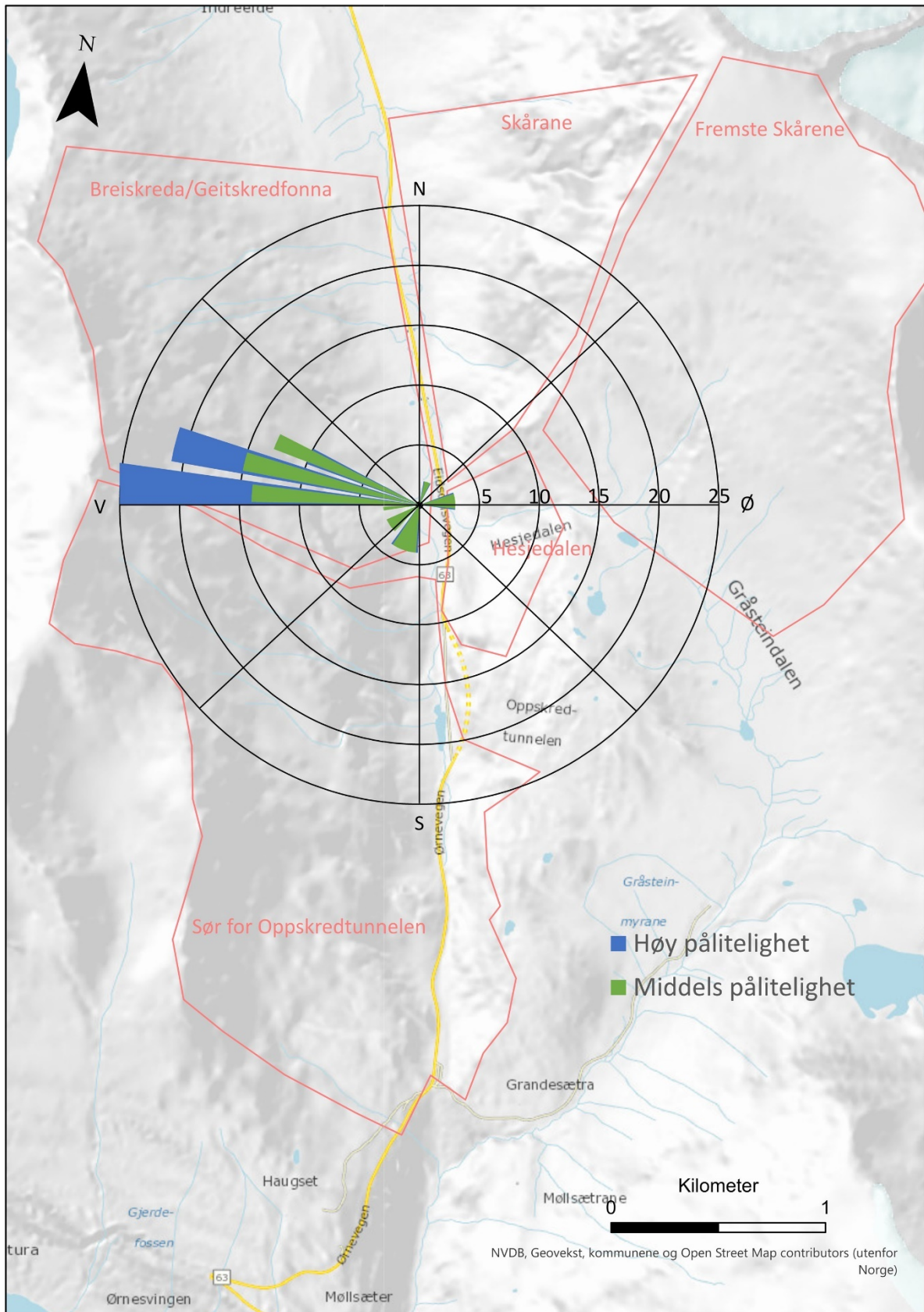
---

## VEDLEGG

## Vedlegg A: Deteksjoner i nedre og øvre Grasdalen (2014–2019)

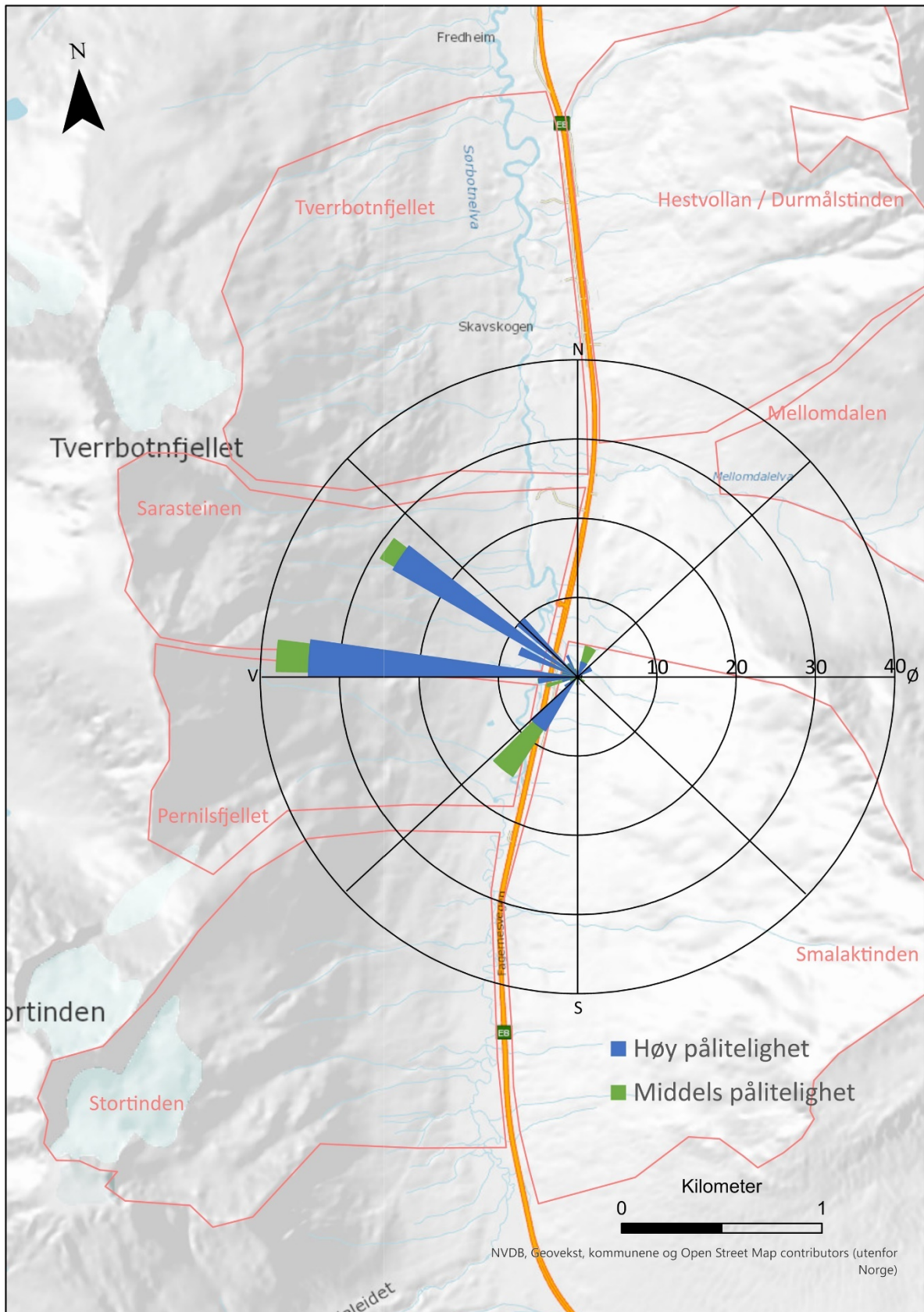


## Vedlegg B: Deteksjoner i Indreidsdalen (2015 – 2019)

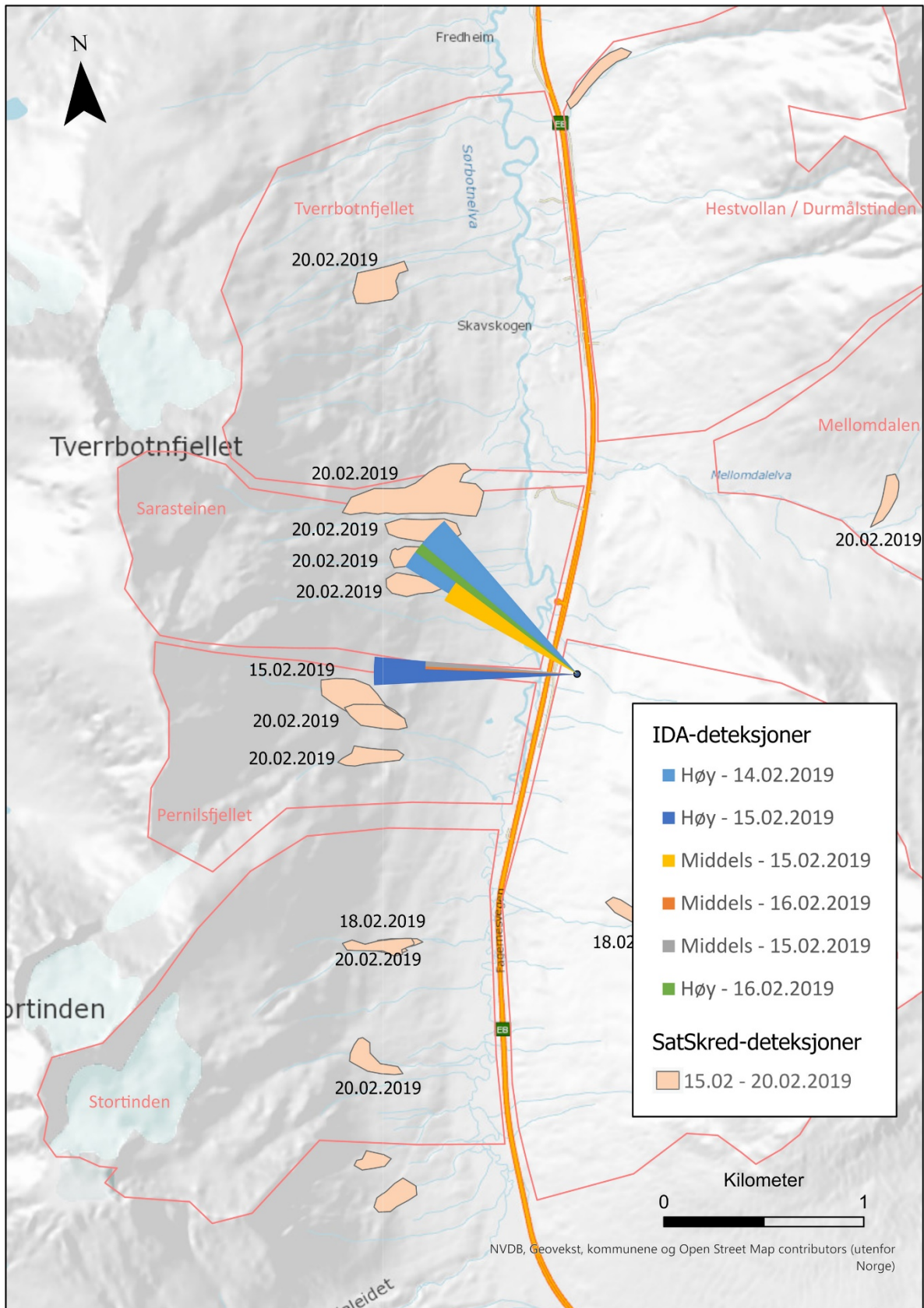




## Vedlegg C: Deteksjoner i Lavangsdalen (2018 – 2020)

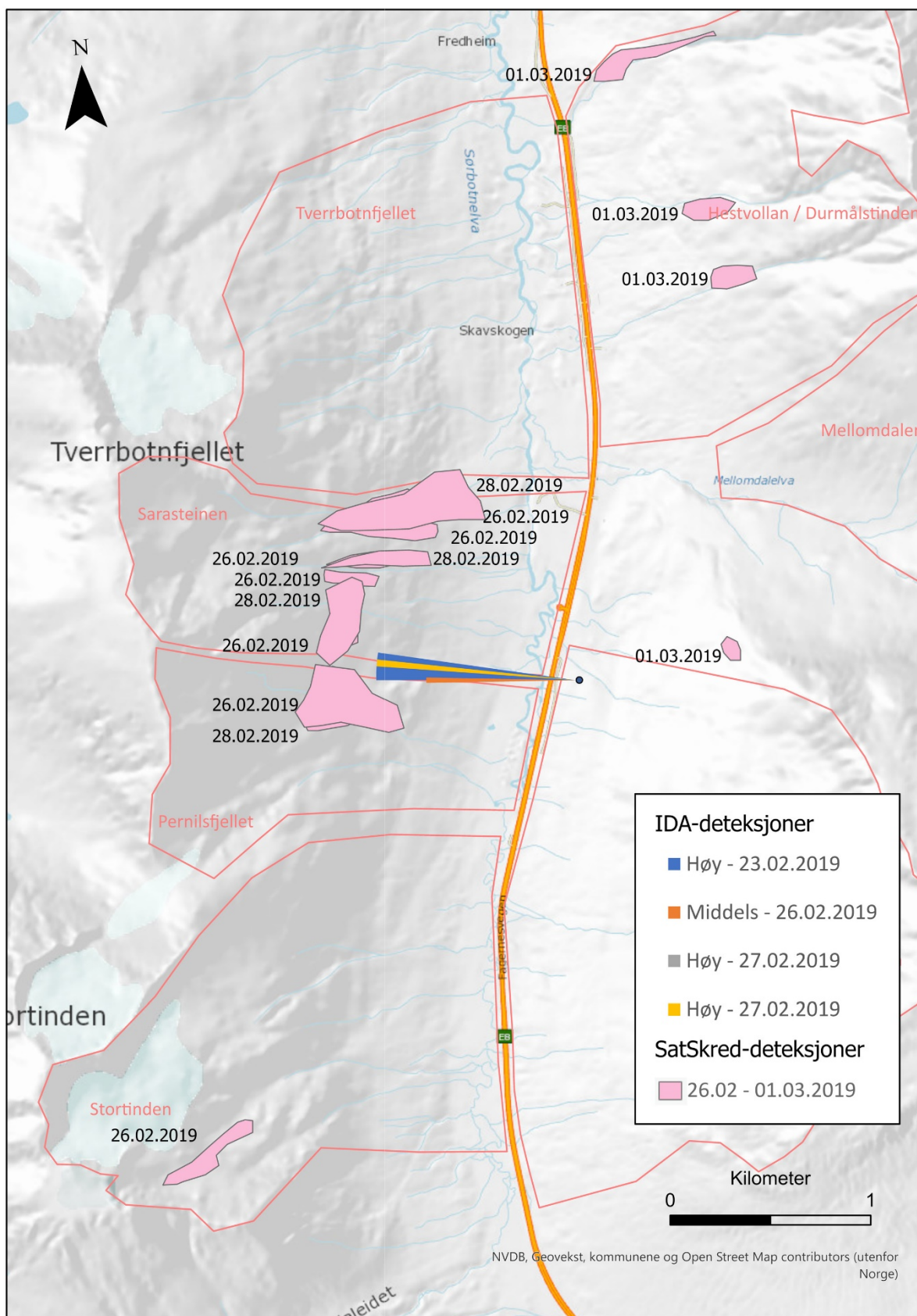


## Vedlegg D: Sammenstilling IDA og SatSkred 14.-16. februar 2019





## Vedlegg E: Sammenstilling IDA og SatSkred 23.-27. februar 2019





Statens vegvesen  
Pb. 1010 Nordre Ål  
2605 Lillehammer

Tlf: (+47)22073000  
firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

**Trygt fram sammen**