

Iskjøving i grøfter og skjæringer langs veg og jernbane

Prosesser, årsaker og forebyggende tiltak

Andrea Liereng

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2016

Hovedveileder: Kjell Arne Skoglund, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport

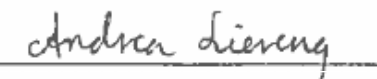


Oppgavens tittel:	Dato: 10.06.16		
Iskjøving i grøfter og skjæringer langs veg og jernbane - Årsaker, prosesser og forebyggende tiltak	Antall sider (inkl. bilag): 233		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Andrea Liereng			
Faglærer/veileder: Kjell Arne Skoglund			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Roar Nålsund (Veileder fra Jernbaneverket), og Harald Norem (Kontaktperson i Statens vegvesen)			

<p>Ekstrakt:</p> <p>Oppgaven handler om iskjøving i skjæringer og grøfter langs veg og jernbane. Målet med oppgaven er å gi leseren større forståelse av fenomenet og vise hvordan forebyggende tiltak kan redusere problemene med iskjøving. Forståelse og kunnskap er viktig for å velge gode tiltak for eksisterende infrastruktur og for å redusere problemene ved bygging av ny infrastruktur.</p> <p>Del 1 i oppgaven er en innføring til fenomenet iskjøving og problemene det skaper for norske veger og jernbaner. I del 2 beskrives årsakene til iskjøving i skjæringer og grøfter, samt lokale og klimatiske faktorer som bidrar til iskjøvingen. For å øke forståelsen av fenomenet er det også tatt med beskrivelser av ulike fryseprosesser som isen kan vokse med. Tredje del av oppgaven inneholder beskrivelser av en rekke forebyggende tiltak mot iskjøving. Oppgaven avsluttes med anbefaling av tiltak for vanlige problemer, årsaker og lokale forhold.</p> <p>Kunnskapen som presenteres i denne oppgaven er samlet inn gjennom feltarbeid og befaringer langs norske veg- og jernbanestrekninger, samtaler og uformelle intervjuer med driftspersonell og andre med kunnskap om fenomenet. Det er også gjennomført et omfattende søk i norsk og internasjonal litteratur. Oppgaven inneholder litteratur fra 1940 til i dag. I tillegg til dette er det utført enkle laboratorieanalyser for å studere krystallstrukturen i isen og ulike fryseprosesser som isen kan vokse med.</p>
--

Stikkord:

1. Iskjøving
2. Issvull
3. Icing
4. Is


(sign.)

Forord

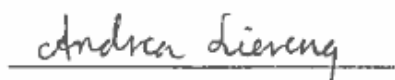
Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for bygg, anlegg og transport på Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet (NTNU). Oppgaven har fordypning jernbane og er skrevet i samarbeid med Jernbaneverket. Jeg har også fått mye hjelp fra Statens vegvesen.

Oppgaven handler om iskjøving langs veg og jernbane. De viktigste temaene er hvordan og hvorfor iskjøving oppstår, og hvordan iskjøving i skjæringer og grøfter kan unngås med forebyggende tiltak. Oppgaven er laget som en monografi og baserer seg på norsk og internasjonal litteratur, feltstudier langs norske veg- og jernbanestrekninger, uformelle intervjuer og enkle laboratorieanalyser.

Jeg vil gjerne takke veilederne mine Kjell Arne Skoglund fra NTNU og Roar Nålsund fra Jernbaneverket for all hjelp og veiledning. Videre vil jeg takke Harald Norem fra Statens vegvesen for veiledning og hjelp med befaringer, og Alex Klein-Paste for å ha hjulpet meg med å undersøke prøver av is i laboratoriet.

I tillegg er det mange andre personer i Jernbaneverket og Statens vegvesen som har bidratt. Takk til alle dere som har blitt med meg på befaringer og villig delt av erfaringen og kunnskapen dere har. Ole Ivar Ringen, Terje Rønsåsbjørg og resten av driftspersonellet på Meråkerbanen får en spesiell takk for at jeg har fått være med dere ut på Meråkerbanen så mange ganger! Det hadde ikke vært mulig å lage denne oppgaven uten deres hjelp. Jeg er også takknemlig til dere som har bidratt med beskrivelser, erfaringer og bilder av ulike forebyggende tiltak. Til slutt vil jeg gjerne takke familien min som har hjulpet meg i arbeidet med oppgaven og blant annet hjalp meg med å hente isprøver til analyser.

Trondheim, 10.6.16



Andrea Liereng

Forsidebilde: Tovmodalen, Meråkerbanen. Foto: A. Liereng (15.1.16).

Sammendrag

Iskjøving er is som dannes ved gjentatt frysing av vann i tynne lag over en eksisterende isflate eller annen kald overflate. Iskjøving kan skje under naturlige forhold, men er oftest et resultat av menneskelige inngrep. Iskjøving langs infrastruktur skaper store problemer for driftspersonell og trafikanter. Denne oppgaven tar for seg problemer, årsaker og tiltak mot iskjøving i skjæringer og grøfter langs veg og jernbane. Målet er å øke forståelsen av fenomenet og vise hvordan problemene med iskjøving kan reduseres med forebyggende tiltak.

Mye av kunnskapen i oppgaven er samlet inn gjennom feltarbeid og befaringer langs norske veg- og jernbanestrekninger. Det er gjennomført befaringer til fem vegstrekninger og to jernbanestrekninger i Oppland, Telemark, Sør-Trøndelag, Nord-Trøndelag, Møre- og Romsdal og Nordland. Befaringene har blitt gjennomført for å se på årsakene til iskjøving, faktorer som bidrar til iskjøving, fryseprosesser isen vokser med og effekten av ulike tiltak mot iskjøving. Samtaler med driftspersonell og uformelle intervjuer har vært en annen viktig kilde til erfaring og kunnskap.

I tillegg til befaringene har det blitt gjennomført et litteraturstudium og enkle laboratorieanalyser. Litteraturstudiet inneholder norsk og internasjonal litteratur fra 1940 til i dag, om både årsaker og tiltak mot iskjøving. Laboratorieanalysene har blitt gjennomført for å få større forståelse av fryseprosessene som foregår når isen vokser. To isprøver hentet fra feltarbeid er studert under polarisert lys for å studere krystallstrukturen i isen. Analysene viser at isen kan vokse på ulike måter, med enten glatt eller bølgete overflate. De ulike prosessene beskrives i oppgaven, men årsaken til de ulike fryseprosessene er ikke funnet.

Oppgaven går grundig gjennom årsakene til iskjøving, samt lokale og klimatiske faktorer som bidrar til iskjøving. Årsaken til iskjøving i skjæringer er en kombinasjon av naturlige og menneskeskapt forhold. I grøfter kan det være mange årsaker til iskjøving. Som regel er isen et resultat av uheldig utforming av grøfta, tette stikkrenner eller rister eller manglende drenering av sideterreng. Klimatiske forhold som snø og temperatur har stor innvirkning på mengden iskjøving i grøftene.

For å redusere mengden is eller problemene isen skaper, er det mange aktuelle tiltak. Tiltakene beskrives i oppgaven med skisser, og det diskuteres bruksområder, fordeler og ulemper. For iskjøving i skjæringer er de forebyggende tiltakene delt i seks strategier. Iskjøving i bekker i skjæringer kan reduseres ved å kanalisere vannstrømmen. For iskjøving fra jevnt fordelt grunnvann eller overflatevann vil drenering av terrenget ovenfor skjæringen ha størst effekt. Isolering, utvidelse eller sikring av skjæringen er gode alternativ der tilgjengeligheten er dårlig. Iskjøving fra grunnvannskilder bør forhindres ved å isolere vannstrømmen og samle vannet i lukket drenering.

Iskjøving i grøfter kan unngås med ulike tiltak. Der iskjøving fra sideterreng fyller grøftene er det mest effektivt å samle vannet i lukket drenering, eventuelt isolere eller kanalisere vannet. Når iskjøving i stikkrenner eller rister skaper iskjøving i grøfter bør det gjøres tiltak for å holde stikkrennene eller ristene åpne. For å hindre iskjøving i grunne overvannsgrøfter med lav vannføring vinterstid kan grøfta graves dypere. Alternativt kan grøfta isoleres eller dekkes til i perioder med barfrost, det kan legges ut varmekabel eller det kan drives forebyggende drift og vedlikehold.

Valg av tiltak bør baseres på årsaken til problemet. Der man har muligheten til å fjerne årsaken vil dette ha størst effekt. Noen ganger er det enkelt å finne årsaken til problemet. Skjæringer som kutter gjennom vannførende lag i bergmassen eller løsmasser er et eksempel på dette. Andre ganger kan isen dukke opp på steder det aldri har vært is før, eller på steder som er tørre om sommeren. For å finne årsaken på slike steder kreves det kunnskap og erfaring, samt grundige undersøkelser av terrenget både sommer og vinter. Lokale, klimatiske og menneskeskapte forhold må studeres i sammenheng for å finne ut hvor vannet kommer fra og hvordan det eksponeres for kald luft.

Valgmulighetene for tiltak begrenses av lokale forhold, som topografi og strømtilgang, og ressurser. Tiltak mot iskjøving kan også komme i konflikt med andre interesser og hensyn til for eksempel trafiksikkerhet eller naturmiljø. Det er derfor ikke alltid mulig å gjennomføre tiltak som fjerner årsaken til problemet. Da kan det gjøres tiltak for å redusere problemene isen skaper. Oppgaven gir mange eksempler på valg av tiltak for ulike problemer, årsaker og lokale forhold.

Abstract

Icing is a form of ice that builds up progressively on an existing ice surface. The ice builds up by successive freezing of thin layers of water. Icing may occur under natural conditions, but is generally a result of human intervention in nature. Icings along infrastructure cause problems for maintenance personnel and road users. This thesis deals with problems, causes and preventive measures against icings in cuts and ditches along roads and railways. The goal is to enhance the understanding of the phenomena and show how preventive measures may reduce the problems caused by icings.

A lot of the knowledge in this thesis is collected through field surveys along Norwegian roads and railways. Five road sections and two railway lines in Oppland, Telemark, Sør-Trøndelag, Nord-Trøndelag, Møre- og Romsdal and Nordland have been studied. The purpose of the field surveys has been to study the causes of icing, factors affecting icing formation, different freezing processes and the effect of preventive measures. Conversations with maintenance personnel and informal interviews have been important sources of experience and knowledge.

To examine how icing builds up in steep gradients, two samples of ice were collected through field work and transported to NTNTU in a portable freezer. Thin sections of the ice were studied under polarized light in a cold laboratory. The analysis shows that icing in steep gradients can build up by different freezing processes: The surface of the ice may be wavy or completely smooth. Due to the complexity of the freezing processes, the reason for this difference is still unknown. In addition to the field surveys and laboratory analysis, an extensive literature review has been carried out. The review include Norwegian and international literature from 1940 up until today.

Origins of icing in cuts and ditches are thoroughly discussed, together with natural factors affecting icing formation. Icings in cuts are caused by unfavorable combinations of natural and man-made conditions. Ditches may be filled with ice by different causes. Generally, icing occurs in ditches as a result of unfavorable design, ice-blocked culverts or grates, or lack of drainage of the nearby terrain. Climatic factors, especially snow cover and air temperature, have large impact on the occurrence of icing in ditches.

Preventive measures may reduce the amount of icing or reduce the problems caused by the ice. The last part of the thesis describes different measures and discusses area of utilization, advantages and disadvantages of each measure. Preventive measures against icing in cuts are sorted in six categories. Icing caused by streams is best prevented by channeling the water in a deep, narrow flow. Drainage of the terrain is usually effective to avoid icing from ground or surface water. Insulation, expansion or ice nets are useful where the accessibility of the terrain above the cut is poor. Icing caused by natural springs in soil or rock cuts should be prevented by collecting the water in insulated, closed drainage.

Icing in ditches may be avoided using different methods. When the ditch is filled with ice from the nearby terrain, the best solution is to drain the terrain. Icing caused by ice-blocked culverts or grates is avoided by securing an open channel for the water flow. This can be achieved by preventive measures in the culverts or grates, or by maintenance and ice-removal. To avoid icing in shallow, open ditches, the best advice is to dig the ditch deeper. Insulation or covers over the ditch, electrical heat or preventive maintenance may also reduce the problems.

The choice of measure should always be based on the cause of the problem. In some cases, the cause is obvious, for instance when a cut expose a water-bearing layer in the soil or rock. In other cases, icing occurs surprisingly. The ice may build up in places that were completely dry in the autumn. Local, climatic and man-made conditions influence the water flow in the ground, and increasing frost may divert the ground water to new places. Consequently, knowledge, experience and thorough investigation of the terrain both in summer and winter are necessary to find the cause.

Local conditions, like topography and accessibility, and resources, for instance money and knowledge, limit the options. Some preventive measures demand certain conditions, while other measures are very expensive. Preventive measures against icing may also come into conflict with other interests and considerations, like traffic safety, natural environment and esthetics. Consequently, it is not always possible or desirable to eliminate the cause of the problem. In most cases, it is still possible to reduce the problems caused by the ice. The thesis discusses choice of measure for a lot of different problems, causes and local conditions.

Innhold

Forord	iii
Sammendrag	v
Abstract	vii
Figurliste.....	xiv
Tabelliste	xx
Ordforklaring.....	xxi
1. Innledning	1
1.1. Bakgrunn	1
1.2. Målsetting og forskningsspørsmål.....	1
1.3. Oppbygging av oppgaven.....	2
2. Metode	3
2.1. Litteraturstudier	3
2.1.1. Litteratursøk	3
2.1.2. Eldre litteratur (1940-2000)	3
2.1.3. Nyere litteratur (2000-2016)	3
2.2. Feltarbeid og befaringer.....	4
2.2.1. Beskrivelse av strekningene som er studert	4
2.2.2. Gjennomføring av feltarbeid og samtaler.....	5
2.3. Uformelle intervjuer	6
2.4. Tynnslip av isprøver i laboratorium	7
2.4.1. Innsamling av is	7
2.4.2. Tynnsliping av is i fryselaboratorium	8
2.4.3. Undersøkelse av is med polarisert lys	10
DEL 1 Beskrivelse av iskjøving.....	11
3. Hva er iskjøving?	13
3.1. Definisjon	13
3.2. Utbredelse.....	13
3.3. Beskrivelser av ulike typer iskjøving	13

3.3.1.	Iskjøving i elver og bekker	14
3.3.2.	Iskjøving fra grunnvann	15
3.3.3.	Iskjøving fra naturlige kilder	16
4.	Problemer iskjøving skaper for infrastruktur	17
4.1.	Iskjøving i skjæringer	17
4.1.1.	Iskjøving i skjæring er i veien for tog eller hindrer sikt	17
4.1.2.	Isras fra skjæring eller fjellside	18
4.2.	Iskjøving i grøfter	19
4.2.1.	Iskjøving hindrer drenering	19
4.2.2.	Iskjøving kommer ut i vegbanen eller skinnegangen	20
4.3.	Iskjøving i stikkrenner og kulverter	20
4.4.	Iskjøving i tunneler	21
DEL 2	Årsaker og prosesser	23
5.	Årsaker til iskjøving i skjæringer og grøfter	25
5.1.	Vannkilder i skjæringer	25
5.1.1.	Bekker	26
5.1.2.	Overflatevann i øvre jordlag	26
5.1.3.	Grunnvannskilder og utspring	27
5.1.4.	Jevnt fordelt grunnvann	28
5.2.	Årsaker til iskjøving i grøfter	29
5.2.1.	Lav vintervannføring	29
5.2.2.	Tette stikkrenner eller rister	31
5.2.3.	Vann fra skråninger og sideterreng	32
5.2.4.	Vann fra skjæringer	33
5.3.	Årsaker til iskjøving i områder som er tørre om sommeren	34
6.	Faktorer som bidrar til iskjøving	37
6.1.	Lokale forhold som eksponerer vannet	37
6.1.1.	Topografi	37
6.1.2.	Geologiske forhold	38
6.1.3.	Orientering og solforhold	38

6.1.4.	Jord og vegetasjon i terrenget.....	39
6.1.5.	Effekten av naturlig skjerming over bekkeløp eller grøfter	41
6.2.	Klimatiske forhold.....	42
6.2.1.	Nedbør om sommeren og høsten.....	42
6.2.2.	Temperatur	42
6.2.3.	Vind.....	43
6.2.4.	Snø.....	43
7.	Fryseprosesser.....	45
7.1.	Teori om krystallstruktur i is	45
7.2.	Bølgete vertikal iskjøving.....	47
7.2.1.	Feltobservasjoner	47
7.2.2.	Resultater fra laboratorieforsøk.....	51
7.2.3.	Tolkning av krystallstrukturen	51
7.2.4.	Diskusjon av felt- og laboratorieresultatene.....	53
7.2.5.	Sammenlikning med bølgete istapper	54
7.3.	Glatt vertikal iskjøving	55
7.3.1.	Feltobservasjoner	55
7.3.2.	Resultater fra laboratorieforsøk.....	57
7.3.3.	Tolkning av krystallstrukturen	57
7.3.4.	Diskusjon av felt- og laboratorieresultatene.....	59
7.4.	Horisontal iskjøving	60
7.4.1.	Feltobservasjoner	60
DEL 3	Forebyggende tiltak mot iskjøving.....	63
8.	Forebyggende tiltak mot iskjøving i skjæringer	65
8.1.	Drenering av overflatevann og grunnvann	65
8.1.1.	Åpen terrenggrøft	66
8.1.2.	Åpen, isolert terrenggrøft	68
8.1.3.	Lukket drenering i løsmasser (isolert/uisolert).....	70
8.1.4.	Lukket drenering i fjell (isolert/uisolert)	74
8.1.5.	Drensgrøfter i jordskjæringer	76

8.2.	Kanalisering av konsentrert overflatevann.....	77
8.2.1.	Nedføringsrenner i bergskjæringer.....	77
8.2.2.	Drenasjehull i bergskjæringer	78
8.2.3.	Håndtering av bekkeløp i jordskjæringer	79
8.3.	Isolering av skjæringer	79
8.3.1.	Isolasjonsplater.....	79
8.3.2.	Enkel isolert vegg.....	81
8.3.3.	Uisolert/isolert mur med lukket drenering i bergskjæring	82
8.3.4.	Isolert mur med lukket drenering i jordskjæring.....	84
8.4.	Utvidelse av skjæringer	85
8.4.1.	Isnisjer	85
8.4.2.	Utvidelse av skjæring, brede grøfter	87
8.5.	Barrierer mot iskjøving.....	88
8.5.1.	Frostbelter.....	89
8.5.2.	Isgjerder.....	91
8.6.	Sikringstiltak mot isras	92
8.6.1.	Isnett	93
8.6.2.	Andre sikringstiltak	94
9.	Tiltak mot iskjøving i grøfter og stikkrenner	97
9.1.	Utforming av grøfter og innløp til stikkrenner	97
9.1.1.	Utforming av grunne overvannsgrøfter.....	97
9.1.2.	Utforming av dype sidegrøfter	97
9.1.3.	Plassering av stikkrenner.....	98
9.2.	Forebyggende tiltak mot iskjøving	99
9.2.1.	Lage dypere grøft	99
9.2.2.	Varmekabel i grøfta.....	100
9.2.3.	Tildekking eller isolering av grøfta om vinteren.....	102
9.2.4.	Forebyggende tiltak i stikkrenner.....	102
9.2.5.	Forebyggende tiltak ved rister.....	104
9.3.	Forebyggende drift og vedlikehold.....	105

9.3.1.	Vedlikehold av grøfter, stikkrenner og rister	105
9.3.2.	Lage åpen kanal i grøfter fylt med is.....	105
9.3.3.	Tining av frosne stikkrenner	107
10.	Valg av tiltak	109
10.1.	Hva påvirker valg av tiltak mot iskjøving?	109
10.2.	Anbefalte strategier for ulike problemer og årsaker i skjæringer	112
10.3.	Eksempler på valg av tiltak i skjæringer	115
10.3.1.	Eksempel 1: Meråkerbanen, Sørkilhaugen	115
10.3.2.	Eksempel 2: Ny E6 ved Hundorp	117
10.4.	Anbefalte strategier for ulike problemer og årsaker i grøfter	119
10.5.	Valg av tiltak i grøfter	123
10.5.1.	Eksempel 1: Meråkerbanen, Langneset	123
11.	Konklusjon	125
12.	Videre arbeid	127
	Referanser.....	129

Vedlegg

Vedlegg 1 – Oppgavetekst

Vedlegg 2 – Bilder av krystallstruktur i is

Vedlegg 3 – Oversikt over utførte befaringer

Vedlegg 4 – Oversikt over alle steder som er studert på befaringer

Vedlegg 5 – Meråkerbanen, Hell – Storlien, Nord-Trøndelag

Vedlegg 6 – Tann-Annolsetervegen, Breidalen, Oppland

Vedlegg 7 – Fv 30, Rognes – Haltdalen, Sør-Trøndelag

Vedlegg 8 – E 39, Engdalen ved Vinjefjorden, Møre- og Romsdal

Vedlegg 9 – Ny E 6, Frya – Sjoa, Oppland

Vedlegg 10 – Fv 651, Rjukan – Gaustablikk, Telemark

Vedlegg 11 – Nordlandsbanen, Dalsgrenda – Raudberget

Figurliste

Figur 1) Oversikt over alle strekningene som er studert. Etter Norgeskart (2016).....	5
Figur 2a) Isprøve 1 ble hentet fra denne issvullen med bølgete overflate. Foto: A. Liereng (7.3.16) b) Isprøve 1 etter saging. Bølgete side er framsiden. Glatt side (mot høyre) er saget. Foto. Alex Klein-Paste (18.3.16).	7
Figur 3a) Isprøve 2 er hentet en glatt, klar og tørr iskjøving. Foto: A. Liereng (7.3.16). b) Isprøve 2 etter saging. Foto: Alex klein-Paste (18.3.16).....	8
Figur 4) Hver gang isen ble ført tilbake, hevet platen seg et hakk, slik at tynne lag av isen ble høvlet av. Foto: A. Liereng (18.3.16).....	9
Figur 5) Polarisasjonsapparat. Nederst er det en lyskilde som sender ut hvitt lys. Over lyskilden er det to polarisasjonsfilter, som isprøven plasseres mellom. Foto: A. Liereng (18.3.16).	10
Figur 6) Land og regioner som opplever problemer med iskjøving er markert med rødt. Figuren er laget etter Liao (2011).	13
Figur 7) Svellis i en elv. Isen har fylt elveløpet og deretter spredd seg utover terrenget langs elvebredden (Asvall, 2010).	14
Figur 8) Iskjøving fra grunnvann kan oppstå over alt, men oppnår sjelden store dimensjoner. Isen dannes når grunnvann eksponeres for kald luft og fryser. Meråkerbanen. Foto: A. Liereng (15.1.16).	15
Figur 9) Ulakhan-Taryn er en enorm iskjøving i nordøstlige Yakutia, Russland. Isen som dannes i Moma River Valley stammer fra naturlige kilder. Foto: Sandro, Yandex (Alekseyev, 2015).....	16
Figur 10a) Trang skjæring langs Meråkerbanen. Foto: A. Liereng (5.11.15). b) Om vinteren kan isen komme i vegen for togene. Foto: A. Liereng (19.2.16).	17
Figur 11a) Selv små mengder is kan utgjøre en stor fare. Tinnsjøvegen, Telemark. Foto: A. Liereng (3.3.16). b) Høye skjæringer med iskjøving er utsatt for isras. Denne skjæringen langs Svineroivegen (Fv 651) er sikret med isnett. Foto: A. Liereng (3.3.16).	18
Figur 12a) Iskjøving utenfor Presturatunnelen på Fv 37. Foto: A. Liereng (3.3.16). b) 29. mars 2016 ble en bil truffet av isras på veg ut av tunnelen. Foto: Knut Heggenes (Skumvoll et al., 2016).....	19
Figur 13) Iskjøving i fjellsiden fører vann ut i vegbanen, der det fryser til is. Breidalen, Oppland. Foto: A. Liereng (14.1.16).....	20
Figur 14) Iskjøving i utløpet av en stikkrenne. Fv 651, Telemark. Foto: A. Liereng (3.3.16).	21
Figur 15) Iskjøving i Hjartåsen tunnel, Nordlandsbanen. Foto: A. Liereng (15.3.16).....	22
Figur 16) Iskjøving i bekkeløp i skjæring ved Sørkilhaugen, Meråkerbanen. Foto: A. Liereng	26
Figur 17) Vannet renner i et tynt torvlag og fryser der det kommer ut på kalde svaberg. E39, Vinjefjorden. Foto. A. Liereng	27

Figur 18) Iskjøving fra en konsentrert grunnvannskilde kan oppnå betydelige dimensjoner. Legg merke til at isen begynner høyere oppe i dalsiden (øvre høyre hjørne). Tann-Annolsetervegen, Breidalen (3). Foto: A. Liereng (26.3.16).	27
Figur 19) Grunnvann kan forårsake iskjøving over lange strekninger. Fv 30. Foto: A. Liereng.	28
Figur 20a) Lav skjæring langs Fv 30. Berget er vått av grunnvann som renner ut i sjiktet mellom berg og løsmasser. b) Grunnvannet forårsaker iskjøving i hele skjæringen. Foto: A. Liereng	28
Figur 21a) Den røde linja viser grunnvannsnivået i en skjæring langs Tann-Annolsetervegen. b) Grunnvannet fryser til is og forårsaker iskjøving. Foto: A. Liereng.....	29
Figur 22) Iskjøving fra bunnen av grøft på grunn av lav vintervannføring (Carey, 1977).	30
Figur 23) Effekten av stor og liten vanddybde for isdannelse. I grøfter er ofte vannføringen lav vinterstid og situasjonen er dermed som vist på den nederste figuren (Carey, 1983).....	30
Figur 24) Stein i grøft kan være et startpunkt for iskjøving. Breidalen, Oppland. Foto: A. Liereng.	31
Figur 25a) En stikkrenne har frosset igjen og forårsaket iskjøving i hele grøfta. Sørkilmo vest, Meråkerbanen 2. b) Igjenfrosset stikkrenne ved bekkeløp. Isen fyller grøfta. Sørkilmo øst, Meråkerbanen 3. Foto: A. Liereng	32
Figur 26) Iskjøving fra siden av grøfta. Vannet som kjøver, renner ut i et markert nivå i jordskråningen. Meråkerbanen. Foto: A. Liereng	32
Figur 27) Vann som renner langs isen i skjæringen fører til iskjøving i grøfta. Brennhaugen, Meråkerbanen. Foto: A. Liereng	33
Figur 28) Islokk over snøen i grøfta. Vannet kommer fra en lav skjæring. Fv 30. Foto: A. Liereng	34
Figur 29. Iskjøving fra grunnvann langs Meråkerbanen. Det pleier ikke å være is her, men sterk kulde i kombinasjon med barfrost har ført vannet til nye steder. Foto: A. Liereng (15.1.16).	35
Figur 30) Iskjøving fra grunnvann i lav skråning langs Meråkerbanen. Vannet ble presset til overflaten etter en periode med barfrost. Foto. A. Liereng (15.1.16)	35
Figur 31) Veggen bidrar til større frostdybde. Dette kan tvinge grunnvannet opp til overflaten og forårsake iskjøving i områder som var tørre sommerstid (Carey, 1973).....	36
Figur 32) Iskjøving i en naturlig skråning i Finland. Her er det topografien og geologien som forårsaker iskjøvingen (Seppälä, 1999).....	37
Figur 33a) Dalsiden ovenfor Tann-Annolsetervegen i Breidalen er ryddet for jord og løsmasser etter et jordskred. b) Dette øker varmetapet for grunnvannet i området og forårsaker iskjøving. Foto: A. Liereng (20.9.15 og 26.3.16).....	40
Figur 34) Bekkeløp og grøfter som er skjernet av vegetasjon har lavere varmetap og er mindre utsatt for iskjøving (Carey, 1973).	41

Figur 35a og b) Iskjøving begynner i området der den naturlige skjermingen fra vegetasjonen slutter. Etter hvert fylles hele bekkeløpet med is. Sørkilhaugen, Meråkerbanen. Foto: A. Liereng (5.11.15 og 15.1.16).....	42
Figur 36) Iskrystallen kan vokse som et prisme med sekskantede plan (Shokr og Sinha, 2015).....	46
Figur 37) Iskrystaller sett under polarisert lys. Området markert med gul stiplet linje er én iskrystall. De hvite linjene i grensen mellom krystallene er interferens på grunn av at isprøven er for tykk.....	47
Figur 38) Bølgete iskjøving langs Tann-Annolsetervegen (Oppland). Foto: A. Liereng (2.1.16).....	48
Figur 39) Strekene over bølgene viser hvordan iskrystallene skyter ut over vannet. Foto: A. Liereng	48
Figur 40) Bølgete iskjøving. Vannet fanges over en eksisterende isbølge mellom den eksisterende isen og en tynn ishinne. Luftboblene ligger øverst i denne vannlommen. Foto: A. Liereng.....	49
Figur 41a og b) Detalj fra tynnslip av bølgete is, vertikalsnitt (nær bunnen). Venstre side (overgang til svart bakgrunn) er framsiden av prøven. Bildet til venstre er uredigert, mens på bildet til høyre er bølgeformen markert med hvite linjer. Iskrystallene fra vannet som limte prøven til glassplaten er redigert bort for å gjøre bildet enklere å studere. Skala viser 1 cm. .	52
Figur 42a og b) Detalj fra tynnslip av bølgete is, vertikalsnitt (øvre del). Venstre side (overgang til svart bakgrunn) er framsiden av prøven. Bildet til venstre er uredigert, mens på bildet til høyre er bølgeformen markert med hvite linjer. Iskrystallene fra vannet som limte prøven til glassplaten er redigert bort for å gjøre bildet enklere å studere.	52
Figur 43) Detalj fra horisontalsnitt (i "hjørnet" mellom framsiden og midten av prøven). a) Uredigert bilde. Legg merke til hvordan luftboblene ligger parallelt med framsiden av isen, i flere lag innover. b) Linjene viser luftbobler og mulige laggrensener.....	53
Figur 44) Skisse av bølgete is, sett fra siden. Vannet fryser først ytterst på bølgene og demmer opp vannet som renner over isen. Det lages en tynn ishinne over vannet, og vannet fryser fra ut- og innsiden.....	53
Figur 45) Bølgete istapp langs E39. Foto: A. Liereng	55
Figur 46a) Glatt, inaktiv iskjøving i vertikal bergvegg (Tann-Annolsetervegen). b) Glatt inaktiv iskjøving i slak helning (Meråkerbanen).....	55
Figur 47) Den glatte isen er ofte helt gjennomsiktig og blank. E 39. Foto: A. Liereng.....	56
Figur 48a) Bølgete is i Breidalen 2.1.16 b) Glatt iskjøving over bølgete is. Akkurat samme sted i Breidalen 7.3.16. Foto: A. Liereng	56
Figur 49) Glatt is, horisontalsnitt. Rød linje viser markert grense i isen. Hvite piler viser hvordan krystallene er avlange og "strekker" seg mot framsiden av isen. Iskrystallene fra vannet som limte prøven til glassplaten er redigert bort for å gjøre bildet enklere å studere. .	58

Figur 50) Glatt is, detalj 1 fra horisontalsnitt. Venstre: uredigert. Høyre: Hvite linjer viser striper av luftbobler.	59
Figur 51) Glatt is, detalj 2 fra horisontalsnitt. Venstre: uredigert. Høyre: Hvite linjer viser striper av luftbobler.	59
Figur 52) Skisse av glatt is, sett fra siden. Isen vokser fra innsiden og utover, ved at underkjølt vann fryser i tynne lag.	60
Figur 53) Iskjøving i grøft. Det er ca. 3 cm med vann over solid is. Over vannet er det en tynn isskorpe. Vannet kan dermed fryse fra både under- og oversiden. Meråkerbanen. Foto: A. Liereng.	60
Figur 54a) Isen kan bygge seg opp til issvuller med horisontale lag. b) Når helningen på issvullen blir nær vertikal, kan isen vokse i bølgete overflate. Meråkerbanen. Foto: A. Liereng.	61
Figur 55) Oversikt over ulike typer grøfter som kan brukes for å avskjære overflate- og grunnvann.	65
Figur 56) Plassering av åpen terrenggrøft.	66
Figur 57) Tverrsnitt av åpen terrenggrøft.	67
Figur 58) Plassering av åpen isolert terrenggrøft.	69
Figur 59) Tverrsnitt av de åpne isolerte grøftene. Skisse fra Jan Stenersen.	69
Figur 60a og b) Bygging av åpne isolerte grøfter i Tromsø. Foto fra Jan Stenersen.	70
Figur 61) Plassering av lukket drenering og åpne terrenggrøft.	71
Figur 62) Eksempel på utførelse av lukket drensgrøft. Materialer og dimensjoner kan variere.	72
Figur 63) Kombinert åpen og lukket drenering ovenfor skjæringen.	72
Figur 64) Plassering av lukket drensgrøft i fjell og åpen terrenggrøft.	74
Figur 65) Konsentrert iskjøving i østre del av skjæringen. Den lukkede drensgrøfta i berget klarer ikke samle alt vannet. Foto: A. Liereng (11.3.16).	75
Figur 66) Drensgrøft for å samle grunnvann som renner i jordskjæringer (Statens vegvesen, 2014b: 90).	76
Figur 67) Nedføringsrenne for bekk. Sørkringen, Meråkerbanen 4. Foto: A. Liereng (5.11.15 og 15.1.16).	77
Figur 68a) Isolasjonsplater i skjæring utenfor tunnelportal. Bulken, Bergensbanen (bilde fra målevogn). b) Prinsippskisse av isolasjonplatene.	80
Figur 69) Enkel isolert vegg langs Sørlandsbanen. Foto: Martin Ulleberg (Jernbaneverket Kongsberg)	81
Figur 70) Skisse av en mur med drenerende materiale bak. Grunnvannet ledes ned til lukket drenering uten å eksponeres for kald luft (Heje, 1941).	82
Figur 71) Grunnvannet føres bak en isolert mur ned i en isolert, lukket grøft. Overflatevannet samles i en dyp, åpen betonggrøft langs vegen (Yu et al., 2016).	84

Figur 72a) Isnisje utenfor Hjartåsen tunnel (Nordlandsbanen) reduserer mengden is inn i skinnegangen. Foto: A. Liereng (15.3.16). b) Isnisje i Teveldalen (Meråkerbanen) reduserer problemene med is inn i profilet for togene. Foto. A. Liereng (19.2.16).....	86
Figur 73) Skjæringen utenfor Dalsklubben Tunnel, Nordlandsbanen er utvidet med 3 m. Blå stiplet linje viser plassering av tidligere skjæring, mens rød stiplet linje viser dagens skjæring.	88
Figur 74) Prinsippskisse av et frostbelte (Carey, 1973).....	89
Figur 75) Frostbeltet tvinger grunnvannet til overflaten et stykke unna vegen eller jernbanen.	90
Figur 76) Prinsippskisse av isgjerder.	91
Figur 77) Isgjerde langs sovjetisk jernbanelinje (Carey, 1973).	92
Figur 78a) Nettet avsluttes med en waier som tres gjennom nettmaskene og boltes fast i berget. Nettet brettes tilbake over waieren og festes. b) Isen vokser fra nettet, slik at vann kan renne på baksiden av isen. Begge foto: A. Liereng.....	93
Figur 79) Fanggjerder plasseres ovenfor infrastrukturen som skal beskyttes mot isras fra bratte fjellsider. Tiltaket kombineres ofte med isnett i skjæringen. Fv 651 (Telemark). Foto: A. Liereng	95
Figur 80a og b) Fjellsiden er sikret mot steinsprang og isras med voll, rasvarslingsgjerde og isnett. Raudberget, Nordlandsbanen. Foto: A. Liereng (15.3.16).	96
Figur 81a og b) Eksempel på godt utformet bekkeløp og innløp til stikkrenne langs Tann-Annolsetervegen. Bekken renner i en dyp og smal nedføringsrenne. Det var ingen iskjøving i stikkrenna vinteren 2015/16. Foto: A. Liereng (20.9.15).....	98
Figur 82a) I grøfter som er fylt med is fra bunnen kan varmekabelen smelte en åpen kanal for vannet. b) I grøfter nedenfor skjæringer kan varmekabelen lage en åpen stripe i grøfta som leder vannet ned.	100
Figur 83) Det er lagt ut varmekabel i grøfta utenfor Dalsklubben tunnel på Nordlandsbanen. Varmekabelen lager en åpen stripe i grøfta. Foto: A. Liereng (15.3.16).	101
Figur 84) Svilleoverbygg over innløp til stikkrenne langs Meråkerbanen. Foto: A. Liereng	103
Figur 85) Tre forebyggende tiltak: Frostgardin av fiberduk for å hindre trekk, føringsrør for enkel tilkobling av dampstimplange, og ekstra stikkrenne plassert høyere i underbygningen. Nordlandsbanen, ca. km 400. Foto: Kjell Arne Skoglund	103
Figur 86a) Enkelte av stengene i rista er fjernet for å hindre iskjøving. b) Vegetasjon, stein og søppel kan samle seg i ristene og kummene. E39, Vinjefjorden. Foto: A. Liereng (3.11.15).	104
Figur 87) Det er laget en åpen kanal med ishakke for å lede vannet ned i bunnen av grøfta. Foto: A. Liereng (19.2.16).	105
Figur 88) En stripe salt over isen kan hindre isen i å komme ut i sporet. Foto: A. Liereng (15.1.16).	106

Figur 89) Varm frostvæske sirkuleres gjennom slanger og tiner en åpen kanal i isen. Foto: Karl Olav Dahlberg, Mesta (Reitan, 2013).	106
Figur 90) Det er lagt ut salt og saltstein for å smelte en åpen kanal ned til stikkrenna. Meråkerbanen. Foto: A. Liereng (15.1.16).	107
Figur 91) Valg av tiltak bør baseres på problemet og årsaken til problemet. Lokale forhold, ressurser og andre hensyn vil avgjøre hvilke tiltak som kan gjennomføres.....	109
Figur 92) Tiltak mot iskjøving kan komme i konflikt med andre interesser. Figuren viser noen viktige forhold det må tas hensyn til.	111
Figur 93) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving fra jevnt fordelt grunn- og overflatevann i skjæringer uten problemer med isras.	112
Figur 94) Anbefalte strategier for å hindre isras i høye skjæringer eller bratt terreng.	113
Figur 95) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving fra grunnvannskilder i skjæringer.	114
Figur 96) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving i bekker som føres ned over skjæringer.	114
Figur 97) Et enkelt oppsett for å vise hvilke forhold som bør vurderes ved valg av tiltak mot iskjøving i skjæringer.	115
Figur 98) Eksempel på valg av tiltak for bekken ved Sørkilhaugen (Meråkerbanen 1).	116
Figur 99) Iskjøving i skjæringen bak det tekniske bygget ved Odenrud. Foto: A. Liereng (11.3.16).	117
Figur 100) De svarte stjernene viser utspring av grunnvann. Vannet renner ned til fjellskjæringen som vist med gule piler. Vannet fordeler seg utover de flate berghyllene og samles i to nedløp bak teknisk bygg. Foto: A. Liereng (19.5.16).	118
Figur 101) Tiltak for å unngå iskjøving bak det tekniske bygget utenfor Odenrud tunnelportal.	119
Figur 102) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving i grunne overvannsgrøfter.	120
Figur 103) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving i grøfter som følge av is i stikkrenner.	120
Figur 104) Anbefalte strategier der iskjøving fra sideterreng fyller grøfta med is fra siden.	121
Figur 105) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving i smale grøfter nedenfor skjæringer.	122
Figur 106) Et enkelt oppsett for å vise hvilke forhold som bør vurderes ved valg av tiltak mot iskjøving i grøfter.	123
Figur 107) Anbefalte tiltak for grøfta ved Langneset, Meråkerbanen.	124

Tabelliste

Tabell 1) Oversikt over kontaktpersoner for ulike veg- og jernbanestrekninger.	6
Tabell 2) Fire vannkilder i skjæringer.	25
Tabell 3) Varmeledningsevne for løsmasser, jord og andre materialer. Porevolumet for sand og torv er henholdsvis 40 og 80 volumprosent (Colleuille et al., 2001).	39
Tabell 4) Ulike stadier for bølgete iskjøving.	50

Ordforklaring

Her gis en kort definisjon av begreper som benyttes i oppgaven. Ord og uttrykk for ulike typer iskjøving på flere språk er også inkludert.

Aufeis (tysk). Det tyske begrepet for iskjøving i elver (Synonym til River icing og Naled). Aufeis betyr «på is» eller «oppå is» (Carey, 1973). Begrepet brukes også i engelskspråklige land for iskjøving i elver (Daly, 2013).

Ground icing (engelsk). Iskjøving på bakken som dannes fra grunnvann som sildrer på overflaten. Vannet presses til overflaten på grunn av hindringer eller høyt vanntrykk i bakken. Kalles også Seepage icing. Se Iskjøving.

Grunnvann. Vann i løsmasser og berggrunn der alle porer og sprekker er fullstendig mettet med vann, og vanntrykket i vannet i porene er lik eller høyere enn atmosfæretrykket (Norges geologiske undersøkelse, 2016).

Icing (engelsk). Se iskjøving. Icing kan også brukes om is som dannes av luftbårent vann. I denne oppgaven vil kun den første betydningen av «icing» benyttes.

Iskjøving. Det mest brukte norske ordet for det engelske begrepet «icing». Iskjøving, eller icing, er en masse av overflateis som dannes ved gjentatt frysing i tynne lag av vann fra grunnen, kilder, elver eller bekker (Asvall, 2010, Carey, 1973, Chekotillo, 1940, Lovell og Herrin, 1953). Iskjøving referer til både prosessen der isen vokser og produktet av prosessen, altså selve isformasjonen. Det norske verbet «å kjøve» er et synonym for «å kvele». Ordet iskjøving refererer dermed til at isen kveler elva eller vanntilstrømningen i bakken.

Iskrystall. En masse av is der alle molekylene er ordnet i et fast mønster.

Issvull. Dagligdags synonym for iskjøving. Brukes ofte om is som kommer ut i vegbanen, fortau, jernbaneskiner eller liknende.

Kjøving. Et annet norsk uttrykk for iskjøving.

Naled (russisk). Det russiske begrepet for iskjøving i elver (river icing). Naled betyr «på is» eller «oppå is» (Carey, 1973). Naled er det mest brukte begrepet for iskjøving i elver internasjonalt (Daly, 2013).

Overflatevann. Vann som renner på overflaten i bekker, elver, tjern og innsjøer, samt vann i de øvre jordlagene, der porene i jorda bare er delvis mettet med vann (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016).

Polarisert lys. Lys der bølgene kun har én svingeretning.

River icing (engelsk). Iskjøving i elve- eller bekkeløp. Isen kan spre seg til områder utenfor elveløpet.

Sarr eller *issørpe*. Flytende iskrystaller som dannes når underkjølt vann treffer krystallasjonskjerner (Asvall, 2010). På engelsk kalles det Frazil ice.

Spring icing (engelsk). Iskjøving på bakken som dannes fra vann som renner fra en kilde. For å kalles en spring icing må grunnvannet komme fra et bestemt sted og føre til en veldefinert kanal.

Stevling. Stevling er et norsk dialektord og er et synonym til iskjøving. Begrepet brukes for bekker som bunnfryser, slik at vannet renner over isen. Det kommer av det oldnorske verbet «stefja» som betyr å stanse. Stefja henger sammen med «stefna» som betyr «å demme opp» eller «å få vannet til å stanse» (I Sollia - naturligvis, 2010).

Svallis (svensk). Det svenske uttrykket for iskjøving. Svallis kommer av ordet «svälla», og betyr svellende eller voksende is (Sandegren og Wallmark, 1982).

Svellis. Isen som dannes ved iskjøving i elver og bekker kalles svellis (Asvall, 2010). Begrepet brukes også om is som vokser utover vegbanen i store svuller.

Taryn (russisk). Det russiske begrepet for iskjøving fra grunnvann eller kilder (Ground icing eller Spring icing) (Carey, 1973).

Tynnslip. Tynn skive av is som brukes til analyser i laboratoriet. Isen er høvlet ned til under 1 mm tykkelse.

Underkjølt vann. Vann som kjøles under frysepunktet uten at det dannes iskrystaller.

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Denne masteroppgaven handler om iskjøving langs norske veier og jernbaner. Iskjøving er en form for is som bygges opp der vann renner over eksisterende is og fryser i tynne lag. Helt siden man begynte å bygge i kalde regioner har iskjøving hindret trafikk, forårsaket ulykker og skadet infrastrukturen. Tradisjonelt har iskjøving blitt håndtert som et driftsproblem. Fjerning av is er tidkrevende og risikofyllt arbeid og effekten er ofte kortvarig. Derfor har de som eier og drifter infrastrukturen alltid lurt på hvordan problemene med iskjøving kan unngås.

I første halvdel av 1900-tallet ble det utført mange studier på iskjøving. En av de viktigste lærdommene fra denne tiden, er at iskjøving langs veier og jernbaner ofte er et resultat av menneskelige inngrep. Måten infrastrukturen bygges og driftes på skaper eller forsterker problemene. I en tid der ressursene var knappe ble lokalkunnskap og erfaring de viktigste redskapene for å unngå problemene. Gjennom observasjon, prøving og feiling økte forståelsen av hvordan infrastrukturen påvirket forekomsten av is.

Med dagens ressurser, maskiner og planleggingsverktøy skulle man tro at problemene med iskjøving var løst. Dessverre viser det seg at selv nybygde veier kan få omfattende problemer. I tillegg forsvinner stadig mer av erfaringen og kunnskapen om fenomenet. Mye av kunnskapen ligger hos driftspersonell og er ikke skrevet ned. Uten kunnskap om hvor og hvorfor iskjøving oppstår er det vanskelig å forutse hvor det kan bli problemer. Det er heller ikke lett å finne gode tiltak mot isen uten kunnskap om mange ulike tiltak, inkludert bruksområder og begrensinger for de ulike tiltakene.

Denne masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Jernbaneverket og er en videreføring av prosjektoppgaven om samme tema (Liereng, 2015). Prosjektoppgaven besto av et litteraturstudium med fokus på å beskrive ulike typer iskjøving, årsaker og forhold som bidrar til iskjøving. Det ble også gjennomført befaringer til ulike veg- og jernbanestrekninger for å se forholdene uten snø. Masteroppgaven er avgrenset til iskjøving fra grunnvann og overflatevann i skjæringer og grøfter langs veg og jernbane. Iskjøving i elver og tunneler er godt beskrevet i eksisterende internasjonal litteratur og vil ikke diskuteres. Iskjøving i stikkrenner vil presenteres kort, siden dette har nær sammenheng med iskjøving i grøfter.

1.2. Målsetting og forskningsspørsmål

Målsettingen for masteroppgaven kan deles inn i fire delmål. Det første er å samle inn eksisterende kunnskap om iskjøving i skjæringer og grøfter fra inn- og utland. Her vil både skriftlig litteratur og praktisk erfaring være viktige kilder. Det andre delmålet er å øke

forståelsen av hvorfor iskjøving i skjæringer og grøfter oppstår. Årsakene til iskjøving, faktorer som bidrar til iskjøving, hvordan ulike faktorer virker sammen og hvordan selve prosessen foregår er viktige spørsmål. Det tredje delmålet er å vurdere forebyggende tiltak mot iskjøving og diskutere valg av tiltak. Det siste delmålet er å presentere kunnskapen og forståelsen som er samlet gjennom arbeidet med denne oppgaven.

Basert på avgrensingen og målsettingen for oppgaven er det laget to forskningsspørsmål som skal besvares:

- 1) Hvilke årsaker og prosesser bidrar til iskjøving i skjæringer og grøfter? Hvordan bidrar klima og lokale forhold, i første rekke geologi og utformingen av skjæringer, grøfter og terrenget rundt, til denne iskjøvingen?
- 2) Hvilke tiltak vil med stor sannsynlighet kunne redusere iskjøving i skjæringer og grøfter, gitt god kjennskap til iskjøvingens årsaker og prosesser samt lokale forhold?

Disse spørsmålene er valgt for å gjøre det enklere å velge gode forebyggende tiltak. Det er ikke tilstrekkelig å samle inn beskrivelser av tiltak som benyttes i inn- og utland. Tiltakene må tilpasses de lokale forhold og årsaker for å ha ønsket effekt. Dette krever kunnskap og forståelse av fenomenet og årsakene til at problemene oppstår. Kunnskapen kan også bidra til å gjøre det enklere å oppdage mulige problemområder langs nye veger og jernbaner.

1.3. Oppbygging av oppgaven

De to første kapitlene i oppgaven er en innledning til oppgaven og metodene som er benyttet i oppgaven. Videre er oppgaven bygget opp som en monografi og er delt i tre deler etter tema: Beskrivelse av iskjøving, Årsaker og prosesser og Forebyggende tiltak mot iskjøving. Del en i oppgaven er særlig rettet mot lesere som ikke er kjent med fenomenet iskjøving. Kapittel 3 gir en introduksjon til fenomenet iskjøving, med beskrivelser av ulike typer iskjøving. I kapittel 4 presenteres vanlige problemer isen skaper for infrastruktur i Norge.

Del to i oppgaven handler om årsaker og prosesser. Kapittel 5 beskriver vanlige årsaker til iskjøving i skjæringer og grøfter. I kapittel 6 diskuteres lokale og klimatiske faktorer som bidrar til iskjøving. Disse faktorene er avgjørende for hvor og når iskjøving oppstår. Kapittel 7 handler om hvordan iskjøving foregår og hvordan isen fryser på ulike måter. Tredje og siste del av oppgaven handler om tiltak mot iskjøving. Kapittel 8 og 9 gjennomgår aktuelle tiltak mot iskjøving i skjæringer og grøfter, respektivt. Deretter diskuteres valg av tiltak for ulike problemer, årsaker og lokale forhold i kapittel 10. Helt til slutt vil det være en samlet konklusjon av oppgaven i kapittel 11 og forslag til videre arbeid i kapittel 12.

Opgaven har også en del vedlegg. Disse inneholder blant annet beskrivelser av alle steder som presenteres i oppgaven. Vedleggene kan brukes både som oppslagsverk og utdypning av teksten i oppgaven.

2. Metode

Dette kapitlet beskriver de metodene som er benyttet i arbeidet med oppgaven. Arbeidet har i stor grad gått ut på å samle kunnskap og erfaring fra ulike kilder gjennom kvalitativ metode. Litteraturstudier, feltarbeid og befaringer, intervjuer og samtaler har vært de viktigste metodene. I tillegg er det gjennomført noen enkle laboratorieforsøk for å studere krystallstrukturen i isen.

2.1. Litteraturstudier

2.1.1. Litteratursøk

Mye av informasjonen i denne oppgaven er hentet fra skriftlige kilder. Litteraturen strekker seg fra 1940-tallet fram til i dag. Mye av litteraturen er funnet i forbindelse med den forberedende prosjektoppgaven skrevet høsten 2015. I løpet av våren 2016 er det søkt etter mer litteratur, hovedsakelig knyttet til tiltak mot iskjøving og ulike fryseprosesser for is.

Siden mye av litteraturen er av eldre dato, har litteratursøket vært krevende. Enkelte bøker og artikler er ikke tilgjengelig på internett eller norske bibliotek. Biblioteket i Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL) i USA sendte flere av sine dokumenter som ikke er lagt ut på internett. I tillegg har forfatteren fått rapporter, notater, tegninger og liknende fra ansatte i Statens vegvesen og Jernbaneverket.

2.1.2. Eldre litteratur (1940-2000)

Mye av informasjonen om iskjøving og tiltak er hentet fra eldre amerikansk og russisk litteratur. Monografien «Icings developed from surface water and ground water» skrevet av amerikaneren Kevin L. Carey i 1973, er den viktigste kilden. I tillegg er det benyttet mange andre artikler av Carey og andre amerikanske og russiske forskere i oppgaven. Selv om litteraturen er fra 40 – 80 tallet, er den likevel aktuell. Mye av kunnskapen som er skrevet ned i disse bøkene og artiklene stemmer godt overens med det driftspersonell vet i dag.

Det er også benyttet eldre norsk litteratur i oppgaven. Kolbjørn Hejes «Veg- og jernbanebygging: håndbok for undervisning og praksis» fra 1941 inneholder beskrivelser av flere aktuelle tiltak mot iskjøving, spesielt knyttet til drenering. «Drenering for vegar», skrevet av R. S. Nordal i 1965 er en annen kilde til tiltak mot iskjøving. Harald Norems «Sikring av vegar mot isras» fra 1998 er også benyttet. Denne veilederen inneholder mange aktuelle tiltak mot iskjøving og isras.

2.1.3. Nyere litteratur (2000-2016)

For å gjøre oppgaven mest mulig komplett og oppdatert er det også søkt etter nyere litteratur. Det er spesielt litteraturen om ulike fryseprosesser for iskjøving og istapper som er av nyere dato. Flere av forskningsartiklene om fryseprosesser er fra japanske universitet, blant annet

Ueno (2007). Aktuell forskning innen samme tema fra Canada er også tatt med, se Chen og Morris (2013) og Chen (2014).

Håndbok N200 Vegbygging fra Statens vegvesen og Teknisk regelverk fra Jernbaneverket er selvsagt inkludert i litteratursøket. Disse inneholder regler og vegledning til utforming av blant annet grøfter og skjæringer for veg og jernbane i Norge. En ny veileder til drenering av veg og jernbane (Norem et al., 2016) er også benyttet. Denne inneholder både generelle råd om drenering, og spesifikke tiltak for å forebygge iskjøving. I tillegg er flere rapporter knyttet til fjerning av is i grøfter og stikkrenner tatt med i oppgaven, se Reitan (2013) og Statens vegvesen (2016).

2.2. Feltarbeid og befaringer

2.2.1. Beskrivelse av strekningene som er studert

Det har blitt gjennomført feltarbeid og befaringer i løpet av høsten, vinteren og våren 2015/16. Strekningene som er studert, er valgt siden de har, eller har hatt, store problemer med iskjøving. På enkelte steder har det blitt utført tiltak, og der har formålet med befaringen vært å se på effekten av tiltaket. Andre steder er det fortsatt problemer med is, og der har formålet vært å vurdere forebyggende tiltak basert på årsaken til problemet.

Fire veg- og jernbanestrekninger er fulgt opp fra høsten 2015 til våren 2016: Meråkerbanen mellom Hell og Storlien (Nord-Trøndelag), Tann-Annolsetervegen i Breidalen (Oppland), Fv 30 mellom Rognes og Haltdalen (Sør Trøndelag) og E 39 langs Vinjefjorden ved Engdalen (Møre og Romsdal). Det var lite is langs E39 og Fv 30 denne vinteren, og disse strekningene ble dermed bare befart en gang i løpet av vinteren. Langs Tann-Annolsetervegen var det mye is og gode forhold for observasjon av ulike typer is. Denne strekningen ble dermed fulgt opp mer enn planlagt. I tillegg er det gjennomført befaringer til flere strekninger der det er utført tiltak mot iskjøving: Ny E6 mellom Frya – Sjoa (Oppland), Fv 651 mellom Rjukan og Gaustablikk (Telemark) og Nordlandsbanen mellom Dalsgrenda og Raudberget (Nordland).



Figur 1) Oversikt over alle strekningene som er studert. Etter Norgeskart (2016).

Figur 1 viser et kart over strekningene som er studert i denne oppgaven. Vedlegg 3 gir en oversikt over alle utførte befaringer, med dato, formål og de viktigste observasjonene. Langs hver strekning er det mange punkter med iskjøving som er studert. Vedlegg 4 gir en oversikt over alle stedene, med strekning, stedsnavn, eventuelt nummer, type problem og vannkilde. Vedlegg 4 henviser også til egne vedlegg for hvert av stedene. Vedlegg 5 – 11 beskriver stedene med kart og bilder. For en del av stedene er det også foreslått tiltak.

2.2.2. Gjennomføring av feltarbeid og samtaler

Det er valgt å bruke kvalitativt orientert forskning for å samle informasjon gjennom feltarbeid. Kvalitativt orientert forskning fokuserer på innhold og mening, snarere enn antall og mengder. Data samles inn gjennom ustandardiserte metoder og tolkes av forskeren (Wadel, 1991). Denne type forskning skiller seg tydelig fra kvantitativt orientert forskning. Kvantitativ forskning innebærer å samle inn data med standardiserte metoder, for eksempel testing i laboratorium eller spørreundersøkelser. Resultatet vil kunne tallfestes og vises med grafer eller liknende (Befring, 2015). Årsaken til at kvalitativt orientert forskning har blitt benyttet, er at dette gir større dybdeforståelse av fenomenet som undersøkes (Wadel, 1991).

Observasjon, fotografering og samtaler har vært de viktigste metodene for å samle kunnskap gjennom feltarbeidet. På befaringene som ble gjennomført høsten 2015 og sent på våren 2016 ble de lokale forholdene studert uten snø. Geologi, topografi og vannstrømning ble studert på

steder der iskjøving skaper problemer om vinteren. På vinterbefaringene var målet å finne ut hvordan og hvorfor isen vokser, hvilke steder som er utsatt for problemer, hvordan vær og klima påvirker iskjøvingen og hvordan ulike tiltak fungerer. Der det var utført tiltak mot iskjøvingen ble effekten av tiltakene vurdert. Forholdene ble dokumentert gjennom fotografering og skisser. Undervegs snakket forfatteren med driftspersonell og andre personer som deltok på befaringer. På denne måten fikk hun tilgang til deres kunnskap og erfaring.

Langs Meråkerbanen fikk forfatteren være med driftspersonell i sitt vanlige arbeid, samtidig som hun studerte iskjøvingen på strekningen. Dette kalles deltakende observasjon og gir tilgang til mye mer informasjon enn spørreundersøkelser eller standardiserte intervjuer. Deltakende observasjon gir for eksempel informasjon om forhold som driftspersonell regner som selvsagte, og som de ikke ville nevnt i spørreundersøkelser (Wadel, 1991). Deltakende observasjon gir også mye informasjon om hvordan ting gjøres i praksis, i større grad enn ved standardiserte metoder.

2.3. Uformelle intervjuer

Driftspersonell på de ulike strekningene har spesielt mye kunnskap om hvor og når isen vokser og hvilke problemer den skaper. I tillegg har de selvsagt mye erfaring om effekten av ulike forebyggende og kontrollerende tiltak, samt valg av tiltak og tidspunkt for tiltak. Samtalene med driftspersonell har dermed vært viktig kilde til kunnskap. For å samle erfaringer fra flere strekninger er det i tillegg gjennomført uformelle intervjuer via epost. Det er tatt kontakt med personer i Jernbaneverket og Statens vegvesen som har erfaring med ulike typer tiltak mot iskjøving. Spørsmålene har blitt sendt på epost og besvart skriftlig. Tabellen nedenfor gir en oversikt over kontaktpersonene for de ulike veg – og jernbanestrekningene.

Tabell 1) Oversikt over kontaktpersoner for ulike veg- og jernbanestrekninger.

Strekning	Kontaktpersoner
Meråkerbanen	Ole Ivar Ringen, Terje Rønsåsbjørg (Drift Jernbaneverket)
Nordlandsbanen	Eilert Skonseng (Jernbaneverket)
Bergensbanen	Ole Eirik Almenningen (Jernbaneverket)
Sørlandsbanen	Vidar Andersen (Jernbaneverket)
Fv 30	Petter Bendheim (Statens vegvesen)
E 39	Stig Lillevik, Nils Erling Skålvik (Statens vegvesen)
Ny E6 Frya - Sjoa	Torgeir Kval (Statens vegvesen)
Fv 651	Audun Langelid, Harald Norem (Statens vegvesen)
Tromsø kommune	Jan Stenersen (Vann og avløp, Tromsø kommune)

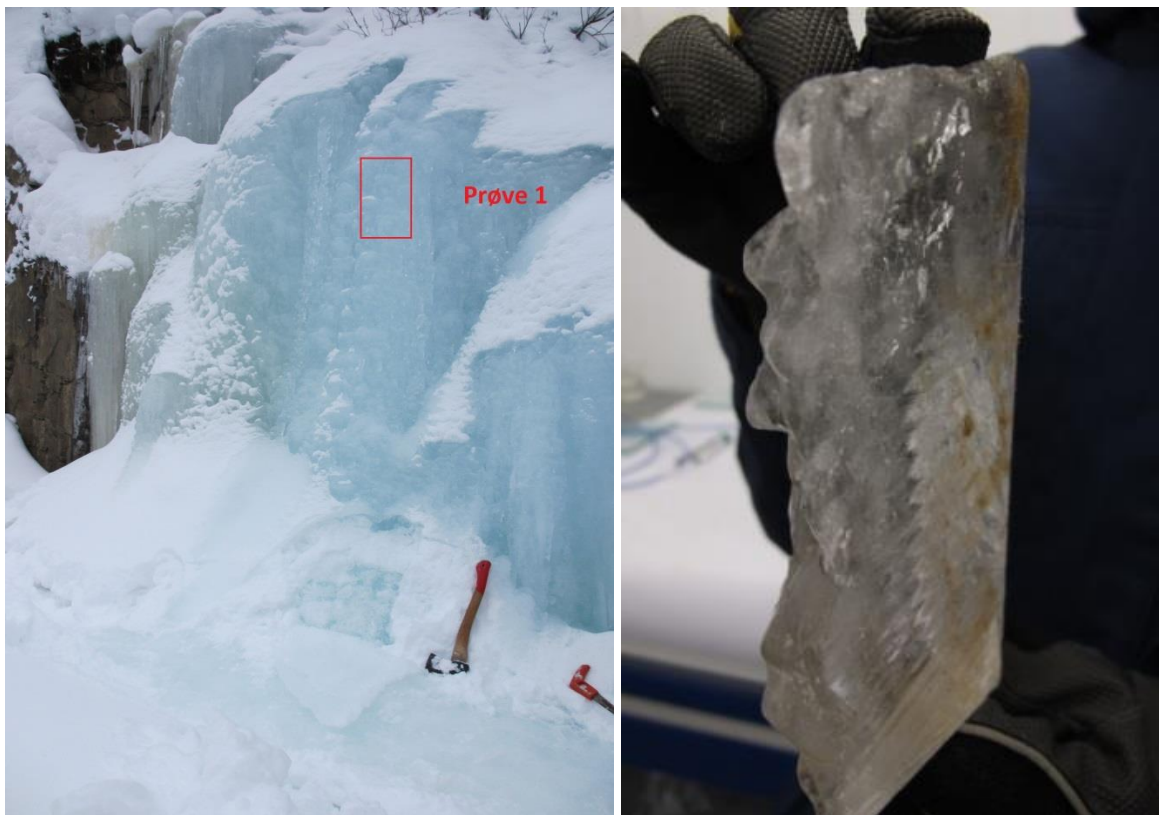
2.4. Tynnslip av isprøver i laboratorium

2.4.1. Innsamling av is

Det er hentet is fra to strekninger. De første isprøvene ble tatt fra Meråkerbanen 19.2.16. De tre prøvene var istapper med glatt overflate, omtrent 10 cm i diameter. Prøvene ble hentet fra skjæringene ved Brennhaugen og Langsvehaugen. Beskrivelser og bilder av stedene isen ble hentet fra finnes i vedlegg 5G og 5H. På grunn av begrenset tid til rådighet i laboratoriet ble disse prøvene ikke undersøkt. Prøvene som er undersøkt i laboratoriet er hentet fra Tann-Annolsetervegen i Breidalen 9.3.16. Det ble tatt med tre isprøver: Én prøve av bølgete is, én prøve av glatt, homogen is, og en lang istapp i flere deler.

Prøvene ble tatt ut så skånsomt som mulig med håndsag, øks og spett. Så snart en prøve var løsnet, ble den saget til en passe størrelse, tørket av og pakket inn i plastfolie. Prøvene ble lagt i en isolert kasse med fryseelementer. Temperaturen i kassen var stabilt $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. En temperaturlogger registrerte temperaturen under hele transporten av isen. Prøvene ble transportert til Trondheim samme kveld og lagt i fryser med temperatur $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prøvene lå i fryseren til de ble analysert i laboratoriet 18.3.16. På grunn av begrenset tid ble ikke istappen analysert.

Isprøve 1 – Bølgete, aktiv is (Tann-Annolsetervegen, Breidalen 3)



*Figur 2a) Isprøve 1 ble hentet fra denne issvullen med bølgete overflate. Foto: A. Liereng (7.3.16)
b) Isprøve 1 etter saging. Bølgete side er framsiden. Glatt side (mot høyre) er saget. Foto: Alex Klein-Paste (18.3.16).*

Isprøve 1 ble hentet fra en stor og aktiv issvull langs Tann-Annolsetervegen som vist i Figur 2a. Det rant mye vann både utenpå og inni isen, og prøven var ikke helt gjennomfrossen når det ble tatt ut. Isen i dette området hadde en bølgete overflate. For kart og beskrivelser av stedet isen er hentet fra, se vedlegg 6C. Isprøven var ca. 20 cm høy, 8 cm bred og 8 cm dyp etter saging. Figur 2b viser isprøven i laboratoriet.

Isprøve 2 – Glatt, homogen is, inaktiv (Tann-Annolsetervegen, Breidalen 2)



*Figur 3a) Isprøve 2 er hentet en glatt, klar og tørr iskjøving. Foto: A. Liereng (7.3.16).
b) Isprøve 2 etter saging. Foto: Alex klein-Paste (18.3.16).*

Figur 3a viser hvor isprøve 2 ble hentet fra en liten iskjøving langs Tann-Annolsetervegen i Breialen (2). Isen var glatt, tørr og helt gjennomsiktig. Stedet isen er hentet fra, er beskrevet i vedlegg 6B. Isprøven var ca. 15 cm høy, 6 cm bred og 5 cm dyp. Figur 3b viser isprøven i laboratoriet.

2.4.2. Tynnsliping av is i fryselaboratorium

Formål

Formålet med laboratorieforsøket var å studere krystallstrukturen i isen. Målet var å finne ut hvor store krystallene er og hvordan de er orientert. I tillegg kan analysen bidra til økt forståelse av hvordan isen vokser og fastslå hvorvidt isen kan fryse med ulike prosesser. Analysen ble gjennomført 18.3.16 i et laboratorium med lufttemperatur $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ på NTNU.

Utstyr

Alt utstyret er plassert i laboratoriet i forkant av forsøket og er dermed -10 grader.

- Båndsg
- Rene glassplater
- Pipetter

- Glass med vann (0 grader)
- Høvlemaskin m skarpt knivblad
- Tynn skarp kniv/skalpell
- Polarisasjonsapparat

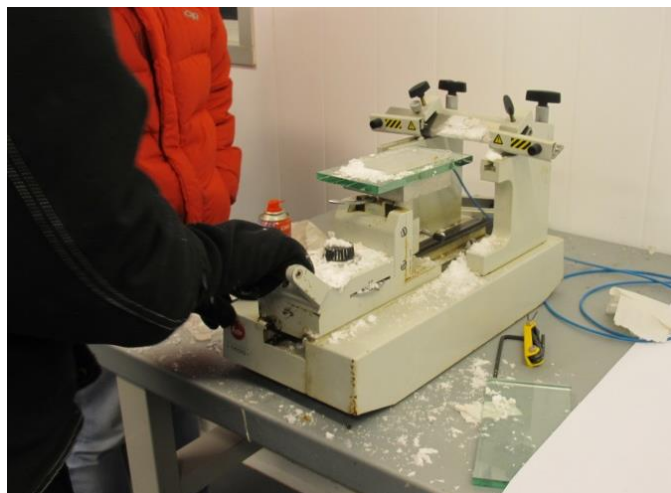
Forberedelser

Isprøvene ble tatt ut av fryseren og inn i laboratoriet med lufttemperatur på -10 °C. For å unngå at isen ble utsatt for rask temperaturøkning (fra -18 til -10 grader) ble isen lagt i en isolert kasse en stund. Neste trinn var å sage ut en skive av isprøven med båndsg, omtrent 1 cm tykk. De vertikale snittene ble saget ut i midten av isprøven, der isen var tykkest. De horisontale snittene ble saget fra bunnen av isprøven.

En myk børste ble brukt til å fjerne støv på isprøven. Prøven ble deretter lagt på en ren glassplate. Vann ved 0 grader ble brukt til å lime fast prøven. Med en liten pipette ble det lagt ut noen dråper av vann langs kanten av isen, mens isen ble presset lett ned med hånden. Dette hindret vann i å renne inn under isen.

Sliping av isprøve

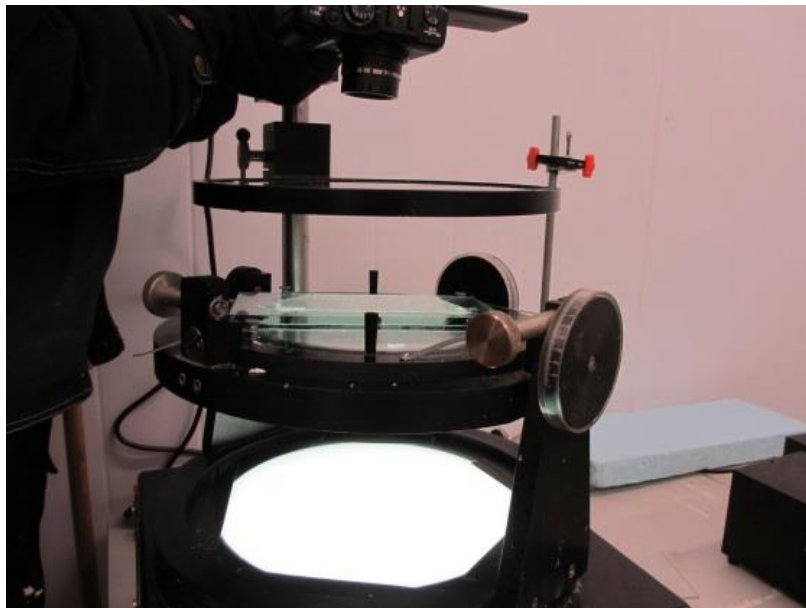
Glassplaten ble festet med vakuum på høvlemaskinen. Høyden av platen ble justert slik at isen lå nesten inntil knivbladet. Høvlingen av isen ble utført manuelt, som vist i Figur 4. Prøven ble ført fram og tilbake under knivbladet med jevne bevegelser. Hver gang platen ble ført tilbake, hevet den seg et visst antall μm . I starten kunne man bruke trinn på 30 μm , deretter 20 μm , 10 μm , 1 μm . Isen ble høvlet helt til alle spor etter sagen var borte og overflaten var helt glatt. Med en skarp kniv/skalpell ble isen løsnet fra glassplaten. Isen ble snudd og plassert med den glatte siden ned på en ren glassplate. Isen ble høvlet etter samme prosedyre på den andre siden. Nå ble isen høvlet til omtrent 100 μm tykkelse. Jo tynnere isen er, jo bedre kommer krystallstrukturen fram under polarisert lys.



Figur 4) Hver gang isen ble ført tilbake, hevet platen seg et hakk, slik at tynne lag av isen ble høvlet av. Foto: A. Liereng (18.3.16).

2.4.3. Undersøkelse av is med polarisert lys

Da prøven var tynn nok, ble den undersøkt med et polarisasjonsapparat. Apparatet består av en lyskilde og to polarisasjonsfiltere og er vist i Figur 5. Lyskilden sender ut vanlig hvitt lys, som har lysbølger i alle svingeretninger. Det nederste polarisasjonsfilteret kalles polarisator, og brukes for å polarisere lyset i én retning. Det er kun lysbølgene som svinger i en gitt retning som slipper gjennom filteret. Glassplaten med isprøven legges over polarisatoren. Øverst på apparatet er det et polarisasjonsfilter til. Dette kalles analysator og brukes for å undersøke hvordan lyset brytes gjennom isprøven (Holtebekk, 2011). Resultatene av laboratorieanalysen er presentert i kapittel 7, sammen med relevant teori om krystallstrukturen i is.



Figur 5) Polarisasjonsapparat. Nederst er det en lyskilde som sender ut hvitt lys. Over lyskilden er det to polarisasjonsfilter, som isprøven plasseres mellom. Foto: A. Liereng (18.3.16).

DEL 1

Beskrivelse av iskjøving



3. Hva er iskjøving?

3.1. Definisjon

Iskjøving defineres som is som bygges opp gjennom gjentatt frysing av vann i tynne lag over en eksisterende isflate eller annen kald overflate (Asvall, 2010, Carey, 1973, Chekotillo, 1940, Lovell og Herrin, 1953). Begrepet brukes både om prosessen der vannet fryser, og om resultatet av prosessen.

3.2. Utbredelse

Iskjøving er et naturfenomen som kan oppstå i arktiske og subarktiske regioner. Forutsetningen for at iskjøving skal kunne skje, er tilgang på vann og tilstrekkelig frost. For at isen skal skape problemer, må det være infrastruktur eller bebyggelse i områder med iskjøving. Dette betyr at det er land i subarktiske regioner med mye infrastruktur som har størst problemer med iskjøving: Norge, Sverige, Finland, Russland, Alaska (USA), Canada, Mongolia og Nord-Kina. Kartet nedenfor gir en oversikt over områdene med mye iskjøving.



Figur 6) Land og regioner som opplever problemer med iskjøving er markert med rødt. Figuren er laget etter Liao (2011).

3.3. Beskrivelser av ulike typer iskjøving

Iskjøving er et naturlig fenomen som kan oppstå fra ulike vannkilder på ulike steder. I eldre litteratur er det vanlig å dele iskjøving inn i tre hovedgrupper etter vannkilden: Iskjøving i elver (river icings), iskjøving fra grunnvann (ground icings) og iskjøving fra naturlige kilder (spring icings). I virkeligheten er det en glidende overgang mellom de tre kategoriene. Iskjøving oppstår gjerne fra kombinasjoner av flere vannkilder. Inndelingen er likevel nyttig for å se de ulike årsakene til iskjøving, prosessene som foregår og hvilke tiltak som egner seg på ulike steder (Carey, 1973).

Dette kapitlet vil gi en kort beskrivelse av ulike typer iskjøving. Målet er å gi leseren en oversikt over fenomenet, og er spesielt rettet mot dem som ikke er kjent med iskjøving. For å gjøre oversikten komplett er alle typer iskjøving med i denne oversikten, selv om de ikke diskuteres videre i oppgaven.

3.3.1. Iskjøving i elver og bekker

Iskjøving kan oppstå i elver og bekker etter at et vanlig isdekke har lagt seg på overflaten, ved at vann strømmer over isdekket og fryser i tynne lag. På denne måten bygger isen seg opp over elva eller bekken. Denne formen for iskjøving forutsetter at vannstrømningen under islaget hindres, og skjer oftest i områder der vandedybden er lav og elvebunnen er impermeabel (Carey, 1973). Ved langvarig kulde kan isen fylle hele elveløpet og spre seg utover store områder, som vist i Figur 7. Isen som dannes over det eksisterende islaget kalles svellis eller stevling (Asvall, 2010, Glommens og Laagens Brukseierforening, 2007). På engelsk heter denne typen iskjøving river icing. Det tyske begrepet aufeis eller det russiske ordet naled er imidlertid mer brukt, også i engelskspråklige land (Daly, 2013).



Figur 7) Svellis i en elv. Isen har fylt elveløpet og deretter spredd seg utover terrenget langs elvebredden (Asvall, 2010).

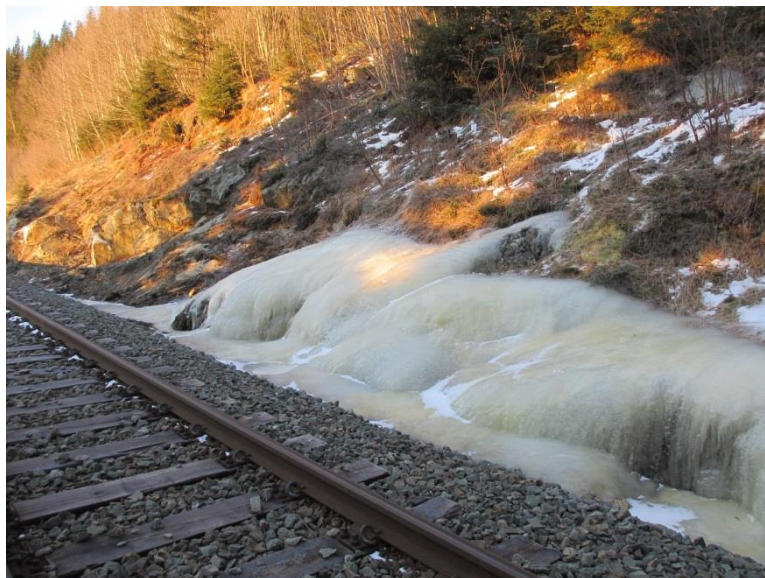
Iskjøving kan også oppstå i elver som ikke er dekket av et vanlig islag. Dersom temperaturen i luften er lav nok, vil vannet i overflaten underkjøles under 0 °C. Ved slike forhold kan det dannes flytende iskrystaller, kalt sarr. Sarret kan feste seg til eksisterende iskanter langs elvebredden eller fryse fast til bunnen av elva. Dersom sarret fryser til bunnen kan elva fylles

med is fra bunnen, slik at vannet må renne over isen. Ved tykk bunns og lav vannføring kan iskjøving fylle hele elveløpet med is (Asvall, 2010).

Videre i denne oppgaven er det bare iskjøving i bekker som føres over skjæringer som er tatt med. Iskjøving i elver og store bekker diskuteres ikke. For detaljerte beskrivelser av iskjøving i elver, se Carey (1973), Asvall (2010) og Daly (2013).

3.3.2. Iskjøving fra grunnvann

Denne typen iskjøving oppstår når jevnt fordelt grunnvann i terrenget eksponeres for kald luft og fryser i tynne lag. Isen kan dannes over alt i terrenget: på flatt terreng, i naturlige skrånninger eller i skjæringer av fjell eller jord. Iskjøving fra grunnvann forekommer sjeldent under naturlige forhold, siden vannet vanligvis renner under isolerende jordlag hele året. Langs veger og jernbaner er iskjøving fra grunnvann den typen iskjøving som skaper flest problemer. Årsaken er at infrastrukturen endrer de naturlige dreneringsvegene og temperatursituasjonen i jorda. På engelsk kalles iskjøving fra grunnvann enten *ground icing* eller *seepage icing* (Carey, 1973). Russerne bruker begrepet *taryn*, mens svenskene sier *svallis*. Iskjøving fra grunnvann som kommer ut i vegbanen eller jernbanesporet kalles ofte *issvuller*. Figur 8 viser et typisk eksempel på iskjøving fra grunnvann som presses opp av bakken av økende frostdybde.



Figur 8) Iskjøving fra grunnvann kan oppstå over alt, men oppnår sjelden store dimensjoner. Isen dannes når grunnvann eksponeres for kald luft og fryser. Meråkerbanen. Foto: A. Liereng (15.1.16).

Iskjøving kan oppstå så snart det blir frost om høsten, men tidspunktet avhenger av vannkilden, lokale forhold og klima. I områder der grunnvann sildrer i overflaten gjennom sommeren, starter prosessen ofte med en gang det blir frost. I områder som er tørre i sommerhalvåret starter ikke iskjøving før litt senere på høsten eller vinteren. Telen må da gå så dypt at grunnvannet presses til overflaten før kjøving starter. Resultatet av iskjøvingen kan

bli svært forskjellig fra sted til sted, og fra sesong til sesong. Iskjøving fra grunnvann oppnår sjelden store dimensjoner siden vanntilgangen er begrenset (Carey, 1973). Denne typen iskjøving vil beskrives i større detalj i resten av oppgaven.

3.3.3. Iskjøving fra naturlige kilder

Iskjøving kan dannes av vann fra naturlige kilder (Carey, 1973). Kilder er et sted hvor grunnvann renner ut i dagen i et fast punkt. Dette kan skje i bunnen av skråninger, i skjæringer eller i flatt terreng, der geologien leder vannet til overflaten. På norsk kalles kilder også oppkommer, utspring eller vannårer (Store norske leksikon, 2009). På engelsk kalles dette *natural springs*. Vannet fra naturlige kilder renner ut i dagen hele året langs en veldefinert kanal. Om vinteren vil vannet eksponeres for kulde i det det renner ut i friluft. Vannet kan fryse ved kildens utspring, eller et stykke nedstrøms kilden dersom vannkanalen er isolert av snø eller vegetasjon (Carey, 1973).

Iskjøving fra kilder begynner oftest før iskjøving fra grunnvann. Dette skyldes at vannet er kontinuerlig eksponert for kulde og dermed kan begynne å fryse når det blir frost. Prosessen for dannelse av is er lik som for iskjøving fra grunnvann, men vannkilden vil holde seg på et sted gjennom vinteren. Dette fører til at isformasjonene ofte blir brede og flate. Den kontinuerlige vanntilgangen gjennom vinteren fører til at isen vokser gjennom hele sesongen. Iskjøving fra kilder blir ofte mye større enn iskjøving fra grunnvann. Et eksempel på dette er Ulakhan-Taryn i Moma River Valley, Russland, som dekker et areal på 72-112 km². Se Figur 9 for et flybilde av Ulakhan-Taryn (Alekseyev, 2015).



Figur 9) Ulakhan-Taryn er en enorm iskjøving i nordøstlige Yakutia, Russland. Isen som dannes i Moma River Valley stammer fra naturlige kilder. Foto: Sandro, Yandex (Alekseyev, 2015).

4. Problemer iskjøving skaper for infrastruktur

Iskjøving kan skape problemer for alle typer infrastruktur og bebyggelse. Dette kapittelet beskriver de vanligste problemene isen skaper langs norske veg- og jernbanestrekninger. Selv om problemene her er beskrevet i ulike kapitler, vil det i virkeligheten ofte være kombinasjoner av flere problemer på samme sted.

4.1. Iskjøving i skjæringer

4.1.1. Iskjøving i skjæring er i vegen for tog eller hindrer sikt

Iskjøving som oppstår i skjæringer kan skape problemer for veg- eller jernbanelinjen, trafikantene og driftspersonell. Langs norske jernbanelinjer er det et vanlig problem at isen vokser inn i profilet for togene. Dersom isen ikke fjernes vil togene treffe isen når de kjører forbi. Dette problemet er størst i trange skjæringer med liten avstand mellom berget og togene. Figur 10 viser en typisk skjæring langs eldre jernbanelinjer i Norge.

Langs veger kan iskjøving i skjæringer hindre sikt i krappe kurver og skape farlige situasjoner. På trange og svingete strekninger med store ismengder kan isen også være i vegen for biler. I slike områder kreves det ofte mye overvåkning og fjerning av is for å holde problemene under kontroll. På nyere veg- og jernbanestrekninger er det vanlig med bredere grøfter og større avstand mellom berget og vegbanen eller skinnegangen. Dermed får en sjelden slike problemer.



Figur 10a) Trang skjæring langs Meråkerbanen. Foto: A. Liereng (5.11.15).
b) Om vinteren kan isen komme i vegen for togene. Foto: A. Liereng (19.2.16).

4.1.2. Isras fra skjæring eller fjellside

Iskjøving som raser ned fra skjæringer forårsaker trafikkulykker langs norske veger og jernbaner hvert år. Når temperaturen stiger i mildværsperioder eller om våren kan isblokker løsne fra berget. I noen tilfeller treffer isen biler eller tog. Det har vært flere dødsulykker i Norge der bilister har blitt truffet av isblokker. Senest i 2013 omkom en mann etter å ha blitt truffet av isras på E6 ved Fauske (Eide og Brovold, 2013). Selv små isblokker kan være nok til å forårsake omfattende materielle skader på kjøretøy. Selv om isen ikke treffer trafikanter, kan den bli liggende i vegbanen eller på skinnegangen. Dette kan forårsake bilulykker eller avsporing av tog. Større isras kan også skade infrastrukturen, for eksempel skinner, rekkverk eller tekniske installasjoner (Norem, 1998).



Figur 11a) Selv små mengder is kan utgjøre en stor fare. Tinnsjøvegen, Telemark. Foto: A. Liereng (3.3.16).

b) Høye skjæringer med iskjøving er utsatt for isras. Denne skjæringen langs Svineroivegen (Fv 651) er sikret med isnett. Foto: A. Liereng (3.3.16).

Isras kan oppstå i de fleste skjæringer, men problemene er størst i høye skjæringer og bratte fjellsider. Her vil isen få høy hastighet og stor utløpsdistanse. Figur 11a og b viser to eksempler på skjæringer som er utsatt for isras. Tunnelmunninger er også spesielt utsatt for isras. Figur 12 viser bilder fra Tinnsjøvegen i Telemark, der en bil ble truffet av isras på veg ut av Presturatunnelen (Skumvoll et al., 2016).



*Figur 12a) Iskjøving utenfor Presturatunnelen på Fv 37. Foto: A. Liereng (3.3.16).
b) 29. mars 2016 ble en bil truffet av isras på veg ut av tunnelen. Foto: Knut Heggnes (Skumvoll et al., 2016).*

Fjerning av is fra fjellskjæringer før den løsner og fjerning av is som har rast ned på vegen eller jernbanelinja er kostbare og farefylte operasjoner. Kontinuerlig overvåkning og kontrollering av de utsatte strekningene gjennom hele vinteren er også en stor utgiftspost, spesielt langs veger (Norem, 1998).

4.2. Iskjøving i grøfter

Iskjøving kan oppstå i alle typer grøfter langs veger og jernbaner. Denne typen iskjøving skaper mye problemer for både trafikanter og driftspersonell. Iskjøving i grøfter kan oppstå overalt og er vanskelig å håndtere. Dersom det først har begynt å kjøve i en grøft, kan isen raskt fylle grøfta over kortere eller lengre strekninger (Carey, 1977). Iskjøving i grøfter skaper to store problemer: 1) Iskjøvingen fyller grøfta og hindrer drenering og 2) Iskjøving kommer ut i vegbanen eller skinnegangen.

4.2.1. Iskjøving hindrer drenering

Blokkerte dreneringsveger er en av hovedutfordringene for vedlikeholdspersonell i kalde vintre. Figur 25 på side 32 viser en grøft fylt av is. Iskjøving i grøfter, ofte i kombinasjon med iskjøving i stikkrenner, kan føre til at dreneringen går tett. Når det blir mildvær vil vannet demmes opp eller finne nye veger forbi vegen eller jernbanen. Vann som demmes opp kan trenge inn i overbygningen og føre til telehiv dersom temperaturen synker. Det kan også føre til utvasking av veg- eller jernbanekonstruksjonen, føre til erosjon eller flom over sporet. Vann på å avveie kan også få konsekvenser for omgivelsene rundt vegen eller jernbanen. Bekker kan få økt vannstrømning og grunnvannsnivået kan stige (Carey, 1977). Vann som eroderer vekk løsmasser er også blant de hyppigste årsakene til jordskred og flomskred (Colleuille, 2013).

4.2.2. Iskjøving kommer ut i vegbanen eller skinnegangen

En annen utfordring er at isen vokser ut av grøfta og inn i vegbanen eller over sporet. Is i vegbanen er svært farlig for trafikanter. For det første vil isen skape en ujevn overflate på vegbanen. I høy hastighet kan selv små humper være ubehagelig eller farlig for trafikantene. For det andre er isen glatt, siden den ofte er dekket av en tynn vannfilm selv om det er minusgrader i lufta (Trafikverket, 2013). Dette kan føre til at bilister mister kontroll over kjøretøyet. For det tredje kan vannet sprute opp i bilenes understell og øyeblikkelig fryse fast styre og bremse-mekanismer. For jernbanen er konsekvensene av iskjøving over sporet enda større. Is i skinnegangen kan føre til avsporing og ulykker (Carey, 1973). Figur 13 viser iskjøving ut i vegbanen langs Tann-Annolsetervegen i Oppland.



*Figur 13) Iskjøving i fjellsiden fører vann ut i vegbanen, der det fryser til is. Breidalen, Oppland.
Foto: A. Liereng (14.1.16)*

4.3. Iskjøving i stikkrenner og kulverter

Stikkrenner og kulverter skal føre vann forbi vegen eller jernbanen. Om vinteren vil vannføringen i stikkrennene ofte være meget liten. Vannet vil da renne sakte og med et stort varmetap til omgivelsene. Iskjøving i stikkrenner om vinteren er et vanlig problem i Norge (Reitan, 2013). Prosessen starter oftest med at den lave vintervannføringen i bunnen av stikkrenna fryser. Vannet som kommer oppstrøms stikkrenna må da renne over isen, og så lenge temperaturen er lav og vannhastigheten liten, vil vannet fryse i et nytt lag. Dette kan gjentas helt til stikkrenna er blokkert av is.



Figur 14) Iskjøving i utløpet av en stikkrenne. Fv 651, Telemark. Foto: A. Liereng (3.3.16).

Avhengig av hvordan stikkrenna er utformet kan isen bygge seg opp i endene eller gjennom hele lengden. Det vanligste er at iskjøvingen starter i enden av stikkrenna, siden dette området er mest utsatt for varmetap til omgivelsene. Figur 14 viser et eksempel på iskjøving i utløpet av en stikkrenne. Iskjøving kan oppstå i alle typer stikkrenner: av stål eller betong, små og store, med sirkulært eller kvadratisk tverrsnitt (Carey, 1977).

Stikkrenner som er blokkert av is vil hindre drenering. Vannet kan da finne nye veier forbi vegen eller jernbanen og føre til omfattende skader. Vannet kan også bli stående i grøfter og forårsake iskjøving over lange strekninger. Det er derfor viktig å holde stikkrenner åpne gjennom vinteren, særlig før våren kommer før mildværsperioder. Enkelte vintre må stikkrennene åpnes jevnlig for å sikre at dreneringen ikke går tett. Stikkrennene kan være vanskelige å finne, og vanskelige å holde åpne i kaldt vær (Reitan, 2013).

4.4. Iskjøving i tunneler

Tunneler er også utsatt for iskjøving. Vann som drypper fra tunneltaket eller renner langs tunnelveggene kan fryse til is dersom lufttemperaturen blir lav nok. Isen kan henge som istapper fra taket eller bygge seg opp til store svuller. Isen utgjør en stor fare for både trafikanter, driftspersonell og tunnelinstallasjonene. I vegtunneler kan istappene skape farlige situasjoner og ulykker hvis de løsner og faller ned i vegbanen. I jernbanetunneler kan isen skade kontaktledningen som mater togene med strøm, eller andre tekniske installasjoner. Isen kan også kortslutte strømmen fra kontaktledningen dersom istappene vokser fra kontaktledningen til skinnene. Is i skinnegangen kan føre til katastrofale avsporinger (Hargelius, 2006).



Figur 15) Iskjøving i Hjartåsen tunnel, Nordlandsbanen. Foto: A. Liereng (15.3.16).

Det er størst problemer i tunneler uten vann- og frostsikring der kuldeinntrengningen er stor om vinteren. Figur 15 viser iskjøving i Hjartåsen tunnel langs Nordlandsbanen. Nye tunneler blir ofte tettet med injeksjon i berget, samt ulike former for vann- og frostsikring. Dette reduserer oftest problemene, men i enkelte tunneler er det fortsatt nødvendig med mye overvåkning og fjerning av is. Iskjøving i tunneler diskuteres ikke videre i denne oppgaven. For mer detaljer om vann- og frostsikring av tunneler, se håndbok R510 fra Statens vegvesen (2014a) og Hargelius (2006).

DEL 2

Årsaker og prosesser



5. Årsaker til iskjøving i skjæringer og grøfter

Mange problemer med iskjøving oppstår som en følge av menneskelige inngrep i naturen. Skjæringer og grøfter er eksempler på inngrep som kan forårsake iskjøving. Der iskjøving forekommer naturlig, for eksempel i bekker, kan menneskelige inngrep forsterke tendensene til iskjøving (Carey, 1973). Selv om infrastrukturen ofte er den grunnleggende årsaken til iskjøvingen er det ikke slik at iskjøving oppstår over alt langs veier og jernbaner. Det kreves en vannkilde for å lage is. Dette kapitlet beskriver derfor ulike menneskelige inngrep og vannkilder som forårsaker iskjøving.

5.1. Vannkilder i skjæringer

Vannet i grunnen deles i to typer: grunnvann og overflatevann. Overflatevannet finnes i bekker, elver, tjern og innsjøer. Det er også overflatevann i de øvre jordlagene, der porene i jorda bare er delvis mettet med vann. Mengden overflatevann i terrenget avhenger i stor grad av vær og klima. I tillegg vil løsmassenes permeable egenskaper og lagdeling ha stor betydning for lagringskapasiteten. Enkelte jordarter kan lagre mye overflatevann i de øvre jordlagene (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016).

Lenger ned i grunnen er alle porer og sprekker fullstendig mettet med vann, slik at vanntrykket øker. Nivået der vanntrykket i vannet i porene er lik atmosfæretrykket, kalles grunnvannsnivået eller grunnvannsspeilet. Vannet nedenfor dette nivået, med poretrykk lik eller høyere enn atmosfæretrykket kalles grunnvann (Norges geologiske undersøkelse, 2016). Dybden til grunnvannsspeilet avhenger av lokal geologi og topografi, samt klimaet i området. Grunnvannet påvirkes ikke så raskt av ytre forhold som overflatevann og vil dermed ha en jevn temperatur hele året (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016).

Vannkildene kan også deles inn etter graden av kanalisering. Vannet kan renne konsentrert langs faste vannveier eller spre seg jevnt utover i terrenget. Det er dermed mulig å dele inn vannkildene i skjæringer i fire grupper som vist i Tabell 2. I virkeligheten er det en glidende overgang mellom de ulike vannkildene. Iskjøving kan også dannes fra flere vannkilder på samme sted. Inndelingen er nyttig for å vise hvilke tiltak som egner seg for ulike steder og vil brukes videre i oppgaven.

Tabell 2) Fire vannkilder i skjæringer.

	Konsentrert	Jevnt fordelt
Overflatevann	Bekker	Vann i øvre jordlag
Grunnvann	Naturlige kilder i berg eller løsmasser, vann fra store sprekker i fjellet	Grunnvann i bergmassen og/eller løsmassene

5.1.1. Bekker

Overflatevann kan renne nedover skjæringer i større og mindre bekker. Kjennetegnet på denne vannkilden er at vannet renner kanalisert på overflaten hele året. Vanntilgangen vil ofte være stabil hele vinteren på grunn av større vannmagasin ovenfor skjæringen. Iskjøving fra konsentrert overflatevann kan derfor oppnå store dimensjoner. Figur 16 viser et typisk eksempel på iskjøving i en bekk som renner ut over en skjæring.



Figur 16) Iskjøving i bekkeløp i skjæring ved Sørkilhaugen, Meråkerbanen. Foto: A. Liereng

5.1.2. Overflatevann i øvre jordlag

Overflatevann kan også renne ut i skjæringer fra de øvre jordlagene. Ofte renner vannet mellom et løst jordlag og et fastere løsmassedekke (Norem, 1998). Vannet er spredd utover i terrenget, og vannmengden er i stor grad avhengig av nedbørmengden om høsten. Der det er bekker, tjern, myrer og andre vannmagasin ovenfor skjæringen kan disse tilføre overflatevann til skjæringen. Iskjøving fra jevnt fordelt overflatevann vil sjelden oppnå store dimensjoner på grunn av begrenset vanntilgang. Et eksempel på iskjøving fra vann i de øvre jordlagene er vist i Figur 17.



Figur 17) Vannet renner i et tynt torvlag og fryser der det kommer ut på kalde svaberg. E39, Vinjefjorden. Foto. A. Liereng

5.1.3. Grunnvannskilder og utspring

Grunnvann renner noen ganger ut i dagen på faste steder. Dette kalles grunnvannskilder, vannårer, kildeutspring eller naturlige kilder. Kildene kan oppstå naturlig som følge av lokal geologi og topografi. Dette skjer gjerne i bunnen av skrånninger. Kildene kan også skapes av menneskelige inngrep, for eksempel i jordskjæringer eller fjellskjæringer som kutter gjennom grunnvannsspeilet. Vann som renner ut av store sprekker i skjæringer er en slik kilde. Iskjøving fra grunnvannskilder kan oppnå meget store dimensjoner, siden vanntilgangen ofte er stabil hele vinteren. Det er viktig å kartlegge slike kilder og sette i verk tiltak for å unngå iskjøving. Figur 18 viser et eksempel på iskjøving fra en konsentrert grunnvannskilde langs Tann-Annolsetervegen i Oppland. Området er beskrevet med flere bilder i Vedlegg 6C.



Figur 18) Iskjøving fra en konsentrert grunnvannskilde kan oppnå betydelige dimensjoner. Legg merke til at isen begynner høyere oppe i dalsiden (øvre høyre hjørne). Tann-Annolsetervegen, Breidalen (3). Foto: A. Liereng (26.3.16).

5.1.4. Jevnt fordelt grunnvann

Grunnvann finnes overalt i terrenget i løsmassene og berggrunnen. Under uforstyrrede forhold vil vannet som regel holde seg frostfritt hele vinteren. Iskjøving fra grunnvann er derfor oftest forårsaket av menneskelige inngrep. Skjæringer er spesielt utsatt for denne typen iskjøving siden de isolerende jordlagene er fjernet. Jevnt fordelt grunnvann vil sjelden lage så store mengder is som grunnvannskilder, siden vanntilgangen er mer begrenset. Vannet kan imidlertid forårsake iskjøving over lange strekninger, som vist i Figur 19.



Figur 19) Grunnvann kan forårsake iskjøving over lange strekninger. Fv 30. Foto: A. Liereng.

Grunnvannet kan renne ut av skjæringen i sjiktet mellom berg og løsmasser, i løsmassene overfor skjæringen eller fra store og små sprekker i berget. Hvor vannet renner avhenger av lokale forhold som topografi og geologi. Når vannet kommer på den kalde bergoverflaten fryser det og forårsaker iskjøving. Figur 20 viser et typisk eksempel på iskjøving i en lav skjæring. Her er det grunnvann som renner i grensen mellom berg og løsmasser som er årsaken til iskjøvingen. Området er beskrevet i Vedlegg 7A.



Figur 20a) Lav skjæring langs Fv 30. Berget er vått av grunnvann som renner ut i sjiktet mellom berg og løsmasser. b) Grunnvannet forårsaker iskjøving i hele skjæringen. Foto: A. Liereng

Grunnvann kan også renne ut i større eller mindre sprekker i berget. Figur 21a viser grunnvann som renner ut i sprekker nedenfor grunnvannsnivået i en skjæring. I tillegg renner

det vann i sjiktet mellom berg og løsmasser. Grunnvannsnivået er markert med en rød linje. Om vinteren eksponeres grunnvannet for kald luft og forårsaker kjøving som vist i Figur 21b. I denne skjæringen er det grunnvannet som renner i overgangen mellom berg og løsmasser som skaper de største iskjøvingene. Forholdene på stedet er nærmere beskrevet i Vedlegg 6D. Her finnes også større bilder av skjæringen.



*Figur 21a) Den røde linja viser grunnvannsnivået i en skjæring langs Tann-Annolsetervegen.
b) Grunnvannet fryser til is og forårsaker iskjøving. Foto: A. Liereng*

Der grunnvannet renner ut i skjæringer er det enkelt å kartlegge forholdene om sommeren i tørre perioder. I områder som er spesielt våte bør en være forberedt på at iskjøving kan oppstå. Det er imidlertid ikke sikkert at det blir iskjøving der grunnvannet renner om sommeren, siden telen kan endre dreneringsveiene. Vannet kan flytte seg til andre steder når de vanlige kanalene fryser igjen. Dermed kan iskjøving oppstå i områder som var helt tørre sommerstid. For en grundig beskrivelse av hvordan steder med iskjøving kan undersøkes, se Carey (1973). Han har laget en guide for hvordan de lokale forholdene kan studeres sommer og vinter.

5.2. Årsaker til iskjøving i grøfter

Åpne grøfter samler overflatevann og grunnvann fra sideterrenget og transporterer det til stikkrenner eller rister. Årsaken til iskjøving kan dermed være knyttet til sideterrenget, vannet som renner i grøfta eller til stikkrenner og rister. For å gjøre det enklere å velge riktig tiltak mot iskjøving i grøfter er årsakene delt i fire hovedgrupper:

1. Iskjøving fra bunnen av grøfta på grunn av lav vannføring
2. Iskjøving fra bunnen av grøfta på grunn av tette stikkrenner eller rister
3. Iskjøving fra sideterreng inn i grøfta
4. Iskjøving på grunn av vann fra skjæringer

5.2.1. Lav vintervannføring

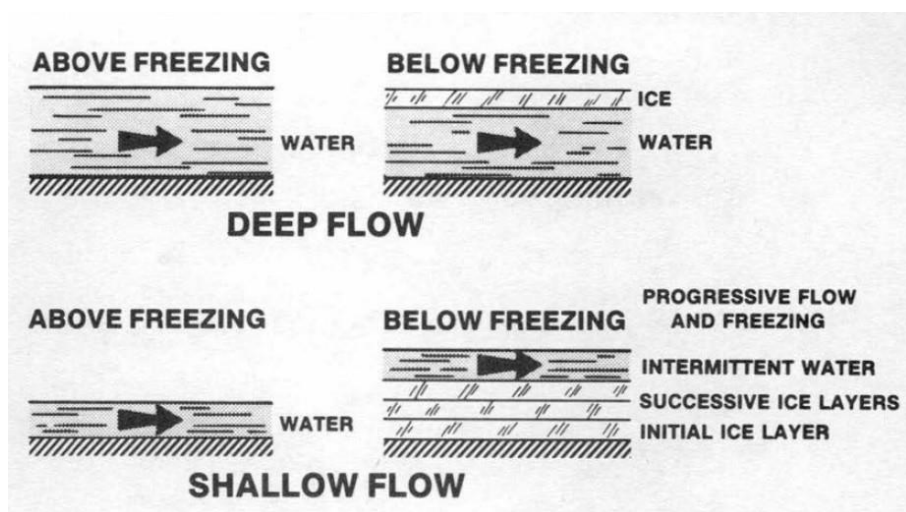
Grøfter dimensjoneres vanligvis for å transportere store vannmengder i sommerhalvåret. Om vinteren er det sjeldent mer enn en liten sildring av vann i bunnen av grøfta. Dersom grøfta er

stor og åpen vil vannet eksponeres for kald luft om vinteren. Uten naturlig eller kunstig skjerming vil vannet fryse når temperaturen blir lav nok, som vist i Figur 22. Vannet som kommer rennende vil renne over isen og kjøles ned. Så lenge lufttemperaturen er lav vil vannet fortsette å fryse i tynne lag fra bunnen av grøfta. Etter hvert vil grøfta fylles med is, og i verste fall føre vann og is ut i vegbanen eller sporet (Carey, 1973).



Figur 22) Iskjøving fra bunnen av grøft på grunn av lav vintervannføring (Carey, 1977).

Vanndybden i elver, bekker og grøfter er en viktig faktor for omfanget av iskjøving. Dersom vanndybden er stor, vil vannet holde seg flytende en god stund selv ved lave temperaturer. En grunn bekk vil derimot raskt bunnfryse og utsattes for kjøving. Figur 23 viser forskjellen mellom dyp og grunn vannstrømning i en bekk. Det samme prinsippet gjelder i grøfter. En grunn grøft med lav vintervannføring er mye mer utsatt for iskjøving enn en smal og dyp grøft med større vanndybde (Carey, 1977). Sannsynligheten for iskjøving kan reduseres gjennom endringer i utformingen av grøftene. Dette beskrives nærmere i kapittel 9.1.



Figur 23) Effekten av stor og liten vanndybde for isdannelse. I grøfter er ofte vannføringen lav vinterstid og situasjonen er dermed som vist på den nederste figuren (Carey, 1983).

Vann som står stille, fryser lettere enn vann i bevegelse. Iskjøving starter derfor oftest i et område av grøfta der vannet står helt i ro. Dette kan skje i flate partier eller forsenkninger i grøfta eller der vannstrømmen stanses av noe. Vegetasjon, kvister, sedimenter, stein, søppel, snøhauger og liknende kan virke som en demning for vannet. Det kreves bare en liten demning for å få noe av vannet til å fryse. Så snart iskjøving har startet vil den bidra til ytterligere oppdemming og nedkjøling av vannet. Steinene i grøfta i Figur 24 kan være tilstrekkelig til å starte iskjøving.



Figur 24) Stein i grøft kan være et startpunkt for iskjøving. Breidalen, Oppland. Foto: A. Liereng.

5.2.2. Tette stikkrenner eller rister

En vanlig årsak til iskjøving er oppdemming av vann på grunn av tette stikkrenner eller rister. Stikkrennene eller ristene kan være tettet av iskjøving, sedimenter, vegetasjon eller andre ting. Når vannet ikke kan renne gjennom stikkrenna eller ned i kummer vil det bli stående stille i grøftene. Dersom lufttemperaturen er lav nok vil vannet fryse og gradvis fylle grøftene. Figur 25 viser to eksempler på grøfter som er fylt med is på grunn av iskjøving i stikkrennene. Utformingen av grøft, stikkrenner og nedføringsrenner på de to stedene er nærmere beskrevet i vedlegg 5B og 5C. Denne typen iskjøving er hovedsakelig avhengig av hvordan stikkrenner og rister er utformet og driftet. I tillegg vil utformingen av grøftene ha en viss betydning, sammen med klimatiske forhold.



Figur 25a) En stikkrenne har frosset igjen og forårsaket iskjøving i hele grøfta. Sørkilmo vest, Meråkerbanen 2. b) Igjenfrosset stikkrenne ved bekkeløp. Isen fyller grøfta. Sørkilmo øst, Meråkerbanen 3. Foto: A. Liereng

5.2.3. Vann fra skråninger og sideterreng

Noen ganger er det vann fra sideterreng som forårsaker iskjøving i grøftene. Vannet kan enten komme fra øvre jordlag eller fra grunnvann. Grunnvannet kan renne ut i grøfta naturlig, eller presses opp av telen i bakken under veggen eller jernbanen. Se også kapittel 5.3. Når vannet renner ut i grøfta vil det eksponeres for kald luft og fryse så lenge de klimatiske forholdene ligger til rette for det. Grøfter som kutter gjennom vannførende lag i løsmassene vil kunne gi spesielt store ismengder. Et typisk kjennetegn på denne typen iskjøving er at grøfta fylles med is fra siden av grøfta, som vist på bildet nedenfor.



Figur 26) Iskjøving fra siden av grøfta. Vannet som kjøver, renner ut i et markert nivå i jordskråningen. Meråkerbanen. Foto: A. Liereng

5.2.4. Vann fra skjæringer

Grøfter nedenfor skjæringer utsettes ofte for iskjøving. Vann som renner langs berget eller i iskjøvinger i skjæringen samles i grøfta. Der kan vannet fryse og forårsake iskjøving i enkelte punkter eller nedenfor hele skjæringen. Figur 27 viser et eksempel på hvordan vann som renner langs isen i skjæringen forårsaker iskjøving i grøfta. Stedet er nærmere beskrevet i Vedlegg 5G. Iskjøving kan oppstå i grøfter selv om det ikke dannes is i skjæringen. Det er utformingen på skjæringen og grøfta, vannmengden og klimatiske forhold som avgjør hvorvidt iskjøving skjer.



Figur 27) Vann som renner langs isen i skjæringen fører til iskjøving i grøfta. Brennhaugen, Meråkerbanen. Foto: A. Liereng

I noen tilfeller fylles grøfta med is fra siden og bunnen av grøfta. Dette er tilfellet i grøfter uten snø. Vannet kan da renne ned langs svullen i skjæringen, over isen i grøfta og gradvis nærme seg vegbanen eller sporet. Siden svullen er bunnfryst kan den også virke som en demning for vann som renner i grøfta. Dette kan starte iskjøving fra bunnen av grøfta, som beskrevet i kapittel 5.2.1. Langs nye vegstrekninger er det vanlig å fylle tilbake masser i bunnen av skjæringer for å redusere konsekvensene av utforkjøring. Dette reduserer kapasiteten i grøfta og kan også bidra til å lede vann og is raskere ut i grøfta.

I andre tilfeller legger isen seg som et lokk over snøen i grøfta som vist i Figur 28. Denne formen for iskjøving er en stor utfordring i trange skjæringer med smale grøfter nedenfor. Når

vannet renner ned fra skjæringen mettes det øverste snølaget. Ved kalde lufttemperaturer fryser den vannmettede snøen og lager et tynt islokk. Vannet fra skjæringen begynner å renne over islaget og fryse i tynne lag. Iskjøvingen kan etter hvert bygge opp solide islokk som fører vann ut i vegbanen eller sporet. Brøyting av snø kan bidra til å fremskynde denne prosessen, spesielt nedenfor trange skjæringer.



Figur 28) Islokk over snøen i grøfta. Vannet kommer fra en lav skjæring. Fv 30. Foto: A. Liereng

5.3. Årsaker til iskjøving i områder som er tørre om sommeren

Grunnvann kan forårsake iskjøving også der det ikke renner naturlig til overflaten om sommeren. Denne typen iskjøving er veldig uforutsigbar og avhenger av både lokale og klimatiske forhold samt menneskelige inngrep. Det er vanskelig å kartlegge denne typen problemer siden vannet ikke kommer til overflaten om sommeren, og siden forholdene kan variere fra år til år. Årsaken til iskjøvingen er at grunnvann ledes til nye steder etter hvert som bakken fryser. Raskt frysing av de vanlige kanalene til vannet kan føre til at vannet presses til overflaten på steder det vanligvis ikke er vått.

Figur 29 viser et eksempel fra Meråkerbanen, der grunnvann har laget en stor issvull. Det pleier ikke å dannes is i dette området, men i starten av vinteren 2016 var det sterk kulde kombinert med barfrost. Dette har ledet grunnvannet til nye steder. Området er nærmere beskrevet i Vedlegg 5J. Et tilsvarende problem oppstår i Almåskroken langs Fv 30. Her finner

grunnvannet nye veier ved dyp tele i bakken. Enkelte år sannes det en stor issvull i et område som er tørt om sommeren. For beskrivelser og bilder av dette stedet, se Vedlegg 7B.

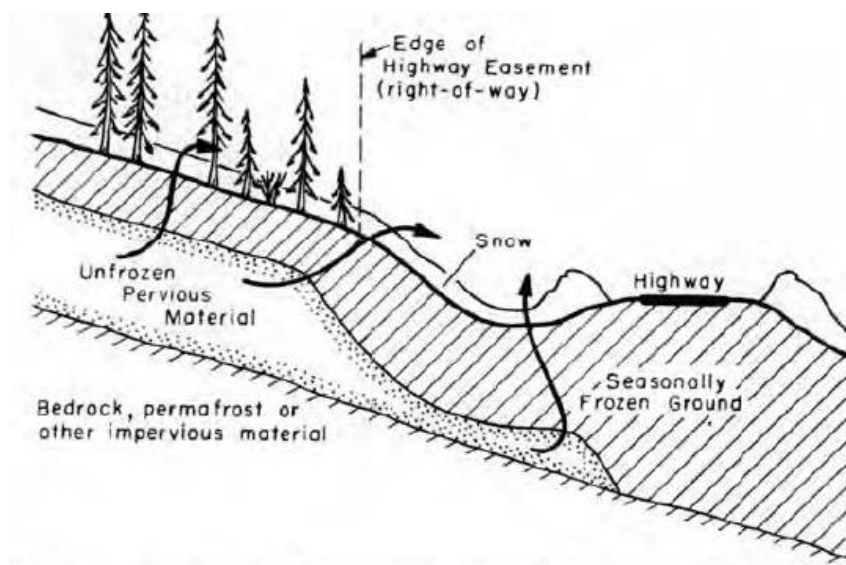


Figur 29. Iskjøving fra grunnvann langs Meråkerbanen. Det pleier ikke å være is her, men sterk kulde i kombinasjon med barfrost har ført vannet til nye steder. Foto: A. Liereng (15.1.16).



Figur 30) Iskjøving fra grunnvann i lav skråning langs Meråkerbanen. Vannet ble presset til overflaten etter en periode med barfrost. Foto: A. Liereng (15.1.16)

Figur 30 viser et annet eksempel fra Meråkerbanen, der grunnvann presses til overflaten i en jordskråning. Området er beskrevet i Vedlegg 5F. Det pleier ikke å være vått om sommeren i jordskråningen, og grunnvannet vil vanligvis renne under sporet. Likevel dannes det is i skråningen enkelte vintre. Dette er et eksempel på at infrastrukturen endrer drenerings- og temperatursituasjonen i jorda om vinteren. Ofte fjernes vegetasjon og isolerende jordlag i en viss avstand fra vegen eller jernbanen, for å sørge for god sikt og enkelt vedlikehold. Kombinert med brøyting vinterstid bidrar dette til å øke frostdybden i området rundt vegen eller jernbanen. Frossen jord er mindre permeabel enn tint jord, og kan dermed virke som en demning for grunnvannet om vinteren. Grunnvannet vil samles ovenfor vegen eller jernbanen helt til trykket blir for stort. Da vil vannet søke utløp og kan bryte ut ovenfor vegen. Dette skjer ofte der vegen eller jernbanen ligger i skråninger, som vist i Figur 31 (Carey, 1973).



Figur 31) Vegen bidrar til større frostdybde. Dette kan tvinge grunnvannet opp til overflaten og forårsake iskjøving i områder som var tørre sommerstid (Carey, 1973).

6. Faktorer som bidrar til iskjøving

Menneskelige inngrep og vannkilden er de grunnleggende årsakene til iskjøving. Lokale og klimatiske forhold bestemmer hvor og når iskjøving oppstår og hvor mye is som dannes. Lokale forhold er stabile over tid, men varierer fra sted til sted. Eksempler på naturlige lokale forhold er topografi og geologi. Klimatiske forhold inkluderer klima og vær om sommeren og vinteren. Disse forholdene er relativt stabile over større områder, men varierer kraftig med tiden. Snø og lufttemperatur er eksempler på klimatiske forhold som påvirker forekomsten av iskjøving. Menneskelige inngrep kan også endre de lokale og klimatiske forholdene, for eksempel ved brøyting av veier.

De lokale, klimatiske og menneskeskapte forholdene virker sammen i et komplekst samspill. Faktorene virker alltid i kombinasjoner, og ingen steder er helt like. Dette gjør det vanskelig å isolere effekten av hver enkelt faktor. Kunnskapen som presenteres i dette kapitlet kommer i stor grad fra driftspersonell og andre som har lang erfaring med iskjøving. Målet er å gi leseren innsikt i hvilke forhold som påvirker forekomsten av iskjøving.

6.1. Lokale forhold som eksponerer vannet

6.1.1. Topografi

Iskjøving fra både grunnvann og overflatevann oppstår oftere i terreng med bratt topografi, som skråninger, skjæringer og fjellsider, enn i slakt terreng. Dette skyldes at grunnvannet strømmer med en høyere hydraulisk gradient og presses mot overflaten. Det samme gjelder bekker i bratte områder. Disse er oftest grunne og er dermed mer utsatt for iskjøving, siden det bare trengs et tynt islag før vannet tvinges til overflaten. I flattere terreng samles vannet i større elver med dypere kanaler. Disse er mindre utsatt for iskjøving (Carey, 1973). Figur 32 viser store iskjøvinger i en naturlig skråning.



Figur 32) Iskjøving i en naturlig skråning i Finland. Her er det topografien og geologien som forårsaker iskjøvingen (Seppälä, 1999).

Iskjøving i bratt topografi vil ofte skape større problemer enn iskjøving i slakt terreng. For det første kan man få problemer med isras ned på vegen eller jernbanen. For det andre er det vanskeligere å gjøre tiltak i bratt terreng på grunn av manglende tilgjengelighet og plass.

Fv 651 mellom Rjukan og Gaustablikk i Telemark er et eksempel på topografi som øker mengden iskjøving. Vegen ligger i slynger oppover en meget bratt fjellside med tynt løsmassedekke. Nedbørmengden i området er stor, og det er dermed mye vann i terrenget. Den bratte topografien fører til mye iskjøving fra overflatevann og grunnvann. Isen har dårlig feste i fjellet og vegen har hatt store problemer med isras. Området er nærmere beskrevet i vedlegg 10.

6.1.2. Geologiske forhold

Berggrunnen og løsmassedekket i området bestemmer hvordan grunnvannet strømmer. Geologien i området kan konsentrere grunnvannet, for eksempel i markerte søkk i terrenget. Geologien kan også spre grunnvann utover store områder. Fjellsider med glatte svaberg er et eksempel på denne type geologi.

Porøsiteten og tykkelsen av løsmasselagene avgjør hvor mye grunnvann som kan lagres gjennom vinteren og hvor raskt det renner. Lagdelingen i bakken er av stor betydning. Dersom det øverste, permeable løsmasselaget er tynt øker dette forekomsten av iskjøving. Tette lag, som permafrost, leire eller bunnmorene nær overflaten vil hindre vannet i å trenge ned i bakken. Det vil dermed utsettes for frost tidlig i vintersesongen (Carey, 1973, Norem, 1998).

Bergarten og graden av oppsprekking og forvitring har også en viss betydning. Skjæringer i bergmasser med åpne, gjennomgående sprekkeplan er ofte utsatt for iskjøving. Sprekkene kan føre store mengder grunnvann til overflaten hele vinteren (Norem, 1998). Svært forvitrede bergarter, eller bergarter med høy skifrihet, kan også være så permeable at grunnvannet kan strømme gjennom og fryse når det eksponeres for kald luft (Carey, 1973).

6.1.3. Orientering og solforhold

Iskjøving foregår i både sørvendte og nordvendte skjæringer. På grunn av større solinnstråling og oppvarming av sola rekker ikke isen å vokse seg så stor i sørvendte skjæringer. Det går derfor oftere isras i sørvendte skjæringer om våren. I nordvendte skjæringer er innstrålingen mindre og temperaturen lavere. Dette fører til større iskjøvinger, og de største israsene går i nordvendte skjæringer. En må dermed være forberedt på problemer i skjæringer orientert i alle himmelretninger (Norem, 1998). Solinnstråling har størst betydning om våren i bratte fjellsider og skjæringer. Ofte vil det gå isras i sørvendte skjæringer tidlig på våren, og i nordvendte skjæringer senere på våren.

6.1.4. Jord og vegetasjon i terrenget

For at grunnvann eller overflatevann skal fryse, må det tape varme til omgivelsene. Varme kan overføres på tre grunnleggende måter: Gjennom ledning, konveksjon og stråling. Jordlag og vegetasjon i terrenget vil påvirke hvor mye varme som overføres.

Effekten av jordlag på varmeledning

Varmeledning foregår gjennom overføring av bevegelsesenergi mellom molekyler som er i direkte kontakt. Denne prosessen vil alltid overføre varme fra varme områder til kalde områder. Materialer har ulik evne til å lede varme. Faste stoffer uten porer eller hulrom har høyest ledningsevne. Dette skyldes at molekylene ligger tett og at bevegelsesenergien kan overføres raskt (Ormestad, 2009). Tabell 3 viser varmeledningsevnen for blant annet løsmasser, jord og snø. Organiske jordarter, som torv, har en betydelig lavere varmeledningsevne enn mineraljord, som inneholder mye sand og grus.

Tabell 3) Varmeledningsevne for løsmasser, jord og andre materialer. Porevolumet for sand og torv er henholdsvis 40 og 80 volumprosent (Colleuille et al., 2001).

Materiale	Varmeledningsevne (W / m K)
Kvarts	8,8
Leirmineral	2,9
Organisk materiale	0,25
Vann	0,57
Luft	0,025
Is	2,2
Nysnø (Porevolum=0,95)	0,06
Gammel snø (Porevolum=0,5)	0,71
Tørr sand (theta=0 vol%)	0,29
Fuktig sand (theta=20 vol%)	1,76
Våt sand (theta=40 vol%)	2,18
Tørr torv (theta=0 vol%)	0,059
Fuktig torv (theta=40 vol%)	0,29
Våt torv (theta=80vol%)	0,50

Et organisk jordlag over løsmassene eller bergmassene vil redusere varmetapet gjennom varmeledning fra bakken til omgivelsene. Jorda vil virke som isolasjon og hindre at grunnvannet fryser om vinteren. Der jordlaget er fjernet, enten som følge av naturlige prosesser eller menneskelige inngrep, vil frostdybden i bakken øke. Dette kan føre til at overflatevannet i de øvre jordlagene eller grunnvann i dypere jordlag fryser.

Langs Tann-Annolsetervegen i Breidalen, Oppland gikk det et jordskred ovenfor vegen i 2013. Jordskredet tok med seg mye av jorda i og de øvre løsmasselagene i området, se Figur 33a. Tidligere var det ikke problemer med iskjøving i denne dalsiden. Etter at jordskredet fjernet jorda i området har det derimot blitt betydelig mengde iskjøving langs vegen. Figur

33b viser iskjøving oppover hele dalsiden. Iskjøvingen er et direkte resultat av at varmetapet har økt. Forholdene på stedet er nærmere beskrevet i vedlegg 6A.



Figur 33a) Dalsiden ovenfor Tann-Annolsetervegen i Breidalen er ryddet for jord og løsmasser etter et jordskred. b) Dette øker varmetapet for grunnvannet i området og forårsaker iskjøving. Foto: A. Liereng (20.9.15 og 26.3.16).

Effekten av vegetasjon på konveksjon og stråling

Der væske eller gass strømmer langs et fast stoff kan varme overføres gjennom konveksjon. Konveksjon foregår ved at væsken eller gassen flytter varme fra det faste stoffet. Sirkulasjon av luft over bakken og vind er eksempler på prosesser som bidrar til denne typen varmeoverføring (Ghoshdastidar, 2012).

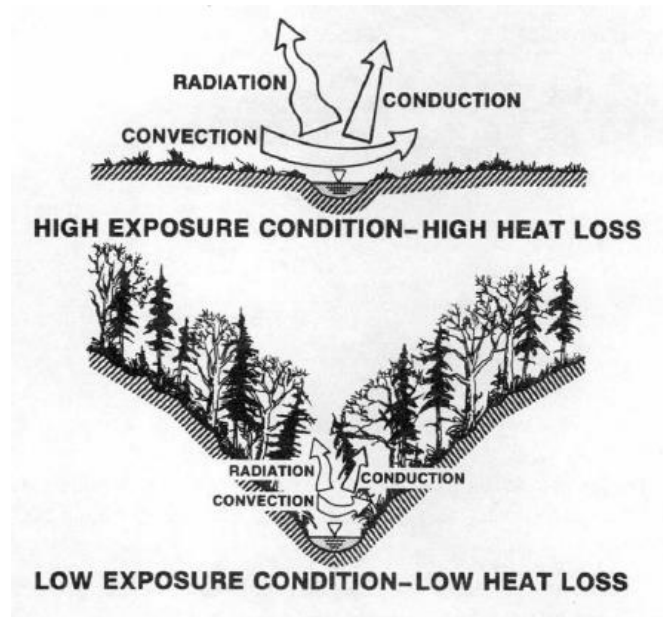
Vegetasjonen i terrenget kan ha stor innvirkning på varmetapet gjennom konveksjon. Der det er lite vegetasjon, kan vinden erstatte varm luft med kald luft. Dette vil bidra til at grunnen taper varme til omgivelsene. Høy og tett vegetasjon, for eksempel skog, løyer for vinden og reduserer hastigheten på luftstrømningen. Varmetapet gjennom konveksjon vil reduseres.

Varme kan også overføres gjennom elektromagnetisk stråling. Jo høyere temperatur et legeme har, jo mer stråling sendes ut. I motsetning til varmeoverføring gjennom varmeledning og konveksjon trenger ikke legemene å være i kontakt. Varmen kan overføres gjennom vakuum (Ghoshdastidar, 2012).

Vegetasjon kan slippe gjennom, ta opp, sende ut og reflektere stråling. Mengden og typen vegetasjon vil bestemme hvor mye stråling som tas opp eller reflekteres. Der vegetasjonen er tett og kraftig, for eksempel i granskog, vil mye av strålingen fra bakken reflekteres eller tas opp av greinene. Dette vil redusere varmetapet fra bakken om vinteren. Lav, spredt vegetasjon, for eksempel gress, vil ha mindre effekt.

6.1.5. Effekten av naturlig skjerming over bekkeløp eller grøfter

Overflatevann i bekker og grøfter vil alltid utsettes for kulde om vinteren. Likevel er det mange steder som ikke opplever iskjøving selv om temperaturen i luften er svært lav. Dette skyldes ofte graden av eksponering. Der vannet renner i en lun kanal, godt skjermet av vegetasjon, vil vannet ofte holde seg flytende. Grunne, vide bekker uten skjerming fra vegetasjon har mye større varmetap og er mer utsatt for iskjøving (Eager and Pryor (1945) sitert i Carey, 1970: 16). Figur 34 illustrerer hvordan vegetasjon og utforming av bekkeløp påvirker varmetapet til luften gjennom varmeledning, konveksjon og stråling.



Figur 34) Bekkeløp og grøfter som er skjermet av vegetasjon har lavere varmetap og er mindre utsatt for iskjøving (Carey, 1973).

Ved Sørkilhaugen langs Meråkerbanen vises effekten av vegetasjon godt. En liten bekk renner nedover en skogkledd skråning og ut over en skjæring som vist i Figur 35a. Løsmassene og vegetasjonen er fjernet noen meter ovenfor skjæringen. Der bekken renner ut av skogen forsvinner den naturlige skjermingen og varmetapet fra vannet øker. Vannet begynner å fryse der varmetapet er størst. Isen virker som en demning for vannet og forårsaker iskjøving i hele bekkeløpet som vist i Figur 35b. Stedet er nærmere beskrevet i vedlegg 5A.



Figur 35a og b) Iskjøving begynner i området der den naturlige skjermingen fra vegetasjonen slutter. Etter hvert fylles hele bekkeløpet med is. Sørkilhaugen, Meråkerbanen. Foto: A. Liereng (5.11.15 og 15.1.16).

6.2. Klimatiske forhold

6.2.1. Nedbør om sommeren og høsten

Overflod av vann over frostdybden i bakken en viktig faktor til iskjøving. Vannmetning av bakken kan oppstå etter mye regnvær i løpet av sommeren og høsten (Carey, 1973, Chekotillo, 1940, Ghiglione, 1948, Jess, 1954, Lovell og Herrin, 1953). Store nedbørsmengder betyr at det er store vannmengder tilgjengelig for iskjøving. Det er kjent av både forskere og vedlikeholdspersonell at en våt høst ofte fører til større og flere iskjøvinger den påfølgende vinteren. Effekten av nedbøren blir større jo senere på høsten den faller (Carey, 1973). Det er også viktig å ta med i betraktningen at noen løsmassetyper holder bedre på vann enn andre. Områder med torv og myr er spesielt utsatt (Norem, 1998, Seppälä, 1999).

6.2.2. Temperatur

Dersom vinteren begynner med lave temperaturer og tynt snødekke eller barfrost, vil dette akselerere iskjøvingen kraftig. Effekten av lave temperaturer er imidlertid ulik for ulike typer iskjøving. Meget kalde perioder om vinteren reduserer omfanget av iskjøving fra grunnvann. Dette var tilfellet langs Meråkerbanen i første del av vinteren 2016. Barfrost med sterk kulde i flere uker førte til at vannkildene frøs igjen og ingen iskjøving kunne skje. Iskjøving fra naturlige kilder, elver og bekker vil derimot øke kraftig i perioder med svært lave temperaturer (Carey, 1973, Ghiglione, 1948). Mildere vintre har ofte motsatt effekt, med omfattende iskjøving fra grunnvann og begrenset kjøving i elver og bekker.

Lufitemperaturen kan også påvirke utbredelsen av iskjøving. Lave temperaturer fører til at vannet fryser nær kilden, og danner tykke iskjøvinger på et begrenset område. Temperaturer rett under frysepunktet fører til brede og tynne iskjøvinger. Vannet rekker å renne lenger før det fryser (Carey, 1973).

6.2.3. Vind

Steder som er utsatt for mye vind i løpet av vinteren har oftest tynnere snødekke. Dette fører til mindre isolasjon av bakken og større teledybde. Kraftig vind kan dermed øke forekomsten av iskjøving. Vind bidrar også til å kjøle ned bakken gjennom konveksjon av lufta (Carey, 1973). Vind er en viktig faktor for iskjøving i stikkrenner. Dersom stikkrenna ligger slik til i terrenget at vinden blåser gjennom, vil dette øke omfanget av iskjøving kraftig siden vannet kjøles raskt ned (Carey et al., 1975). Vind kan også bidra positivt til iskjøving ved å samle snø på gunstige plasser i terrenget. Et tykt lag snø vil virke isolerende på bakken og kan redusere mengden iskjøving.

6.2.4. Snø

Snø er en av de viktigste faktorene som påvirker iskjøving. Både mengden og fordelingen av snø gjennom vinteren er av stor betydning. Et tykt snølag i løpet av de første to – tre månedene av vinteren isolerer bakken og begrenser teledybden. Snødekkets isolerende egenskaper er avhengig av tykkelsen og densiteten: Jo lavere densitet, jo bedre isolerende evne. Snødekket vil begrense eller eliminere iskjøving fra grunnvann i terrenget, siden vannet kan renne frostfritt under snøen. Dersom det kun er et tynt snølag eller barfrost i starten av vinteren, øker omfanget av iskjøving fra grunnvann og naturlige kilder kraftig, både i omfang og antall (Carey, 1973, Ghiglione, 1948, Jess, 1954, Lovell og Herrin, 1953, Nordal, 1965, Trafikverket, 2013).

Et tykt snødekke i den andre halvdel av vinteren bidrar til å holde temperaturen i bakken konstant selv om lufttemperaturen stiger. Dette kan dermed forlenge perioden der isen vokser utover våren noe (Carey, 1973). Store snømengder vil også være en ny kilde til vann når våren kommer. Dette kan bidra til kraftig iskjøving i perioder med vekslende temperaturer om våren (Carey et al., 1975).

I skjæringer kan snø være både være positivt og negativt med tanke på iskjøving. Figur V- 40 i Vedlegg 5K viser effekten av snø og lufttemperatur tydelig. I Teveldalen langs Meråkerbanen var det barfrost første halvdel av vinteren. Det ble derfor dannet mye is. Etter en periode med sterk kulde i starten av januar frøs vannkildene igjen og iskjøvingen stanset. Utover vinteren ble isen dekket av et isolerende snølag. Siden vannkildene allerede var frosset igjen ble det lite is i området i forhold til andre år. Dersom bakken hadde blitt dekket av et tynt snølag i starten av vinteren hadde vannkildene mest sannsynlig ført vann fram til skjæringen hele vinteren og forårsaket mer iskjøving.

Snø i grøfter kan øke omfanget av iskjøving. For det første kan snø i grøfta blokkerte vannstrømningen. Senket vannhastighet kombinert med snø i vannet kan føre til at det dannes is. Dette skjer oftest dersom grøfta fylles med tettpakket snø, for eksempel etter brøyting. Snøen kan også mettes med vann fra bunnen av grøfta, og føre til at vannet kjøles ned og

fryser. Slik vannmetning og frysing skjer ofte i grunne grøfter dekket av et tynt snølag (Carey, 1977).

Snø som er lagret i grøfta kan være en stor bidragsyter til iskjøving om våren. Når snøen smelter på dagtid vil det samles opp mye vann i grøfta. Dette vannet metter snøen og fryser når temperaturen synker om natten. Problemet med iskjøving er størst i starten av våren, når det fryser mer om natten enn det smelter på dagtid. I noen tilfeller kan snø i grøfta ha positive effekter. Dersom grøfta er dyp og snødekket tykt, vil snøen isolere grøfta. Vannet kan dermed renne frostfritt i bunnen av grøfta gjennom vinteren (Carey, 1977). Man må imidlertid være på vakt for islokk over snøen i grøftene nedenfor skjæringer.

7. Fryseprosesser

Definisjonen av iskjøving i kapittel 3.1, side 13 beskriver på en god måte hvordan iskjøving foregår i slakt terreng, bekker og grøfter. I brattere terreng er det derimot større variasjon i fryseprosessene. Dette kapittelet presenterer resultatene av feltarbeid og laboratorieundersøkelser. Tre ulike fryseprosesser beskrives: Vertikal bølgete iskjøving, vertikal glatt iskjøving og horisontal iskjøving. For hver prosess diskuteres resultatene fra felt og laboratorium samlet.

7.1. Teori om krystallstruktur i is

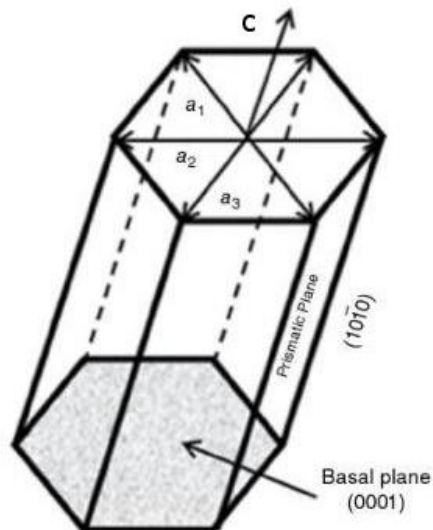
Frysing av vann

Rent vann har et frysepunkt på 0 °C. Likevel kan vannet holde seg flytende i temperaturer langt under 0 °C. Når vannet kjøles under frysepunktet kalles det underkjølt vann. Årsaken til dette er at frysing av vann krever kjerner for å starte prosessen. Is består av krystaller, der vannmolekylene er ordnet i faste mønster. Vannmolekylene i flytende vann vil ikke ordne seg i krystaller med mindre det er en kald kjerne eller eksisterende iskrystall å feste seg til. Når underkjølt vann kommer i kontakt med en kald kjerne, for eksempel en liten iskjerne eller en støvpartikkel, kan det raskt dannes en iskrystall rundt kjernen. Iskrystallen vil deretter vokse avhengig av forholdene på stedet (Shokr og Sinha, 2015).

Oppbygging av iskrystaller

Iskrystaller bygges opp av heksagonale plan. Hver plan består av seks vannmolekyl i en symmetrisk orden. De sekskantede planene kalles basalplan og har tre akser: a_1 , a_2 og a_3 . Normalt på basalplanet er c -aksen. Denne aksene kalles også den optiske aksene. Iskrystaller kan vokse langt alle de fire aksene. Dersom krystallene vokser i basalplanet, langs en av a -aksene, vil krystallen bli et tynt flak. Dersom krystallene vokser normalt på basalplanet, langs c aksene, vil det dannes sekskantede prizmer. Dette er illustrert i Figur 36. Isen vokser raskest i basalplanet, men vekstretningen avhenger av ytre forhold og begrensinger (Shokr og Sinha, 2015).

Dersom forholdene er stabile kan vannmolekylene feste seg til den eksisterende krystallstrukturen. Det er mulig å finne is som kun består av en enkelt krystall. I naturen er forholdene som regel skiftende, med nedbør og endringer i temperaturen. Vannmolekylene kan feste seg til snøfnugg og andre kjerner og lage nye krystaller i tillegg til den opprinnelige. Derfor er det vanligere at is består av mange krystaller i en polykrystallinsk struktur. Polykrystallinske materialer består av krystaller med ulik form og størrelse. Hver krystall har en orientering av c -aksen og a -aksene som skiller den fra nabokrystallene. Denne typen struktur finner man også i alle vanlige metaller, keramikk og steiner (Shokr og Sinha, 2015).



Figur 36) Iskrystallen kan vokse som et prisme med sekskantede plan (Shokr og Sinha, 2015).

Det er vanlig at iskrystaller bygges opp i et nettverk med grenser mellom nabokrystallene. Krystallene kan være formet som tynne søyler eller runde korn. Dette avhenger av vekstforholdene og ytre begrensinger. Størrelsen på hver krystall avhenger av hvor god plass krystallen har, og hvor stabile forholdene er. Orienteringen av krystallene kan være tilfeldig eller ordnet i et mønster. Søyleformede krystaller vil for eksempel ofte ligge stablet i samme retning, som blyanter. Orienteringen av c-aksen og a-aksene kan også være tilfeldig eller i bestemte retninger avhengig av hvordan isen har vokst (Shokr og Sinha, 2015).

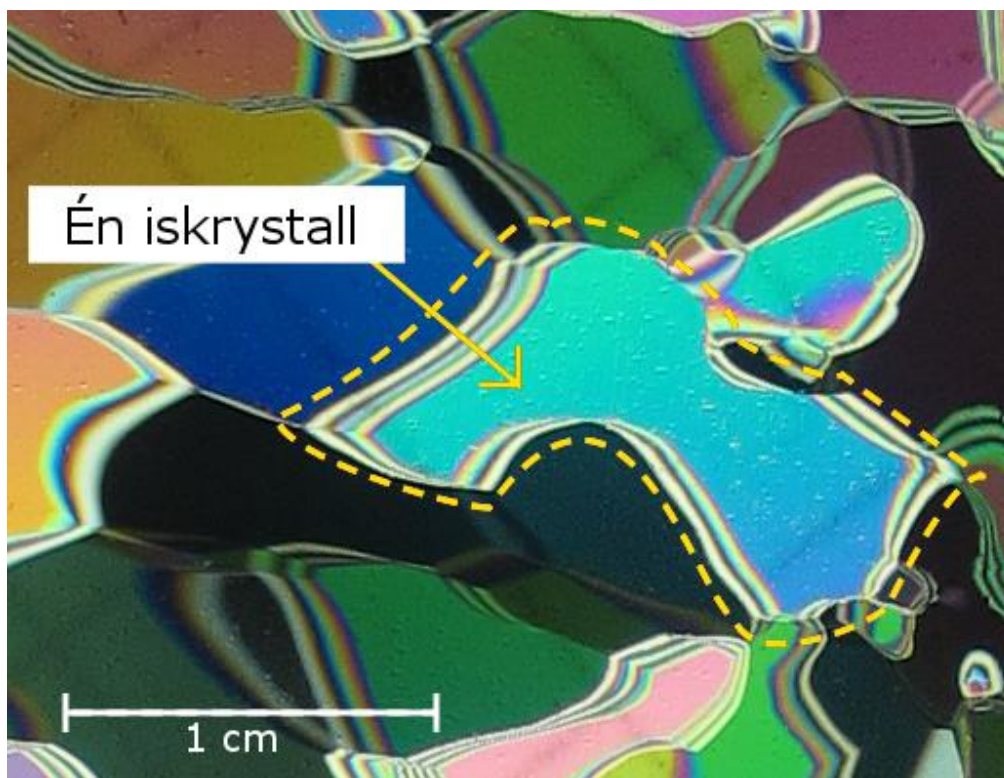
Hvilken informasjon gir krystallstrukturen?

Krystallstrukturen i is gir informasjon om hvordan isen har vokst og hvilke forhold den har vokst under. Studier av krystallene gir dermed økt forståelse av fryseprosessen. For å gjøre en enkel analyse av krystallstrukturen er det nyttig å se på følgende egenskaper i isen:

- 1) **Form:** Er krystallene søyleformet eller formet som runde korn? Er formen lik for alle korn, eller er den varierende?
- 2) **Størrelse:** Er krystallene små, store, veldig store? Er størrelsen jevn eller varierende?
- 3) **Orientering:** Ligger krystallene tilfeldig eller ordnet? Er det en foretrukket orientering i vertikal- eller horisontalplanet?
- 4) **Luftbobler:** Er det mange eller få luftbobler i prøven? Hvordan er luftboblene plassert?

For å studere disse egenskapene kan man bruke polarisert lys. Metoden er beskrevet i kapittel 2.4. Prinsippet for analysen er at en tynn skive av is legges mellom to polarisasjonsfiltre over en lyskilde. Filtrene slipper kun gjennom lysbølger med en bestemt svingeretning. Siden iskrystaller er et dobbeltbrytende materiale vil lyset brytes og endre retning. Graden av brytning avhenger av orienteringen av c-aksen og tykkelsen av krystallen.

Brytningen av lyset vil vises som ulike farger for øyet vårt. Siden nabokrystaller sjelden har samme orientering, får krystallene ulike farger når man ser på prøven gjennom det øverste polarisasjonsfilteret. Et eksempel på dette er vist i Figur 37. Krystaller med samme orientering vil ha samme farge. Dersom prøven roteres mellom polarisasjonsfiltrene vil krystallene skifte farge. Områder som er svarte uavhengig av hvordan man vrir platen under lyset, har c-aksen vertikalt. Dersom isprøven er for tykk får man interferensbølger i krystallgrensene. Dette vises som hvite linjer på bildet nedenfor (Shokr og Sinha, 2015).



Figur 37) Iskrystaller sett under polarisert lys. Området markert med gul stiplede linje er én iskrystall. De hvite linjene i grensen mellom krystallene er interferens på grunn av at isprøven er for tykk.

7.2. Bølgete vertikal iskjøving

7.2.1. Feltobservasjoner

Beskrivelse av isen

Kjennetegnet på denne fryseprosessen er at isen vokser i nær vertikale helninger med en bølgete overflate. Figur 38 viser bølgete vertikal iskjøving sett forfra. Bølgerykkene ligger horisontalt, vinkelrett på strømningsretningen til vannet. Avstanden mellom hver bølgerykk er jevn, i de fleste tilfeller omtrent 1-2 cm. Det er observert både kortere og lengre bølgelengder. Bølgeamplituden varierer fra sted til sted. Noen ganger er bølgene noen mm høye, andre steder nesten 1 cm. Isen er ofte hvit eller blåaktig, særlig i store issvuller.



Figur 38) Bølgete iskjøving langs Tann-Annolsetervegen (Oppland). Foto: A. Liereng (2.1.16).

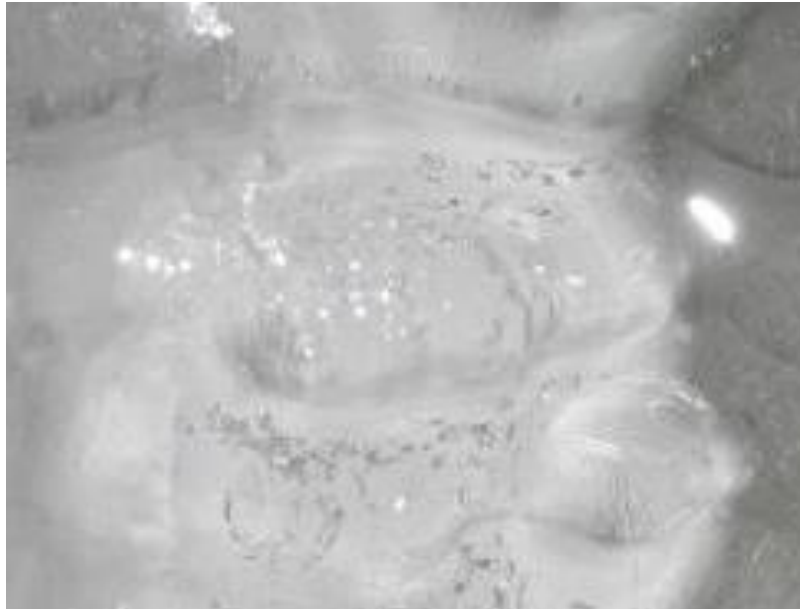
Hvordan fryser vannet?

Forfatteren har observert hvordan vannet fryser i bølger ved flere anledninger. Observasjonene tyder på at vannet fryser fra oversiden av eksisterende bølgerygger. Prosessen starter med at det samler seg vann på oversiden av en bølgerygg, som dekkes av en tynn ishinne. Det lages dermed en lomme med flytende vann. Denne vannlommen er noen cm bred, 4-5 mm dyp og i underkant av 1 cm i høyden (fra underkanten av en bølgerygg til bølgeryggen nedenfor). Disse observasjonene ble gjort ved å lage hull på den tynne ishinnen over bølgeryggene.



Figur 39) Strekene over bølgene viser hvordan iskrystallene skyter ut over vannet. Foto: A. Liereng

To nærbilder av bølgene illustrerer disse observasjonene. Figur 39 viser starten av prosessen. Når vannet begynner å fryse legger iskrystallene seg på overflaten av vannet. Iskrystallene kan man se som striper over vannet. Etter hvert som isen blir tykkere forsvinner stripene og isen blir gjennomsiktig og blank. Figur 40 viser slik blank is med luftbobler. Boblene ligger i en stripe parallelt med bølgeryggen ovenfor. Luftboblene bekrefter at vannet har blitt fanget i en lomme.



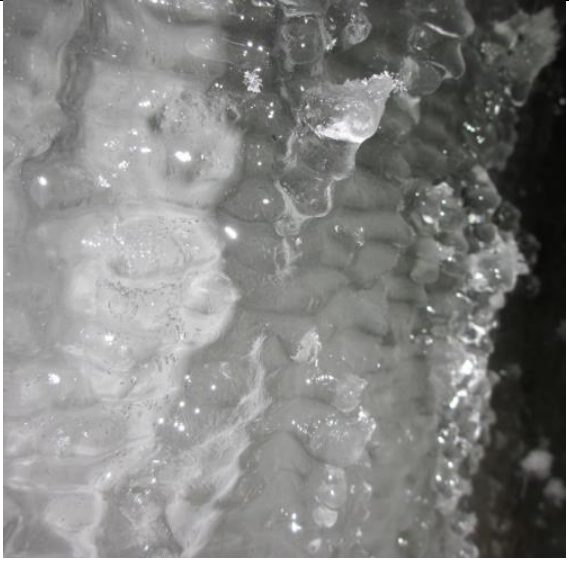

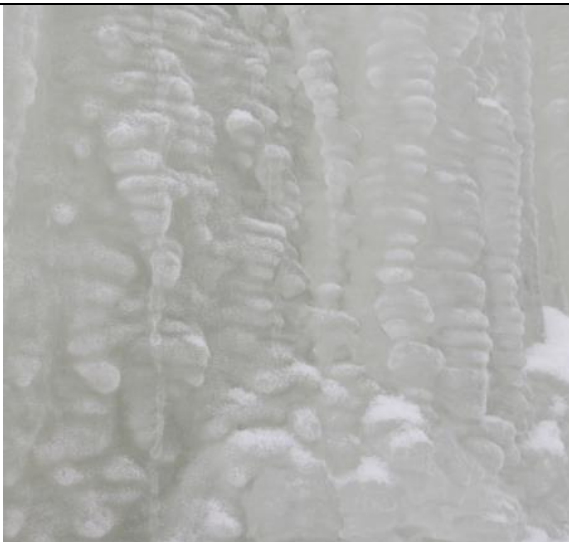
Figur 40) Bølgete iskjøving. Vannet fanges over en eksisterende isbølge mellom den eksisterende isen og en tynn ishinne. Luftboblene ligger øverst i denne vannlommen. Foto: A. Liereng.

Etter at ishinnen er dannet fryser resten av vannet. Det virker som om isen fryser raskest helt foran ved bølgeryggen. Forfatteren observerte flere steder at isen ytterst på bølgeryggen var solid selv om resten av ishinnen var meget tynn. Etter en stund er isen gjennomfrossen og solid. Vann vil dermed renne over isen og prosessen kan starte på nytt.

Ulike stadier eller faser

Bølgete iskjøving går gjennom flere stadier. For et trent øye er det enkelt å se på avstand om vannet holder på å fryse, er fryst til is eller om vanntilgangen har stanset. Isen går fra et stadium til et annet avhengig av vanntilgang og klimatiske forhold. Tabell 4 viser tre stadier av bølgete is.

Tabell 4) Ulike stadier for bølgete iskjøving.

Stadium	Beskrivelse	Bilde
<p>Aktiv - frysende vann</p>	<p>Vannet fryser på vei nedover isen. Vannet fryser på oversiden av de eksisterende bølgerykkene som beskrevet ovenfor. Det er lommer av flytende vann mellom eksisterende is og ny isoverflate.</p> <p>Overflaten av bølgene er kornete eller stripete på grunn av iskrystallene som skyter over vannet.</p>	
<p>Aktiv - Fryst, våt is</p>	<p>Isen er helt fryst og vann renner over isen. Noe av vannet fryser på vei nedover isen, men mye av vannet renner forbi, for eksempel ned til grøfta.</p> <p>Overflaten på isen er blank og skinnende siden den er våt.</p>	
<p>Inaktiv - Fryst, tørr is</p>	<p>Vanntilførselen har stanset og isen er tørr. I denne fasen vokser ikke isen.</p> <p>Overflaten er ofte matt, eventuelt dekket av rim eller snø.</p>	

Beskrivelse av lokale forhold

Bølgete vertikal iskjøving er observert på alle vinterbefaringene i større eller mindre grad. Det er dermed usannsynlig at denne fryseprosessen er knyttet til en bestemt type geologi eller topografi. Kvaliteten på vannet bør heller ikke ha noen betydning. Dette er forhold som varierer mye fra strekning til strekning. Mest sannsynlig er fryseprosessen knyttet til vannstrømningen i seg selv. Det er mulig at det finnes en fellesnevner, for eksempel vannmengde eller hastighet, tykkelsen på det rennende vannlaget eller temperaturen på vannet. Det er også mulig at det er en spesiell kombinasjon av vannstrømning og ytre forhold, for eksempel lufttemperatur, som er avgjørende.

Beskrivelse av klimatiske forhold

Denne type iskjøving har blitt observert i ulike vær-situasjoner. Det virker ikke som om det er en enkelt faktor som styrer prosessen. Bølgete iskjøving i aktiv fase kan skje i lave lufttemperaturer eller ved rundt 0 grader. Det kan skje på steder som er utsatt for vind, og på steder som er skjermet. Det kan skje i oppholdsvær eller i tett snøfall.

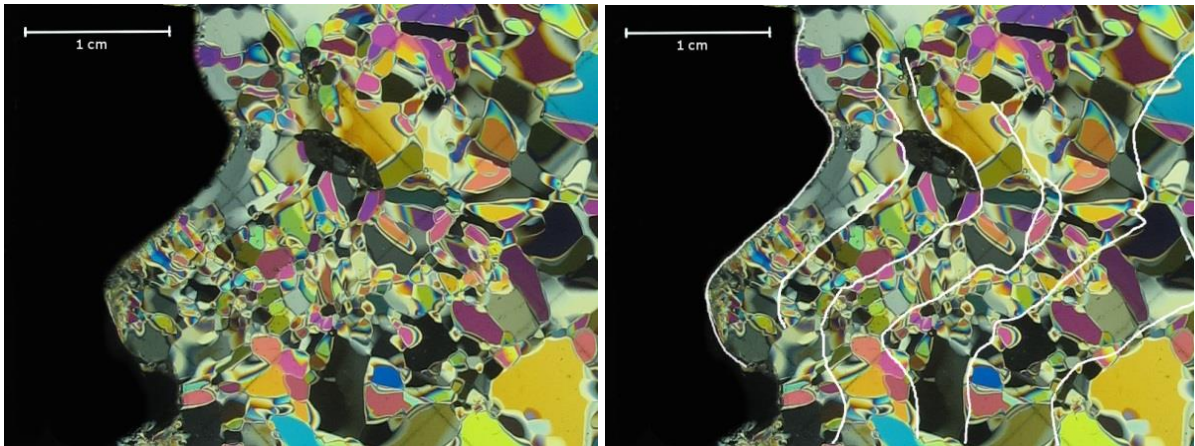
7.2.2. Resultater fra laboratorieforsøk

Et vertikalsnitt og et horisontalsnitt av bølgete is er analysert i laboratorium. Det er tatt bilder av krystallstrukturen i isen ved hjelp av polarisert lys, der hvert farget felt er én krystall. Bildene ligger i vedlegg 2A og 2B.

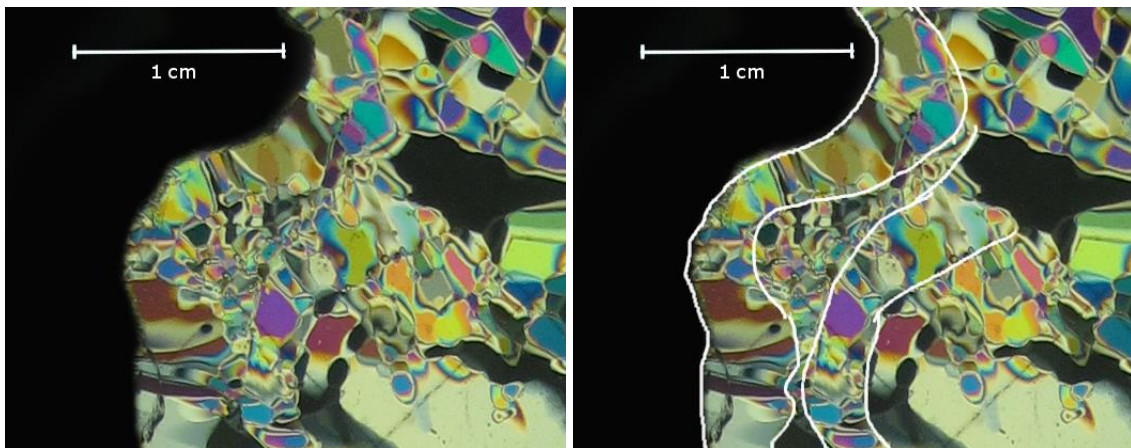
Vertikal- og horisontalsnittet av isprøven viser at iskrystallene er av varierende størrelse. Flere av krystallene er veldig store, med lengder/diameter på flere cm. Det er også mange mindre krystaller. Det er en stor variasjon i krystallenes form og orientering. Dette tyder på at det ikke er en foretrukket orientering på krystallene. Bildene viser en god del luftbobler i isen. Luftboblene er konsentrert i striper eller klynger, ikke jevnt fordelt. Det er luftbobler i hele prøven.

7.2.3. Tolkning av krystallstrukturen

Det er flere eksempler på bølgeliknende mønster i isprøven. På grunn av mye støy og variasjon i krystallene er det vanskelig å se uten å vite hva man ser etter. Langs den bølgete framsiden av prøven er det mulig å se en slags stabling av iskrystaller av samme størrelse. Krystallene ligger i en vertikal, bølgende struktur, der vinkelen mellom overflaten (framsiden) og krystallene er ca. 90 grader. Figur 41 og Figur 42 viser flere slike strukturer innover i prøven. Avstanden mellom bølgene er omtrent 2 – 6 mm (vinkelrett, korteste avstand). Bølgene ser ut til å flytte seg oppover. Mellom de mulige bølgestrukturene er det lommer med mange små krystaller. Disse virker helt tilfeldig orientert og er ikke del av noe mønster. Det er mange luftbobler i dette området. Det er også luftbobler i flere av grensene mellom bølgestrukturemne (langs hvit linje).

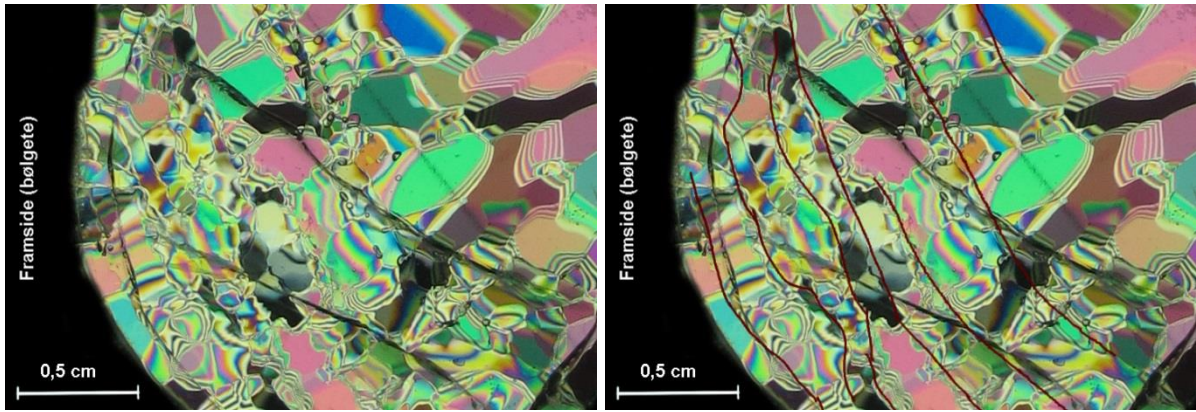


Figur 41a og b) Detalj fra tynnslip av bølgete is, vertikalsnitt (nær bunnen). Venstre side (overgang til svart bakgrunn) er framsiden av prøven. Bildet til venstre er uredigert, mens på bildet til høyre er bølgeformen markert med hvite linjer. Iskrystallene fra vannet som limte prøven til glassplaten er redigert bort for å gjøre bildet enklere å studere. Skala viser 1 cm.



Figur 42a og b) Detalj fra tynnslip av bølgete is, vertikalsnitt (øvre del). Venstre side (overgang til svart bakgrunn) er framsiden av prøven. Bildet til venstre er uredigert, mens på bildet til høyre er bølgeformen markert med hvite linjer. Iskrystallene fra vannet som limte prøven til glassplaten er redigert bort for å gjøre bildet enklere å studere.

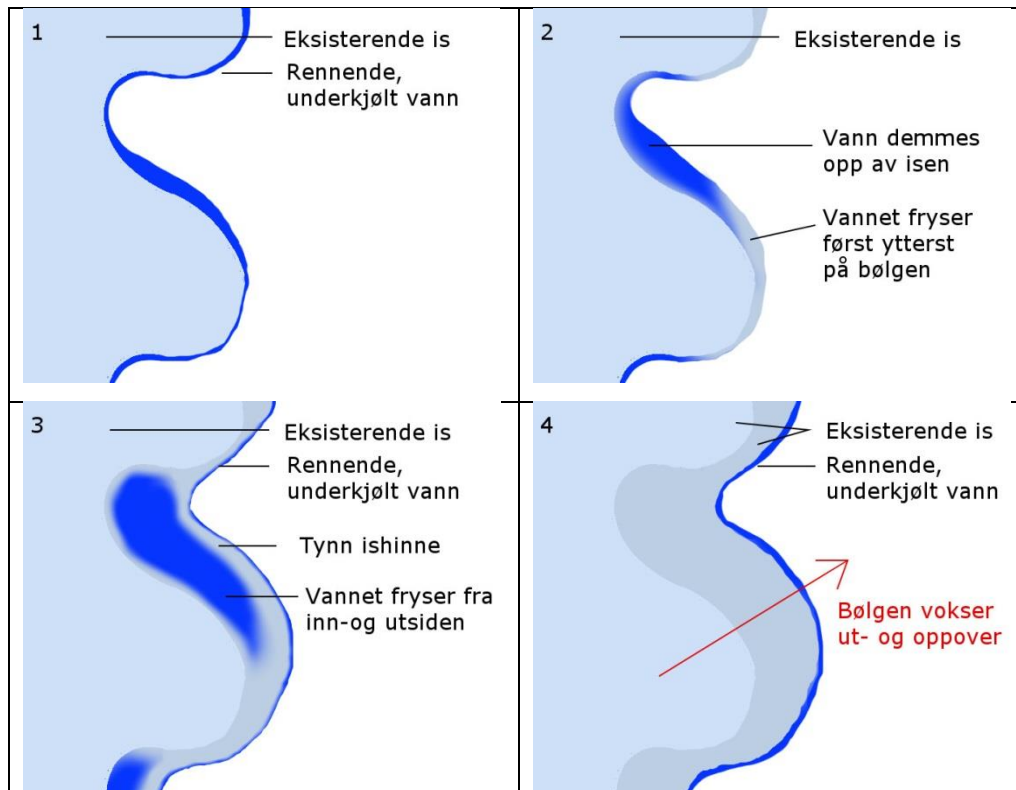
Horizontalsnittet har mye interferens i krystallgrensene og flere sprekker i isen etter høvlingen. Dette gjør det vanskelig å studere strukturen og resultatene er veldig usikre. Det er likevel gjort noen observasjoner i den ene delen av isprøven, nærmest midten, mot framsiden. Fra framsiden av prøven og innover er det flere striper med luftbobler, se Figur 43a. Stripene er parallelle med framsiden, og vinkelrett på isveksten. Det er også mulig å se en viss lagdeling av krystallene i dette området. På bakgrunn av dette er det tegnet inn linjer på bildet i Figur 43b. Avstanden mellom linjene er 1 – 5 mm. Krystallene i dette området er nokså små (noen mm i lengde/diameter).



Figur 43) Detalj fra horisontalsnitt (i "hjørnet" mellom framsiden og midten av prøven). a) Uredigert bilde. Legg merke til hvordan luftboblene ligger parallelt med framsiden av isen, i flere lag innover. b) Linjene viser luftbobler og mulige laggrenser.

7.2.4. Diskusjon av felt- og laboratorieresultatene

Basert på observasjonene i felt, presenteres følgende forslag til hvordan isen vokser med en bølgete overflate: Vannet renner i en underkjølt, tynn film over bølgete is. Det første stedet isen fryser, er på bølgerykkene, siden de er mest eksponert. Vannet som renner utover bølgerykkene vil bremses opp og det dannes en tynn ishinne over vannet. Vannet som er fanget vil fryse rolig fra innsiden, utsiden eller begge deler. Siden vannet fryser på oversiden av hver bølge, vil bølgene flytte seg oppover og utover. Teorien er vist i Figur 44.



Figur 44) Skisse av bølgete is, sett fra siden. Vannet fryser først ytterst på bølgene og demmer opp vannet som renner over isen. Det lages en tynn ishinne over vannet, og vannet fryser fra ut- og innsiden.

Denne forklaringen støttes til en viss grad av analysen i laboratoriet:

- Det er spor av tidligere bølger i både vertikal- og horisontalsnitt. Avstanden mellom hver bølgefront stemmer med feltobservasjoner av dybden på vannet som fanges.
- Bølgeryggen flytter seg oppover flere steder.
- Luftbobler fanges mellom to bølgefronter.
- Lomme av små krystaller mellom store krystaller: «Øyeblikksbilde» av prosessen der vannet som var flytende frøs raskt i kjøleboksen.

Datagrunnlaget er altfor lite og usystematisk til å trekke noen sikre konklusjoner. Det tas derfor forbehold om at observasjonene og forklaringene som presenteres i dette kapittelet, kan være helt eller delvis feil eller ikke fortelle hele sannheten. I tillegg er det flere feilkilder som gjør resultatene usikre:

- Begrenset analyse i laboratoriet. Kun ett horisontalsnitt og et vertikalsnitt. Dette er ikke tilstrekkelig til å gi et godt «3D-bilde» av isen.
- Isen som er studert i lab var aktiv når den ble saget ut og lagt i fryseren. Dette førte til en kunstig rask frysing av vannet som var fanget i lommer inni isen. Dersom isen hadde fått fryse i naturlige forhold ville krystallstrukturen mest sannsynlig vært mer homogen og med større krystaller. Det er vanskelig å tolke strukturene når det er så mye «støy» blant krystallene.
- Horisontalsnittet fikk sprekker under høvling og kunne dermed ikke høvles tynt nok. Det er mye interferens og vanskelig å se krystallgrensene.
- Tolkningen av bølgestrukturer er subjektiv.

7.2.5. Sammenlikning med bølgete istapper

Det er ingen forklaring til hvorfor iskjøving vokser med en bølgete overflate. Til tross for omfattende litteratursøk er det ikke funnet noen forskning på dette. En liknende bølgeprosess kan også oppstå på istapper, som vist i Figur 45. Bølgete istapper er observert på mange av befaringene i vinter, ofte i kombinasjon med større issvuller. Det er grunn til å tro at dette dreier seg om den samme prosessen. Bølgeprosessen på istapper er studert på flere universitet.

Det er utført laboratoriearbeid og laget ulike modeller og fysiske forklaringer på bølgete istapper. Enkelte mener at den underkjølte rennende vannfilmen, varmeoverføringen fra isen og faseovergangen fra vann til is til sammen skaper ustabilitet og dermed lager bølgene. Se ulike teorier fra Ogawa og Furukawa (2002) og Ueno (2007). Chen (2014) har gjennomført verdens mest omfattende studie på istapper i laboratorium. Resultatene hans viser at ioneinnholdet i vannet er avgjørende for bølgene og at teoriene om ustabilitet ikke er tilstrekkelig til å forklare fenomenet. Se også «The Icicle Atlas» med bilder av alle istappene (Chen og Stephen W, 2016).



Figur 45) Bølgete istapp langs E39. Foto: A. Liereng

7.3. Glatt vertikal iskjøving

7.3.1. Feltobservasjoner

Glatt, gjennomsiktig og homogen is

Iskjøving i skjæringer er ikke alltid bølgete. I mange tilfeller er isen helt glatt uten antydninger til bølger. Noen steder er isen helt klar og gjennomsiktig uten luftbobler eller urenheter. Figur 46 og Figur 47 viser tre eksempler på slik glatt is. Bildene viser at denne typen iskjøving kan foregå i alle helninger. Isen er observert i to ulike faser: Aktiv, med våt overflate, og inaktiv, med tørr overflate. I begge tilfeller har isen vært hard og solid.



Figur 46a) Glatt, inaktiv iskjøving i vertikal bergvegg (Tann-Annolsetervegen). b) Glatt inaktiv iskjøving i slak helning (Meråkerbanen).



Figur 47) Den glatte isen er ofte helt gjennomsiktig og blank. E 39. Foto: A. Liereng

Glatt is over bølgete is

Glatt iskjøving kan også oppstå over bølgete is. Dette ble oppdaget ved å ta bilder og notere hvordan isen har vært på de ulike stedene ved hver befaring. Bildene i Figur 48a og b er tatt med to måneders mellomrom på nøyaktig samme sted langs Tann-Annolsetervegen i Breidalen. De er et eksempel på at glatt is kan oppstå på samme sted som bølgete is.



Figur 48a) Bølgete is i Breidalen 2.1.16 b) Glatt iskjøving over bølgete is. Akkurat samme sted i Breidalen 7.3.16. Foto: A. Liereng

Beskrivelse av lokale forhold

Glatt iskjøving, enten homogen eller over bølgete is, er observert på flere av vinterbefaringene. Det har vært betraktelig mindre glatt is enn bølgete is. Den glatte isen har oppstått i de samme områdene som den bølgete isen, så det er usannsynlig at geologi, topografi eller vannkvalitet er avgjørende.

Beskrivelse av klimatiske forhold

Glatt is har blitt observert i ulike vær-situasjoner. Glatt og bølgete is har vokst på samme sted til samme tid. Dette tyder på klimatiske faktorer ikke styrer fryseprosessene alene.

7.3.2. Resultater fra laboratorieforsøk

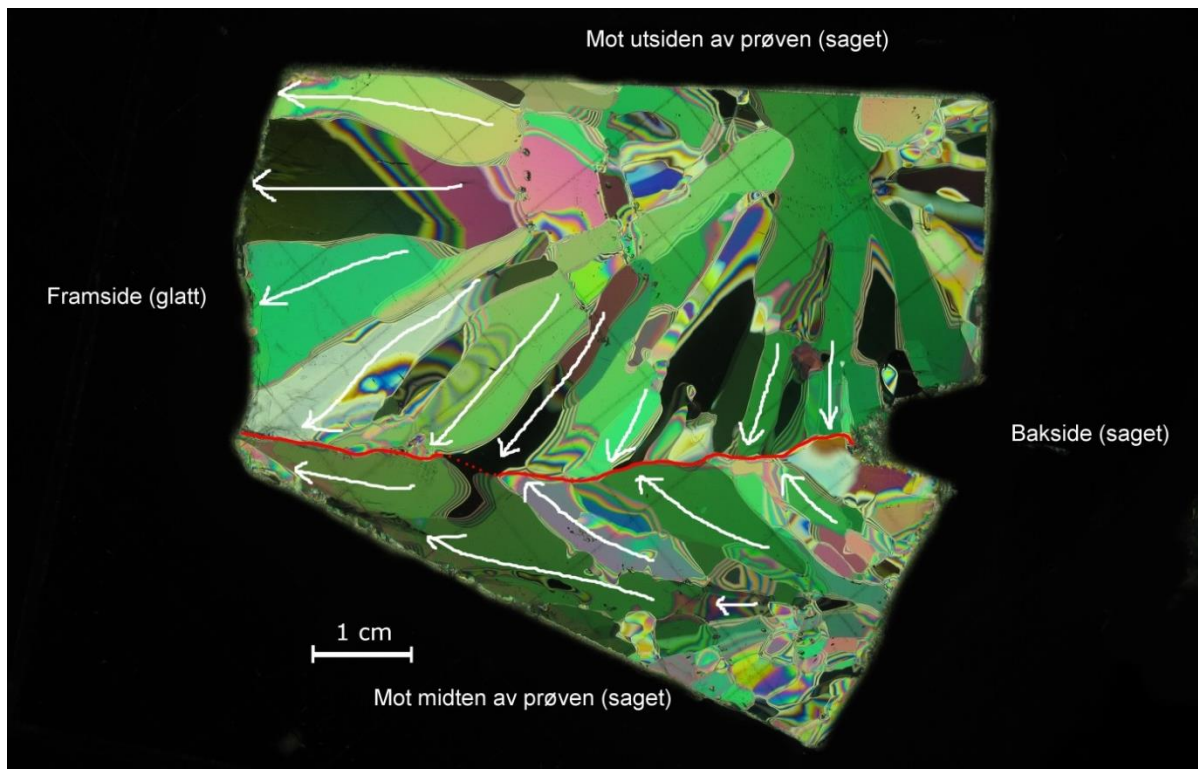
Et vertikalsnitt og et horisontalsnitt fra en prøve av glatt, homogen is er analysert i laboratorium. Det er tatt bilder av krystallstrukturen i isen ved hjelp av polarisert lys, der hvert farget felt er én krystall. Bildene ligger i vedlegg 2C og 2D.

Den glatte isprøven har større krystaller enn den bølgete isprøven. Størrelsen på krystallene i vertikalsnittet er varierende, men de fleste krystallene er store eller veldig store (3 mm – 3 cm +). Formen på krystallene er også varierende. Det er ingen synlige lag av krystaller eller andre åpenbare mønster i vertikalsnittet. Orienteringen av krystallene virker tilfeldig, siden det ikke er noen dominerende farger. Det er ingen eller svært få luftbobler å se.

Krystallene i horisontalsnittet har en helt annen form enn i vertikalsnittet. Krystallene er her mer avlange, pekende ut mot framsiden av isprøven. Størrelsen på krystallene er jevnt over stor, de fleste har en lengde på 1-2 cm. Det finnes både større og mindre krystaller. Orienteringen av krystallene er mer uniform enn i vertikalsnittet. Mange av krystallene har ganske lik grønnfarge under det polariserte lyset. Det tyder på at krystallene også har en felles orientering av c-aksen i dette planet. Det ligger luftbobler som striper i isen. Det er færre luftbobler enn i den bølgete isprøven.

7.3.3. Tolkning av krystallstrukturen

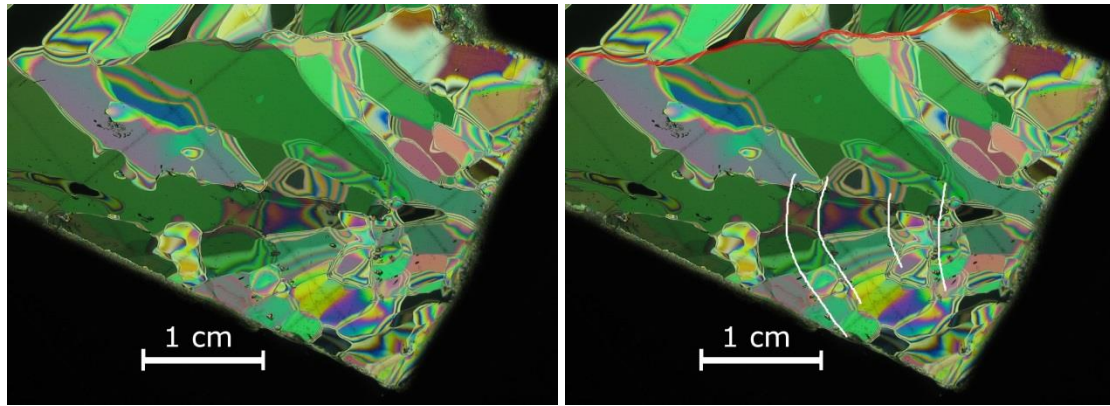
I horisontalsnittet virker det som krystallene «peker» utover mot fronten av isen. Dette er illustrert i Figur 49. Mange av krystallene har også samme orientering i dette planet. Til sammen tyder dette på at krystallene ikke vokser tilfeldig, men etter et bestemt mønster. Det er mulig at c-aksen ligger vinkelrett på isoverflaten, altså i horisontalplanet. Bildene av krystallene i vertikalsnittet viser ingen foretrukket orientering. Det kan bety at a-aksene i krystallene er tilfeldig orientert.



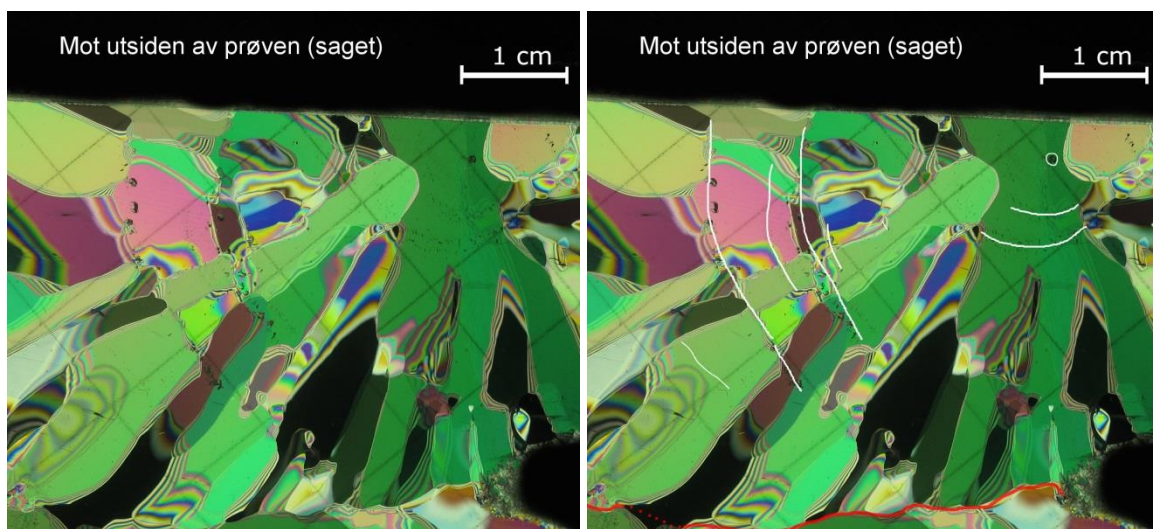
Figur 49) Glatt is, horisontalsnitt. Rød linje viser markert grense i isen. Hvite piler viser hvordan krystallene er avlange og "strekker" seg mot framsiden av isen. Iskrystallene fra vannet som limte prøven til glassplaten er redigert bort for å gjøre bildet enklere å studere.

Det er en tydelig grense i horisontalsnittet, der ulike krystaller møtes. Grensa er markert med rød linje i Figur 49. Retningen og formen på krystallene som møtes kan tyde på at isen har vokst mot denne grensa fra begge sider. Det kan dreie seg om to issvuller som har vokst mot hverandre. Hakket på baksiden av prøven oppsto under saging og kan tyde på at isen er svakere langs denne grensa.

I horisontalsnittet er det flere luftbobler. Disse ligger i striper, vinkelrett på krystallenes lengderetning. Der det er luftbobler, er det også grenser mellom krystaller. Det ser ut som krystallene skyter ut fra et sentrum. Det er to eksempler på dette i denne prøven, se bilder i Figur 50 og Figur 51.



Figur 50) Glatt is, detalj 1 fra horisontalsnitt. Venstre: uredigert. Høyre: Hvite linjer viser striper av luftbobler.

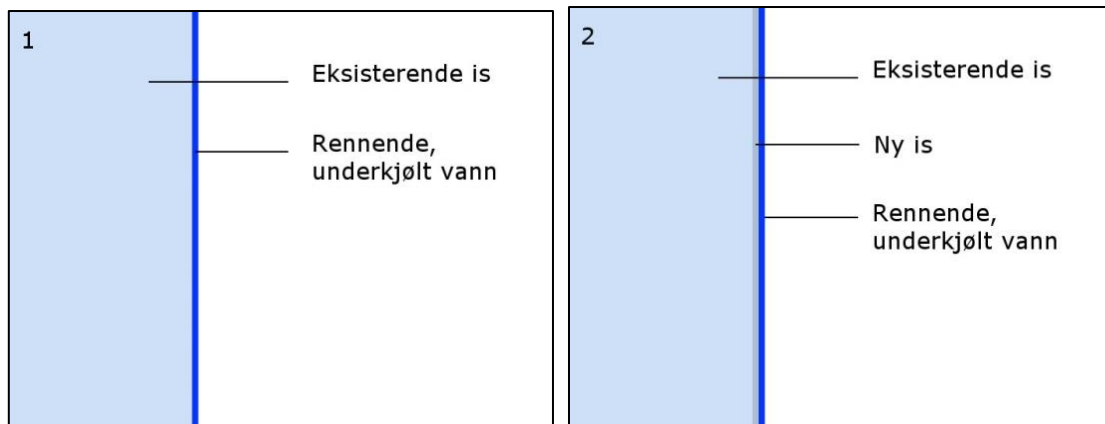


Figur 51) Glatt is, detalj 2 fra horisontalsnitt. Venstre: uredigert. Høyre: Hvite linjer viser striper av luftbobler.

7.3.4. Diskusjon av felt- og laboratorieresultatene

Feltobservasjonene viser at denne type iskjøving er glatt og helt gjennomsiktig. Observasjonene støttes av laboratorieanalysen. De store krystallene kombinert med veldig få luftbobler gir en klar og gjennomsiktig is. For å lage så store krystaller uten luftbobler må isen vokse innenfra og ut. På den måten kan luft unnsnippe etter hvert som vannet fryser. Dette stemmer godt overens med observasjonene i felt, siden isen alltid er hard og fryst, selv om den er våt.

Ut fra felt- og laboratorieresultatene foreslås følgende teori om hvordan denne typen iskjøving foregår: En tynn, underkjølt vannfilm renner rolig nedover en isflate. Når vannet fryser, fester det seg til eksisterende krystaller, slik at disse øker i størrelse. Krystallene har c-aksen orientert i horisontalplanet. Det kreves stabile forhold og jevn, rolig vannstrøm for at krystallene skal kunne vokse så store. Figur 52 viser en skisse av hvordan isen vokser utover i tynne lag.



Figur 52) Skisse av glatt is, sett fra siden. Isen vokser fra innsiden og utover, ved at underkjølt vann fryser i tynne lag.

Datagrunnlaget er lite og usystematisk. Krystallstrukturen er bare studert i ett horisontalsnitt og ett vertikalsnitt. Dette er ikke tilstrekkelig til å gi et godt «3D-bilde» av isen. Det er dermed umulig å trekke noen sikre konklusjoner basert på disse resultatene. Observasjonene og forklaringene som presenteres i dette kapittelet, kan være helt eller delvis feil eller ikke fortelle hele sannheten.

7.4. Horisontal iskjøving

7.4.1. Feltobservasjoner

I slakt terreng og grøfter bygger isen seg opp med horisontale islag som vist i Figur 53. Isen har ofte brede terrasser i ulike nivåer. Høydeforskjellen mellom hvert nivå er i størrelsesorden 2 mm – 2 cm. Terrassene skiller seg fra vertikal bølgete iskjøving, ved at hvert nivå er horisontalt. Isen er hvit, ugjennomsiktig og ofte kornete.



Figur 53) Iskjøving i grøft. Det er ca. 3 cm med vann over solid is. Over vannet er det en tynn isskorpe. Vannet kan dermed fryse fra både under- og oversiden. Meråkerbanen. Foto: A. Liereng.

Hvordan fryser vannet?

I grøfter, bekker og elver eller på flatmark vil isen ofte bre seg utover i tynne, utstrakte islag. Vannet renner ut over isflaten og kjøles ned. Avhengig av tykkelsen på vannlaget, varmetapet til bakken og varmetapet til lufta vil vannet fryse fra oversiden, fra undersiden eller begge deler. Dersom vannet fryser fra oversiden, dannes det først en tynn ishinne over det rennende vannet. Dette er vist i Figur 53. Deretter fryser vannet mellom isen og ishinna. Etter en stund vil vannet ha frosset til et solid islag. Vannet som kommer rennende ovenfra vil da renne over det frosne laget, slik at prosessen kan gjentas.

Dersom vannet kommer fra en konsentrert kilde kan isen også bygge opp kuppelformede formasjoner. Formasjonene vil ha horisontale terrasser på framsiden, som vist i Figur 54a. Når helningen på issvullen blir stor nok, vil vann renne i en tynn vannfilm nedover framsiden. De flate terrassene kan dermed dekkes av enten bølgete eller glatt is. Issvullen i Figur 54b er dekket av bølgete is.



Figur 54a) Isen kan bygge seg opp til issvuller med horisontale lag. b) Når helningen på issvullen blir nær vertikal, kan isen vokse i bølgete overflate. Meråkerbanen. Foto: A. Liereng.

Beskrivelse av lokale forhold

Denne fryseprosessen er observert i bekker og grøfter langs Meråkerbanen, Fv 30 og Tann-Annolsetervegen. Prosessen er også observert på toppen av issvuller i skjæringer. Fellestrekket for alle stedene er at området er nær horisontalt i starten av fryseprosessen.

Beskrivelse av klimatiske forhold

Denne fryseprosessen er observert i både aktiv og inaktiv fase på samme befarings Meråkerbanen 15.1.16 Da var det stabilt kaldt vær (-20 grader) og tørt vær uten snø på bakken. Prosessen er også observert i midlere vær langs Fv 30.

DEL 3

Forebyggende tiltak mot iskjøving



8. Forebyggende tiltak mot iskjøving i skjæringer

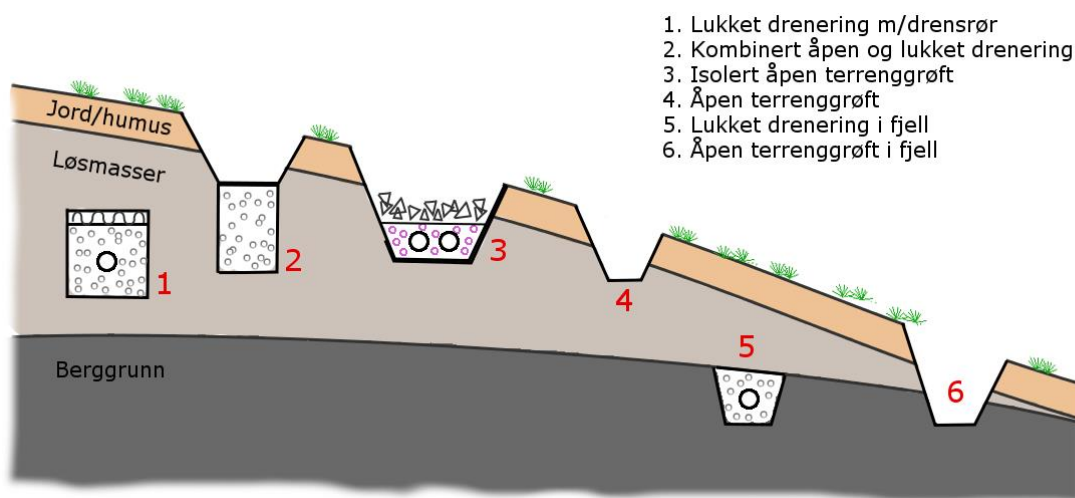
Tiltak mot iskjøving i skjæringer skal redusere problemene isen skaper for infrastrukturen og trafikantene. Tiltakene har ulike strategier for å oppnå dette målet. De forebyggende tiltakene mot iskjøving i skjæringer har blitt delt inn i seks ulike hovedstrategier.

- 1) Drenere overflatevann og/eller grunnvann
- 2) Kanalisere vannstrømmen
- 3) Isolere skjæringen
- 4) Utvide skjæringen
- 5) Holde isen bak fysiske barrierer
- 6) Sikre skjæringen mot isras

I tillegg er det mulig å fjerne isen med kontrollerende driftstiltak. Disse vil ikke beskrives i detalj i denne oppgaven, siden metodene for å fjerne is i skjæringer er godt kjent for driftspersonell. Innenfor hver strategi finnes det flere mulige tiltak. Dette kapittelet gir en beskrivelse av hvert tiltak med formål, utførelse og plassering, norske og internasjonale erfaringer med tiltaket. I tillegg vil det være en diskusjon rundt hvert enkelt tiltak, for å belyse fordeler og ulemper.

8.1. Drenering av overflatevann og grunnvann

Iskjøving i skjæringer og grøfter kan unngås ved å avskjære grunnvann og overflatevann før det eksponeres langs vegen eller jernbanen. Dette gjøres ved å samle vannet i åpne eller lukkede grøfter ovenfor vegen eller jernbanen og føre det frostfritt til stikkrenne eller lukket drensledning. Avhengig av hvor vannet som kjøver kommer fra, er det ulike typer grøfter som kan benyttes. Grøftene har ulikt tverrsnitt og plasseres enten i overflaten eller nedgravd. Figur 55 gir en oversikt over grøftene som beskrives i dette kapittelet.

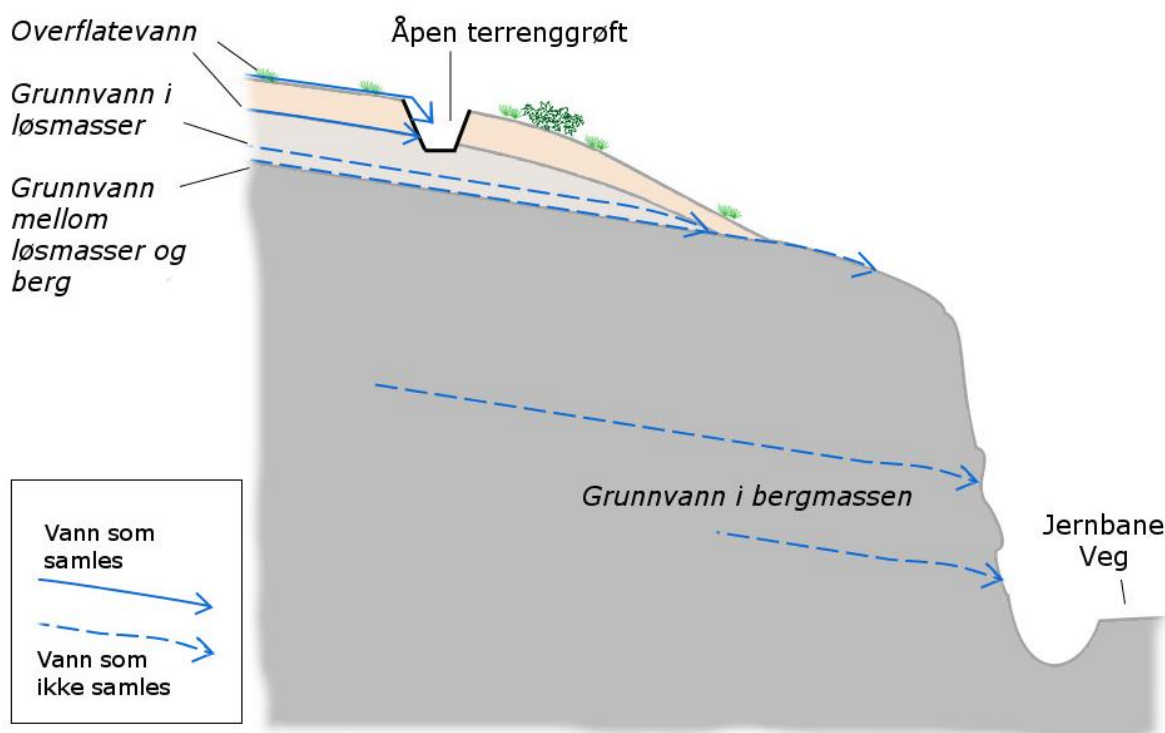


Figur 55) Oversikt over ulike typer grøfter som kan brukes for å avskjære overflate- og grunnvann.

8.1.1. Åpen terrenggrøft

Beskrivelse av tiltaket

Åpne terrenggrøfter skal samle opp vann som renner i de øvre jordlagene ovenfor veien eller jernbanen, og på den måten fjerne kilden til iskjøving. Terrenggrøfter kan plasseres ovenfor skjæringer som vist i Figur 56. Grøftene bør ligge så nær skjæringen som mulig, slik at vann ikke kan lagres mellom grøfta og skjæringen. Vannet føres fram til naturlige bekke- eller elveløp, kanaliserte vannveier, nedføringsrenner eller direkte til stikkrenner under veien. Det kan benyttes én eller flere grøfter avhengig av terrenget, vanntilførsel, naturlige vannveier og liknende (Norem, 1998). Grøftene kalles også avskjærende grøfter eller overvannsgrøfter.

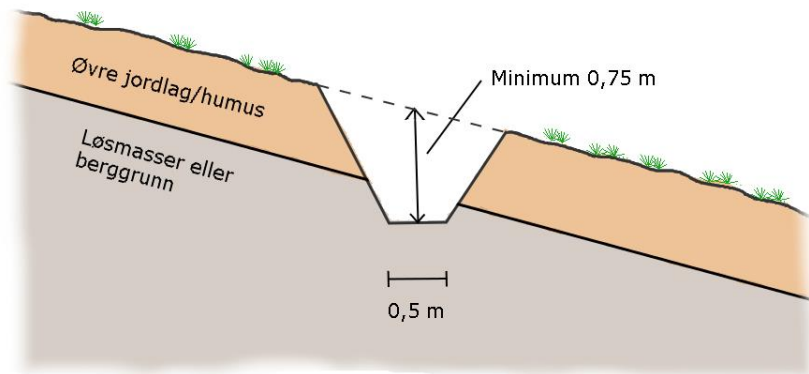


Figur 56) Plassering av åpen terrenggrøft.

Plasseringen av grøftene må tilpasses de lokale forhold slik at fallet på grøfta blir passe stort. Fallet bør være 2 – 5 % i lengderetningen (Norem et al., 2016). Dersom fallet blir for lite, vil vannet bli stående i grøfta, og det er dermed stor sjanse for iskjøving. For sterkt fall vil derimot øke faren for erosjon. Dersom grøftene må plasseres med stort fall, for eksempel på veg mot stikkrenne, bør de sikres med steinsetting, terskler eller fartsdempere (Statens vegvesen, 2014b).

Terrenggrøfter bør være smale og dype for å samle mest mulig vann og minimere varmetap til omgivelsene (Carey, 1973, Lovell og Herrin, 1953). Tverrsnittet av en åpen terrenggrøft er vist i Figur 57. Grøfta bør gå helt ned til et tett løsmasselag eller fjelloverflaten slik at vannet

ikke kan renne under grøfta. Dersom løsmasselaget er tynt kan grøfta sprenges eller pigges ned i berget for større effekt (Norem, 1998). Dette er vist i Figur 55.



Figur 57) Tverrsnitt av åpen terrenggrøft.

Erfaringer med tiltaket

Terrenggrøfter er et velkjent tiltak i Norge og var tidligere mye benyttet langs både veg og jernbane. Grøftene har god effekt der de er utformet riktig og forholdene ligger til rette. Dersom vannet samles i grøfter vil problemene med iskjøving i skjæringer ofte bli kraftig redusert. Den største fordelen med åpne terrenggrøfter er at det er enkelt og rimelig å utføre. Der terrenggrøfter kan benyttes, vil dette ofte være det rimeligste tiltaket (Norem, 1998).

Åpne terrenggrøfter er godt egnet der vann i de øvre jordlagene er hovedårsaken til iskjøving, og dybden til fjell eller annet tett lag er liten. Grøftene har liten effekt der vannet kommer fra sprekker i fjellet eller fra dype lag i løsmassene. Dette grunnvannet renner for dypt til å samles i åpne grøfter (Carey, 1973, Norem, 1998). Effekten av terrenggrøfter er størst der vannmengdene er moderate og vannet er jevnt spredd utover i terrenget. Vann fra bekker, elver eller naturlige kilder med konsentrerte vannveier bør ikke samles i terrenggrøfter. Det vil gi stor fare for erosjon og skader i perioder med mye nedbør.

Ved Trøbakktrøa langs Meråkerbanen er det en gammel terrenggrøft med dårlig effekt. Årsaken til dette er at mye av vannet renner i sjiktet mellom berg og løsmasser, samt i sprekker i berget. Bilder og beskrivelser av forholdene på stedet finnes i Vedlegg 5I. Ved Åga, langs Nordlandsbanen, er det laget en terrenggrøft. Vannet renner for dypt i løsmassene eller berggrunnen til å samles opp av grøfta, og effekten er dermed begrenset. Bilder av stedet finnes i Vedlegg 11B.

Utfordringen med terrenggrøfter er å hindre kjøving i selve grøfta, eventuelle nedføringsrenner og innløp til stikkrenner. Dersom det dannes is i grøftesystemet vil tiltaket umiddelbart miste sin funksjon. For å opprettholde effekten av terrenggrøfter over flere år må

de vedlikeholdes. Materiale som samler seg i grøftene kan bremse eller blokkere vannstrømmen og føre til iskjøving (Carey, 1977).

Diskusjon

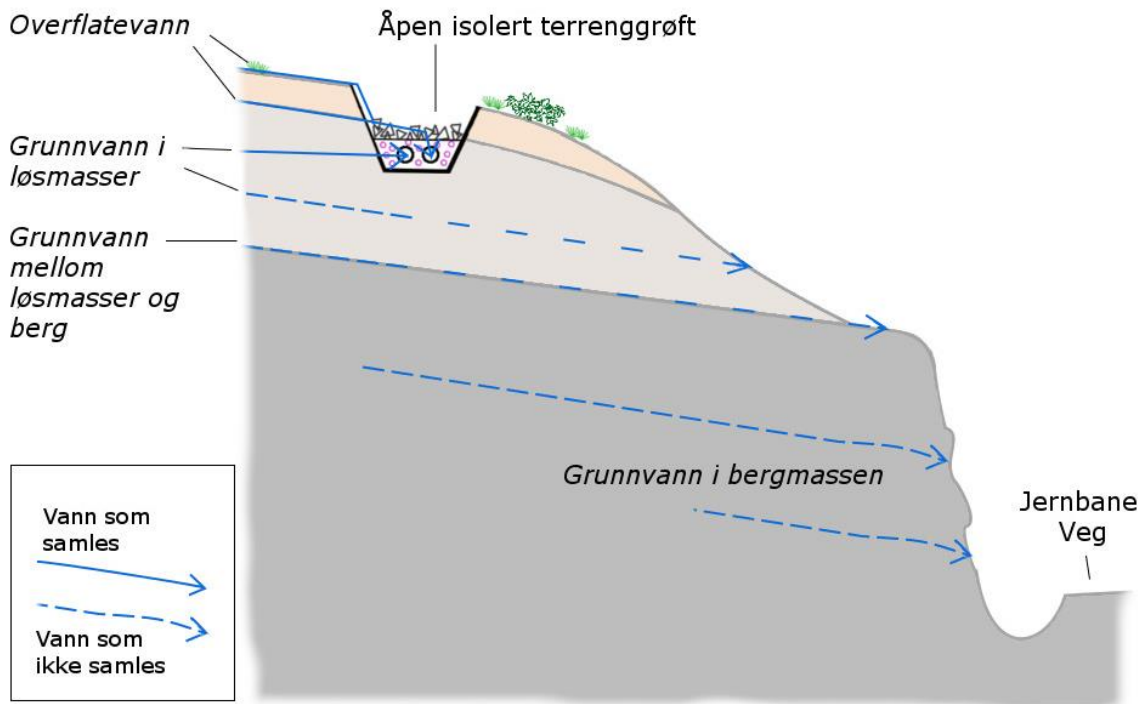
Åpne terrenggrøfter har ofte god effekt og lave investeringskostnader. Likevel er det ikke så mange slike grøfter som benyttes i dag. Grunnen til dette er nok en kombinasjon av flere forhold. For det første har åpne terrenggrøfter et begrenset bruksområde. I mange tilfeller renner vannet for dypt nede i løsmassene eller fjell til å samles opp. For det andre krever både utførelsen og driften av terrenggrøfter god tilgjengelighet for maskiner ovenfor skjæringen. For det tredje krever grøftene mye vedlikehold for å opprettholde sin funksjon. I tillegg er det mange negative erfaringer med iskjøving i grøftene i perioder med barfrost.

Åpne terrenggrøfter kan ha negative konsekvenser for omgivelsene. Dype grøfter kan være til fare for barn og dyr, spesielt hvis de er gjengrodd og vanskelige å se. I tettbygde strøk bør åpne terrenggrøfter gjerdes inn eller sikres, slik at de ikke er til fare. Siden grøftene ligger på oversiden av skjæringer kan de komme i konflikt med annen infrastruktur eller bebyggelse. Grøftene kan ta en del areal som kunne vært brukt til andre ting. Drenering kan også ha negative konsekvenser for natur og miljø.

8.1.2. Åpen, isolert terrenggrøft

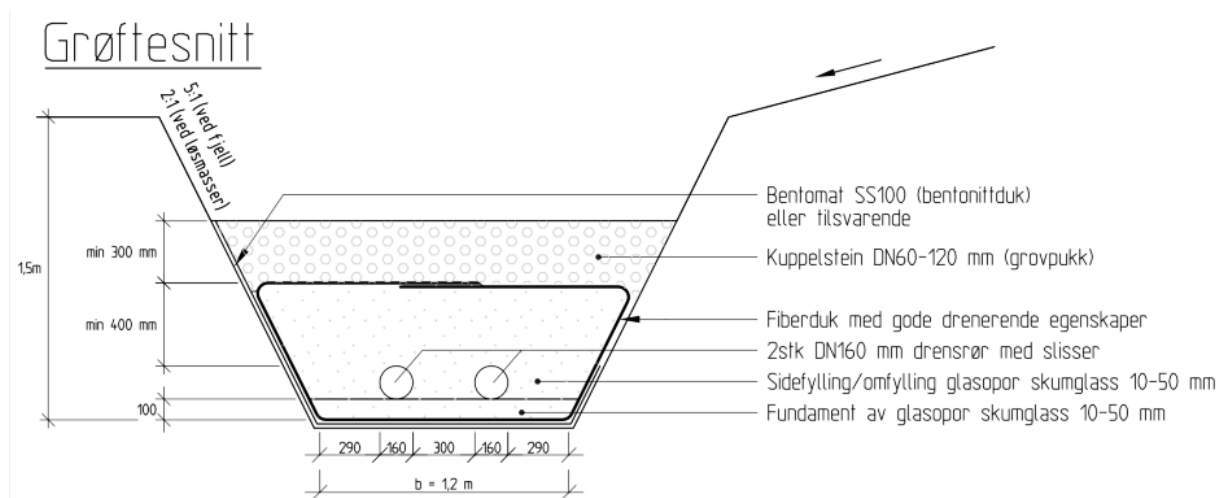
Beskrivelse av tiltaket

Åpne, isolerte terrenggrøfter har det samme formålet som vanlige åpne terrenggrøfter. Grøftene skal samle opp vann i de øvre jordlagene ovenfor vegen eller jernbanen, og føre det frostfritt til nærmeste stikkrenne eller nedføringsrenne. I tillegg vil grøftene samle opp en del grunnvann fra løsmassene. For å hindre at vannet fryser er de forbedret med isolerte drensledninger. Denne typen grøft er en del av et forskningsprosjekt i Tromsø og er derfor ikke mye benyttet ennå (Stenersen, 2013). Figur 58 viser hvordan en isolert åpen terrenggrøft kan samle overflatevann og grunnvann ovenfor en skjæring.



Figur 58) Plassering av åpen isolert terrenggrøft.

De isolerte grøftene i Tromsø er utformet som vist Figur 59 og Figur 60, med unntak av fiberduken. Denne er ikke lenger en del av utførelsen i Tromsø. Grøftene graves dypere og bredere enn vanlige åpne terrenggrøfter. Bunnen og nedstrøms side av grøfta tettes for å hindre lekkasje av vann. Det er benyttet bentonitt-matter og betongmatter til dette formålet. Begge typer herder ved kontakt med vann og gir en tett og jevn overflate. Grøftene er fylt med glasopor skumglass, som er et isolerende og drenerende materiale laget av resirkulert glass. I isolasjonsmaterialet legges det inn drensør for å samle vannet. Over isolasjonen legges det et jordarmeringsnett og et lag grovpukk som fungerer som infiltrasjonsmateriale og erosjonssikring (Stenersen, 2016).



Figur 59) Tverrsnitt av de åpne isolerte grøftene. Skisse fra Jan Stenersen.



Figur 60a og b) Bygging av åpne isolerte grøfter i Tromsø. Foto fra Jan Stenersen.

Erfaringer med tiltaket

Erfaringen med isolerte åpne grøfter er så langt god. Grøftene i testprosjektet klarte å samle grunnvann og føre det frostfritt videre i en periode med barfrost i Tromsø vinteren 2013. Grøftene taklet også kraftig nedbør på frossen mark samme år (Stenersen, 2013). Siden grøftene er del av et forskningsprosjekt er det foreløpig lite erfaring om hvordan tiltaket fungerer over lengre tid. Grøftene bør likevel egne seg i de samme områdene som åpne terrenggrøfter, der overflatevann er hovedkilden til iskjøving.

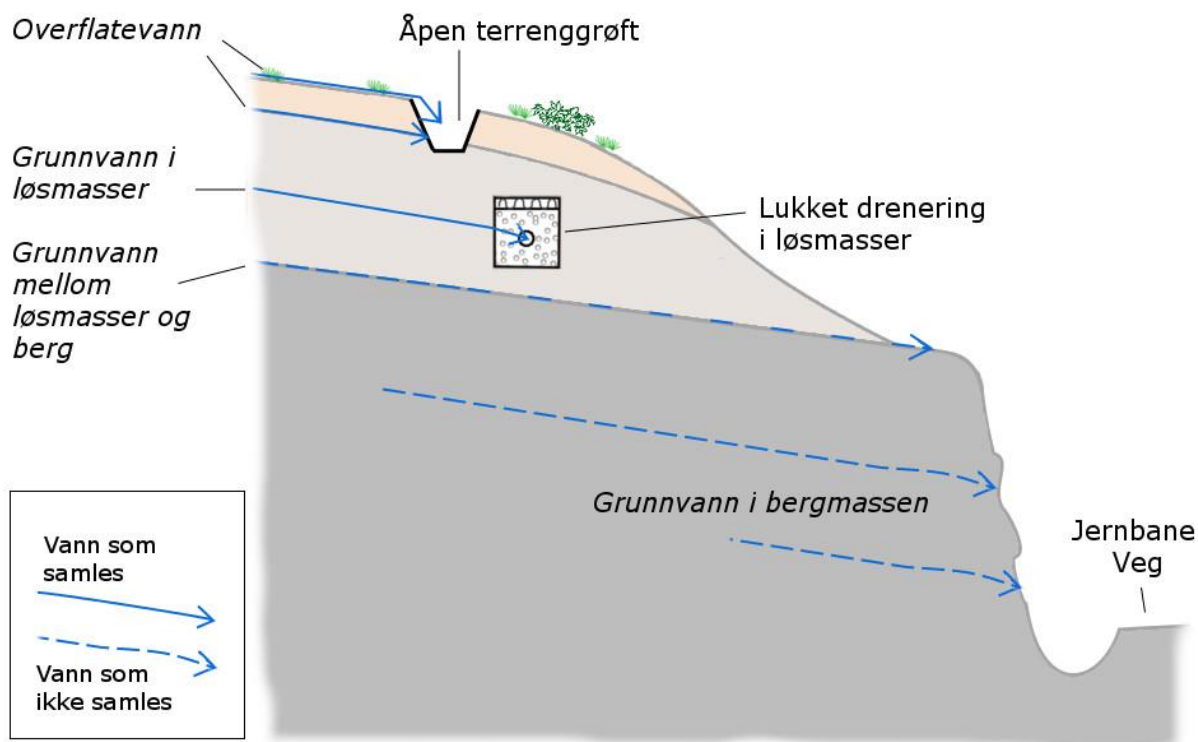
Diskusjon

Isolerte terrenggrøfter har flere fordeler sammenliknet med uisolerte grøfter. Isolasjonen vil hindre kjøving i grøfta, og man unngår problemer med kjøving i innløp til stikkrenner eller kulverter. Selv om erfaringene med tiltaket så langt er gode, er det likevel flere forhold som kan skape problemer på lengre sikt. For det første innebærer løsningen at overflatevann føres ned i lukket drenering, sammen med grunnvann. Overflatevann inneholder sedimenter og vegetasjon som over tid kan tette igjen drensledningene. Erfaring tilsier at grunnvann og overflatevann heller bør håndteres separat (Heje, 1941). For det andre vil pukken tettes av sedimenter og vegetasjon over tid. Dette kan redusere infiltrasjonen i grøfta og føre til iskjøving. For å opprettholde effekten av grøfta må pukken vedlikeholdes.

8.1.3. Lukket drenering i løsmasser (isolert/uisolert)

Beskrivelse av tiltaket

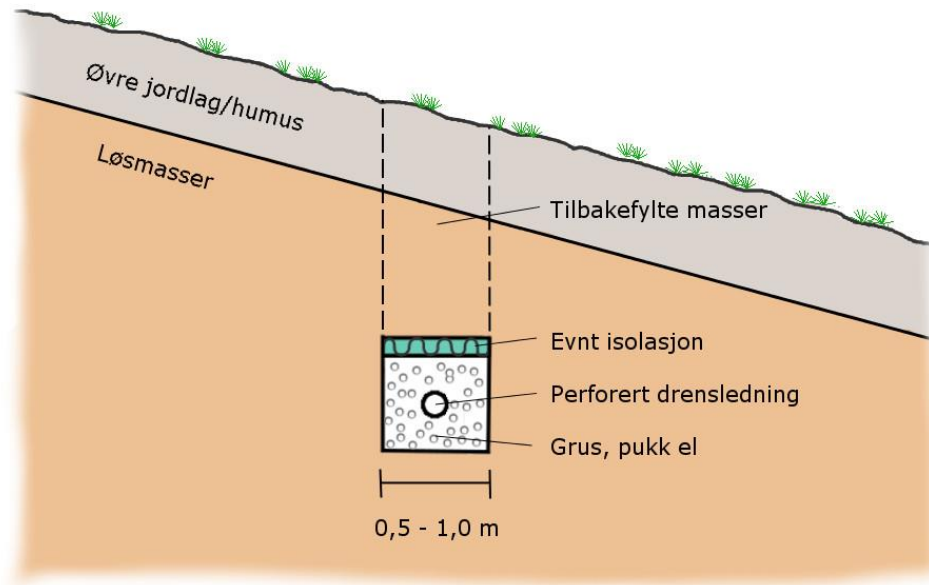
Lukket drenering, også kalt lukket drensgrøft, kan brukes for å senke grunnvannsnivået i området ovenfor vegen eller jernbanen. Dette vil gi mindre vanntilførsel til skjæringer, skråninger og grøfter og dermed redusere omfanget av iskjøving (Statens vegvesen, 2014b). På engelsk kalles denne type grøfter subsurface drain (Carey, 1973). Lukket drenering plasseres ovenfor området som er utsatt for iskjøving, ofte rett ovenfor skjæringer eller skråninger. For størst effekt bør dreneringen ligge så nær vegen eller jernbanen som mulig, slik at vann ikke kan samles nedenfor dreneringen. Plasseringen må imidlertid tilpasses de lokale forhold. Et eksempel på plassering er vist i Figur 61.



Figur 61) Plassering av lukket drenering og åpne terrenggrøft.

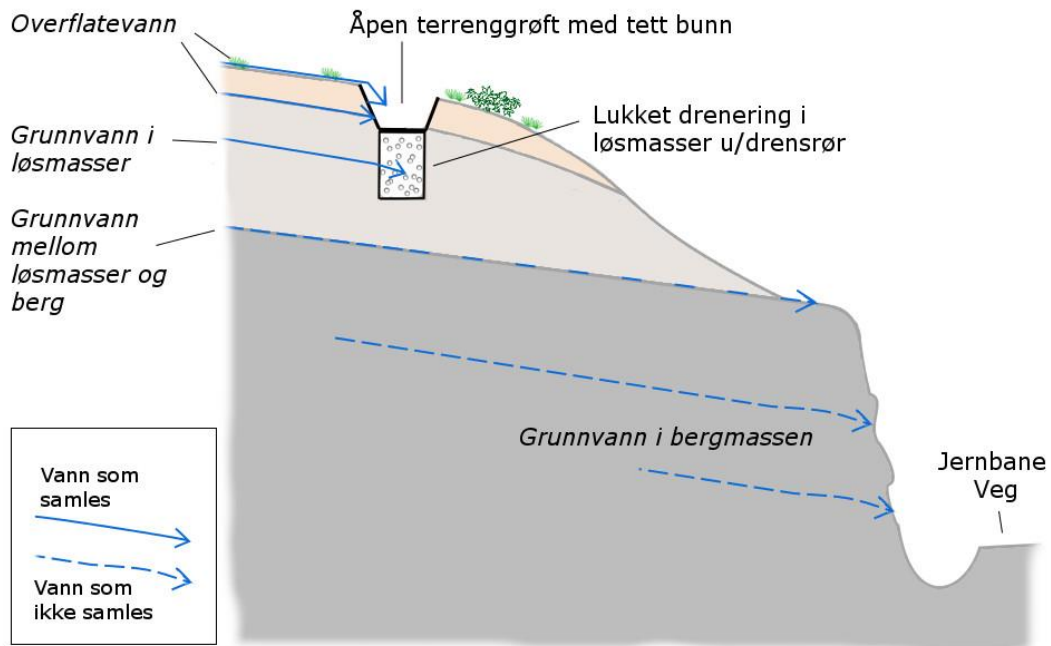
Grøftene graves så dypt som nødvendig for å samle opp grunnvannet. Lengdefallet på grøftene må være minst 1 % (Carey, 1973: 54, Statens vegvesen, 2014b: 152). Utforming av grøftene kan variere. I bunnen av grøfta kan det legges fiberduk eller tett membran. Grøfta fylles med permeabelt materiale, for eksempel grus eller pukk. Det kan legges ned en perforert drensledning for å øke kapasiteten i grøfta, men grøftene kan også lages uten drensledning. Grøfta fylles igjen med gjenfyllingsmasser, ofte jord som ble gravd ut for å lage grøfta. Figur 62 viser et eksempel på utførelse.

For å hindre frostinntrengning i systemet må drensledningen ligge under frostdybden. Dersom frostdybden i området er stor, kan grøfta isoleres. En mulighet er å erstatte pukken eller grusen rundt drensledningen med for eksempel glasopor skumglass eller løs leca. En annen mulighet er å legge isolerende materiale over drensgrøfta som illustrert i Figur 62. For mer detaljert beskrivelse av dimensjoner, materialer og krav til denne typen grøfter, se håndbok N200 Vegbygging (Statens vegvesen, 2014b: 164 - 170) eller Teknisk regelverk (Jernbaneverket, 2016b: Kapittel 7).



Figur 62) Eksempel på utførelse av lukket drensgrøft. Materialer og dimensjoner kan variere.

Siden lukket drenering kun samler grunnvann, må overflatevannet håndteres separat. Overflatevannet kan samles i åpne terrenggrøfter som vist i Figur 61. Alternativet til dette er å lage en kombinert åpen og lukket terrenggrøft, se Figur 63. Det lages da først en lukket drensgrøft som beskrevet i dette kapittelet. I stedetfor å fylle igjen med gjenfyllingsmasser, legges det en membran som gir tett bunn for den åpne delen av terrenggrøfta. Løsningen er beskrevet i N200 Håndbok for vegbygging (Statens vegvesen, 2014b: 152).



Figur 63) Kombinert åpen og lukket drenering ovenfor skjæringen.

Erfaringer med tiltaket

Lukket drenering ovenfor vegen eller jernbanen kan benyttes der grunnvann i løsmasser er hovedkilden til iskjøving (Carey, 1973). Dette er ofte tilfellet i områder med tykt løsmassedekke, myr, torv eller annen vannmettet jord ovenfor vegen eller jernbanen. Siden grøftene graves ned i bakken, kreves det en viss dybde til bergoverflaten. I områder med tynt løsmassedekke kan åpne terrenggrøfter eller drenggrøfter i fjell være bedre alternativer. Lukket drenering har liten effekt dersom vannet renner i kanaliserte vannveier som elver og bekker.

Det er ikke funnet noen eksempler på denne typen tiltak i Norge, men det er anbefalt i både norsk og internasjonal litteratur. I følge Carey (1973) er lukket drenering mye mer effektivt enn åpne terrenggrøfter. De lukkede grøftene kan senke grunnvannsnivået under frostdybden og dermed eliminere årsaken til iskjøving. Selv om kostnaden er høyere vil dette som regel veies opp av effekten. Lukket drenering er også anbefalt av Nordal (1965) og Statens vegvesen (2014b: 152-153).

Diskusjon

Lukket drenering er bedre enn åpne terrenggrøfter i de tilfeller hvor det er grunnvann som forårsaker kjøving. Denne typen drenering har likevel noen utfordringer. For det første krever tiltaket god tilgjengelighet for maskiner ovenfor vegen eller jernbanen. Terrenget må være ganske flatt og det må være mulig å komme opp på toppen av skjæringen. Dette er ofte enklere i byggefase enn i driftsfase, da en fremdeles har anleggsveier på stedet.

En annen utfordring med lukket drenering er faren for iskjøving i drengledningen. Utløpet av drengledningen er et kritisk punkt. Dersom den lukkede dreneringen har utløp til friluft bør utløpet skjermes, isoleres eller varmes opp med varmekabel. Ellers kan vannet fryse i utløpet og blokkere hele systemet. Det er bedre å føre vannet ned i lukket kum og videre i lukket drengledning, men dette krever tilstrekkelig kapasitet. Et annet problem er frostinntrengning i selve drengledningen. Dette kan skje hvis drengledningen ligger for grunt, eller hvis vinteren er spesielt kald med lite snø. Det kan også skje dersom fallet i ledningen er for lite, eller ujevnt, slik at vannet blir stående stille i ledningen. Dersom drengledningen fryser, vil den miste sin funksjon. Det vil også være vanskelig å tine den før våren kommer.

En tredje utfordring er kostnadene til investering og drift. I de fleste tilfeller må det lages både en lukket drenering og åpen terrenggrøft for å samle alt vannet. Dette medfører større kostnader og mer arbeid, både for bygging og drift. Det er umulig å lage lukket drenering ovenfor hele vegen eller jernbanen. Man må gjøre en vurdering av behovet, de lokale forhold og ressursene man har tilgjengelig for hvert enkelt problemområde.

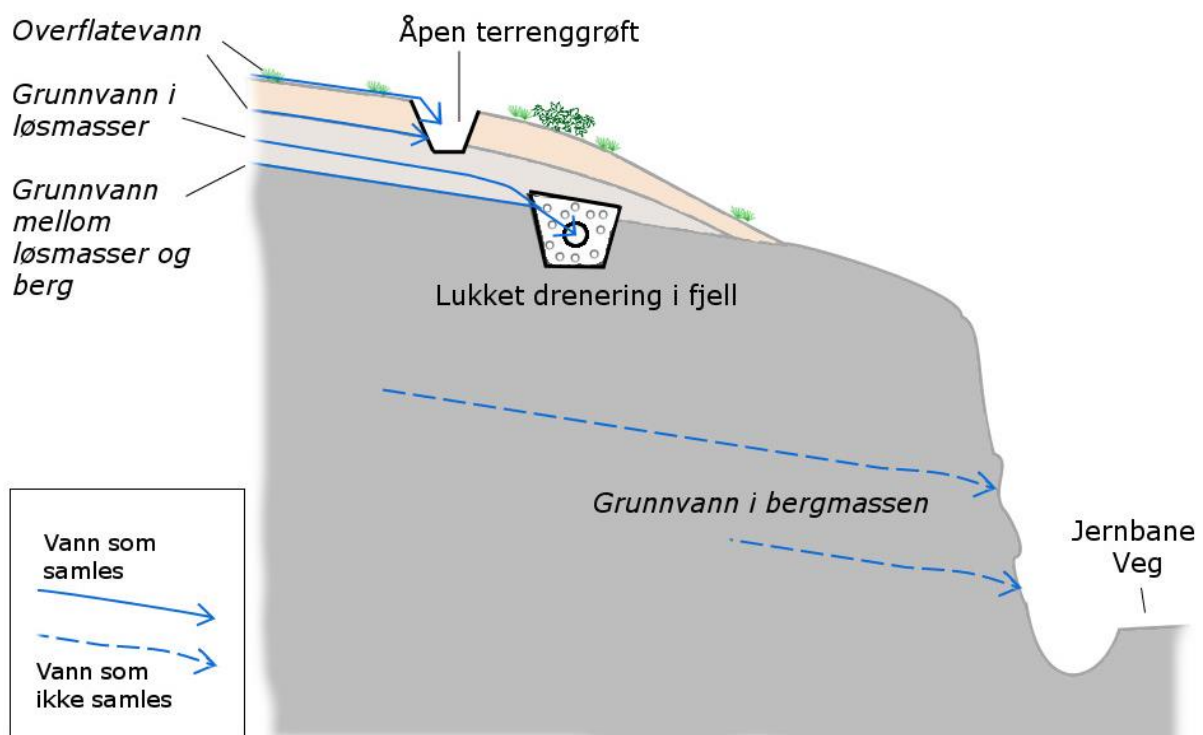
Sist, men ikke minst, er det viktig å ta hensyn til omgivelsene. Omfattende drenering kan senke grunnvannsnivået over større områder. Dette kan tørke ut terrenget, særlig i perioder

med lite nedbør. Våte naturtyper med naturlig høy grunnvannstand, som myr, sumpskog, tjern, vann og vassdrag er mest sårbare for grunnvannssenking. Slike våte områder er spesielt viktige for både biologisk mangfold og friluftsliv (Karlsrud et al., 2003).

8.1.4. Lukket drenering i fjell (isolert/uisolert)

Beskrivelse av tiltaket

Langs ny E6 ved Rudland (Oppland) er det laget en ny type lukket drenering. Det har blitt pigget ned en lukket drengroft i berget ovenfor en skjæring som illustrert i Figur 64. Grøfta skal samle grunnvannet som renner i sjiktet mellom berg og løsmasser. Målet er å senke grunnvannsnivået og hindre iskjøving i skjæringen. Tiltaket er en variant av lukket drenering i løsmasser, som beskrevet i kapittel 8.1.3.



Figur 64) Plassering av lukket drengroft i fjell og åpen terrenggrøft.

Ved Rudland forårsaket vann fra sjiktet mellom berg og løsmasser store mengder is i en skjæring. For å redusere problemene ble det laget to lukkede drengrofter i berget i 2015. Grøftene er pigget minimum 1 m ned i berget og er 0,5 – 1 m brede i bunnen. Grøftene er fylt med 20 – 120 mm kult og det er lagt ned en 160 mm perforert drengledning i pukken. Over pukken er det lagt fiberduk og fylt tilbake jord. Det er ikke tettet i bunn eller sider av grøfta.

Fjellskjæringen går etterhvert over i en jordskjæring. Der grøfta går ut i jordskjæringen er det laget en vanlig lukket drenering i løsmassene. Vannet føres til lukket hoveddrengledning langs

vegen. Siden de lukkede grøftene kun samler grunnvann, er det også laget åpne terrenggrøfter for å samle overflatevann. Denne beskrivelsen er basert på befaring og personlig kommunikasjon med prosjektingeniør Torgeir Kval fra Statens vegvesen.

Erfaring med tiltaket

I følge Torgeir Kval er både entreprenør og byggherre fornøyd med effekten av grøftene på Rudland så langt. Iskjøvingen er betraktelig redusert, selv om det generelt har vært mye iskjøving i distriktet vinteren 2015/16. For bilder av situasjonen før og etter tiltaket ble utført, se vedlegg 9A.

Tiltaket har imidlertid vist noen svakheter. Det er fortsatt to markerte iskjøvinger i skjæringen. Den største iskjøvingen oppstår i et markert søkk i berget, og er vist i Figur 65. Dette betyr at drenggrøftene ikke klarer å samle alt vannet. Vannet som kjøver kan være grunnvann som renner i store vertikale sprekker i fjellet. Det er også mulig at vannet fra drengledningen ledes ut i skjæringen gjennom vertikale sprekker, siden grøftene ikke er tette i bunn eller sider.



Figur 65) Konsentrert iskjøving i østre del av skjæringen. Den lukkede drenggrøfta i berget klarer ikke samle alt vannet. Foto: A. Liereng (11.3.16).

Diskusjon

For å lykkes med tiltaket er det viktig å føre vannet frostfritt gjennom hele drenggrøfta. Det må være tilstrekkelig tilbakefylling av jordmasser eller isolasjonsmateriale for å unngå frost i drengledningen. Utløp i friluft bør unngås, det er bedre å føre vannet fram til hoveddrengledningen langs vegen. Overflatevann må håndteres separat i åpne terrenggrøfter. Dette vannet føres til stikkrenner.

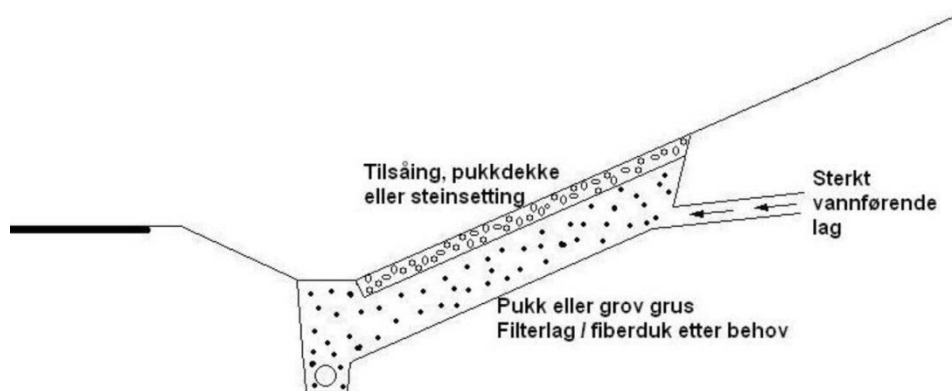
Vertikale vannførende sprekker bør kartlegges når man pigger ut grøft av denne typen. Dersom slike sprekker oppdages, bør grøfta tettes i bunn og nedstrøms side for å hindre

lekkasje. Det kan også være et alternativ å sprengte ut en smal nisje for å prøve å få dette vannet frostfritt ned til grøfta. Det kan hende at denne typen grøft er uegnet i områder med mange store vertikale sprekker.

Siden erfaringen med tiltaket er begrenset, er det ikke mulig å fastslå bruksområdene med sikkerhet. Tiltaket bør egne seg i områder med tynt løsmassedecke, der vannet renner i sjiktet mellom berg og løsmasser. Geologien på stedet har sannsynligvis stor innvirkning på resultatet. I intakt berg med få åpne sprekker bør grøftene ha god effekt. I oppsprukket berg med mange store, vertikale sprekker, vil effekten av grøftene mest sannsynlig reduseres. En bør være forsiktig i høye skjæringer og unngå å lage ustabile blokker mellom drengrøfta og skjæringen.

8.1.5. Drengrøfter i jordskjæringer

Der grunnvann renner ut i markerte sjikt i jordskjæringer, kan det være nødvendig å samle vannet i drengrøfter. Hvis vannet renner jevnt fordelt langs et vannførende lag kan det samles i en lukket drengrøft langs vegen eller jernbanen som vist i Figur 66. De opprinnelige massene langs skjæringen nedenfor det vannførende sjiktet erstattes med pukke eller grus. Pukken eller grusen kan eventuelt dekket med jord og såes til eller dekket av stein (Statens vegvesen, 2014b). Dette tiltaket isolerer grunnvannet og kan dermed hindre iskjøving.



Figur 66) Drengrøft for å samle grunnvann som renner i jordskjæringer (Statens vegvesen, 2014b: 90).

Der grunnvannet renner ut fra faste kilder eller utspring i jordskjæringer kan det lages vertikale drengrøfter istedenfor å skifte ut masser langs hele skjæringen. Grøftene graves ut fra punktet grunnvannet eksponeres til bunnen av skjæringen. Grøftene utformes tilsvarende som vist i Figur 66, med pukke eller grus. Det er mulig at isolerende materialer, for eksempel glasopor skumglass eller løs leca kan benyttes istedenfor pukke eller grus.

8.2. Kanalisering av konsentrert overflatevann og grunnvann

Bekker og grunnvann fra konsentrerte kilder fører ofte vann til skjæringen kontinuerlig gjennom hele vinteren. Erfaring tilsier at det er best å håndtere hvert bekkeløp for seg selv (Norem, 1998). Det samme gjelder naturlige kilder. Kanalisering av vannet kan redusere tendensene til iskjøving.

8.2.1. Nedføringsrenner i bergskjæringer

Beskrivelse av tiltaket

Nedføringsrenner i bergskjæringer skal føre overflatevann ned til grøft eller stikkrenne og hindre at vannet sprer seg utover. Rennene utformes vanligvis som dype, smale nisjer i fjellskjæringer. Både bekker og vann fra terrenggrøfter kan føres ned med nedføringsrenner. Rennene lages helst der bekken drenerer mot skjæringen, men kan også plasseres andre steder dersom vannet føres dit (Norem, 1998). Bildene nedenfor viser en nedføringsrenne langs Meråkerbanen:



Figur 67) Nedføringsrenne for bekk. Sørkringen, Meråkerbanen 4. Foto: A. Liereng (5.11.15 og 15.1.16).

Nedføringsrenner sprenges eller pigges ut av berget. Dimensjonene på nedføringsrenna tilpasses den forventede vannmengden i bekken, både i normalsituasjonen og i flomsituasjoner. Det er viktig at rennene har tilstrekkelig kapasitet, slik at man unngår problemer med vannsprut og oversvømmelser ved flom. Samtidig bør renna være så dyp og smal som mulig (Norem et al., 2016). Smale, dype renner har to positive effekter med tanke på iskjøving:

- 1) Vannføringen blir mer konsentrert og vanddybden øker. Dette gir høyere hastighet og mindre varmetap til den kalde bergoverflaten.

2) Den smale nisjen reduserer varmetapet til lufta og omgivelsene rundt. Vannet vil skjermes for vind og få mindre utstråling av varme. Dette holder vanntemperaturen høyere.

Ofte føres vannet ned i en stikkrenne eller kulvert. Det er da viktig å utforme innløpet til stikkrenna på en slik måte at iskjøving unngås. Se kapittel 9.1.3.

Erfaring med tiltaket

Erfaringen med nedføringsrenner i Norge er veldig god (Norem, 1998, Norem et al., 2016). Rennene kanalisere vannet og reduserer ismengdene. Ofte dannes det en del is i nedføringsrennene ved kalde perioder, men da kan mye av vannet renne på baksiden av isen. Det er flere nedføringsrenner langs Meråkerbanen med god effekt. Rennene bidrar også til å konsentrere problemene til et punkt. Dette er enklere for driftspersonell å overvåke og håndtere.

Diskusjon

Nedføringsrenner er et enkelt, rimelig tiltak med god effekt. Så lenge renna er smal og dyp, vil vannstrømmen mest sannsynlig holde seg konsentrert og frostfri helt ned til stikkrenna. Utfordringen med nedføringsrenner er å lage dem smale og dype nok, samtidig som kapasiteten beholdes. Det kan være vanskelig å balansere hensynet til flomsituasjoner om sommeren, og lav vannføring i kalde vintre.

Et alternativ til nedføringsrenner er å føre vannet ned i rør montert i skjæringen. Dette har ifølge Norem (1998) blitt testet noen ganger i Norge. Det er ikke funnet eksempler på prosjekter der dette er utført, men løsningen kan helt sikkert ha potensiale. Utfordringen er å hindre iskjøving i inntaket til røret. Løsningen er i tillegg lite pen å se på, og vil kreve en del vedlikehold.

8.2.2. Drenasjehull i bergskjæringer

Beskrivelse av tiltaket

Der vannårer eller vann fra sprekker i berget er årsaken til iskjøving i skjæringer, kan drenasjehull være en mulighet. Drenasjehullene lages ved å bore grove hull inn i berget der vannet renner. Hullene skal samle vannet som renner i sprekker i berget og føre det ned til lukket drensgrøft i bunnen av skjæringen. Løsningen er anbefalt i Håndbok N200 for vegbygging, men er ikke beskrevet i større detalj (Statens vegvesen, 2014b). Stefansson (2013) vurderte bruk av drenasjehull for ny E134 ved Kongsberg, der det var store problemer med iskjøving.

Diskusjon

Det er ikke funnet noen eksempler på at det har blitt laget drenasjehull i skjæringer for å redusere mengden iskjøving. Likevel kan løsningen ha et visst potensiale. For iskjøvinger fra konsentrerte sprekker kan dette være et enkelt og godt tiltak. Effekten av tiltaket vil avhenge

av geologien på stedet og utførelsen av arbeidet. Utfordringen ligger i å bore på riktig sted, slik at hullene kutter gjennom de vannførende sprekke. Det krever en del undersøkelser og forarbeid. Skjæringen bør helst studeres gjennom flere sesonger for å finne ut hvilke områder som er mest utsatt for iskjøving. Samtidig vil denne typen tiltak være mest aktuelt å utføre i byggefasen, så snart skjæringen er laget. I ettertid kan det være vanskelig å bore hull på rett sted uten å grave opp igjen grøfter nedenfor skjæringen.

8.2.3. Håndtering av bekkeløp i jordskjæringer

Der bekker renner ned langs jordskjæringer er det vanlig å samle vannet i steinsatte kanaler, nedføringsrenner eller i nedgravde rør. Dette gjøres for å hindre erosjon i løsmassene. Selv om nedføringen av bekken ikke lages med tanke på iskjøving vil tiltaket likevel ha en gunstig effekt. Vannstrømmen konsentreres og sannsynligheten for iskjøving reduseres. Der man likevel får problemer med iskjøving i bekker som føres ned jordskjæringer, bør nedføringsrenna eller kanalen gjøres dypere og mer skjermet. Ellers kan bekken legges i rør nedgravd i skjæringen.

8.3. Isolering av skjæringer

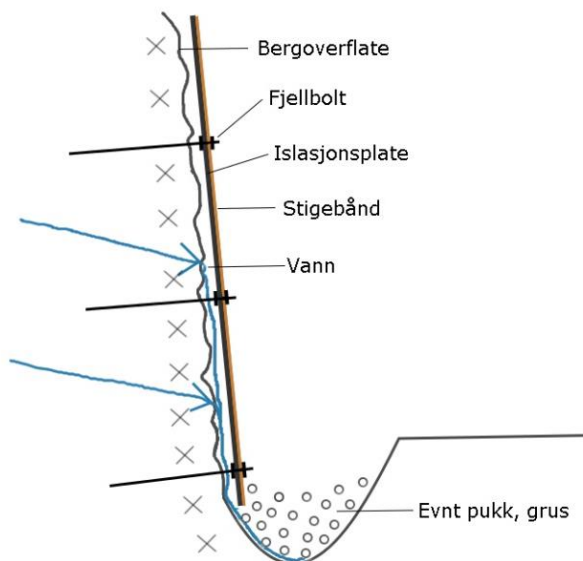
Isolering av skjæringer kan føre vann frostfritt ned til grøft, stikkrenne eller lukket drenering. Dette vil hindre iskjøving. Det er mange ulike metoder for å oppnå dette og utførelse varierer fra sted til sted. I dette kapitlet presenteres tre løsninger for å isolere fjellskjæringer og én løsning for å isolere jordskjæringer.

8.3.1. Isolasjonsplater

Beskrivelse av tiltaket

Isolasjonsplater kan benyttes i fjellskjæringer for å redusere varmetapet og hindre at vannet fryser før det når grøfta. Platene monteres med en avstand mellom berg og isolasjon, slik at vannet kan renne bak platene. Dette er en teknikk som tidligere ble mye brukt i tunneler, men som også er benyttet i enkelte skjæringer. Figur 68a viser et eksempel på bruk av isolasjonsplater utenfor en tunnelportal.

Isolasjonsplater av PE-skum finnes i varierende tykkelser og dimensjoner. Nødvendig tykkelse avhenger av materialets isolasjonsevne og frostmengden i området. Platene monteres med stigeband og fjellbolter. Avstanden mellom bergoverflate og plater bør være omtrent 5 cm. Avstanden lages ved å bruke muttere på baksiden av platene. Platene må legges med overlapp (både vertikalt og horisontalt) og festes så skjøtene er helt tette. I hver ende bør glippen mellom berg og plate tettes slik at det ikke kommer kald luft inn. Det er viktig at platene derfor festes over punktet der vannet kommer ut i skjæringen, slik at vannet renne bak platene. I bunnen av skjæringen er det flere mulig løsninger. Platene kan avsluttes der de treffer grøfta, eller føres et stykke ned i grøfta, som illustrert i Figur 68b.



Figur 68a) Isolasjonsplater i skjæring utenfor tunnelportal. Bulken, Bergensbanen (bilde fra målevogn). b) Prinsippskisse av isolasjonplatene.

Erfaring med tiltaket

Det er gode erfaringer med isolasjonsplater i skjæringer. På Bergensbanen er det montert isolasjonsplater i en trang skjæring utenfor en tunnel. Disse fungerer godt og hindrer iskjøving i skjæringen. Problemet med platene er at de ikke er UV-bestandige, og at levetiden derfor er begrenset i dagslys (Almenningen, 2016). Isolasjonsplater har god effekt så lenge man får vannet til å renne bak dem. Det er avgjørende at platene monteres korrekt og at vannet ledes ned bak platene. I motsatt fall vil det mest sannsynlig kjøve på utsiden av platene.

Diskusjon

Isolasjonsplater har flere fordeler. Platene kan benyttes i mange ulike forhold og tar lite plass i profilet. Platene er ikke avhengig av tilgjengelighet ovenfor skjæringen. I tillegg er dette et enkelt tiltak som ikke krever undersøkelser av vannkilder og årsaker. Isoleringen fungerer uavhengig av om vannet kommer fra sprekker i berget eller løsmassene.

Platene har imidlertid også en del ulemper, som kan forklare den begrensede bruken. PE-skum er meget brannfarlig og bruken av materialet er dermed strengt regulert. I tillegg har platene en begrenset levetid. Platene kan ødelegges av UV-stråling, trykk og sug-krefter fra tog, vann og is. Dersom det begynner å kjøve bak platene, for eksempel på grunn av at skjøtene ikke er tette, kan platene bli ødelagt. En annen ulempe er det estetiske inntrykket. Platene er ikke pene å se på og gir inntrykk av å være et midlertidig tiltak.

Det er mulig at et lag med sprøytebetong kan redusere ulempene ved platene. Ved å dekke dem med betong vil platene bli mer solide og gi et bedre visuelt inntrykk. Det er ikke samlet erfaringer fra steder der dette er gjort. Det virker mest aktuelt å bruke plater av PE-skum på

steder der andre tiltak er umulige å gjennomføre på grunn av manglende tilgjengelighet og plass.

8.3.2. Enkel isolert vegg

Beskrivelse av tiltaket

Langs Sørlandsbanen er det laget en enkel isolert vegg i en skjæring. Veggen lar vannet renne skjermet mellom veggen og bergoverflaten ned til grøfta. Veggen er vist i Figur 69. Dette er et enkelt tiltak som kan tilpasses lokale forhold og ressurser.

Veggen bør være vanntett slik at regnvann ikke trekker inn i konstruksjonen. Den bør også være sterk nok til å tåle nedbør, sol, frost og vind i mange år. På Sørlandsbanen er veggen laget av 22 mm tykke vannfaste finerplater. På baksiden av veggen plasseres det isolasjon. Tykkelsen på isolasjonen avhenger av materialet og tilpasses lokale frostmengder. På Sørlandsbanen er det benyttet 5 cm tykke isolasjonsplater. Mellom isolasjonen og berget må det være en åpen avstand som vannet kan renne i. Det er viktig at konstruksjonen som holder veggen ut fra berget er solid og holdbar (Andersen, 2016).



Figur 69) Enkel isolert vegg langs Sørlandsbanen. Foto: Martin Ulleberg (Jernbaneverket Kongsberg)

Veggen må dekke hele det vannførende området. Den bør gå litt ovenfor stedet der isen vanligvis dannes, slik at man unngå iskjøving ved inngangen til veggen. Veggen bør legges tett inntil løsmasser for å hindre kald trekk. Sidene på veggen bør også tettes slik at man hindrer gjennomtrekk. I bunnen av skjæringen kan veggen føres et stykke ned under grøfta for å hindre iskjøving. Vannet kan føres til grøfta, til lukket drenering eller stikkrenne.

Erfaring med tiltaket

Veggen som er bygget langs Sørlandsbanen hindrer iskjøving på en enkel og effektiv måte. Vannet renner frostfritt fra overgangen mellom berg og løsmasser i toppen av skjæringen, ned til grøfta. Erfaringen med den isolerte veggen er veldig god (Andersen, 2016). Det er ikke funnet andre eksempler på denne type vegger, men tiltaket bør egne seg godt i skjæringer med konsentrerte isproblemer.

Diskusjon

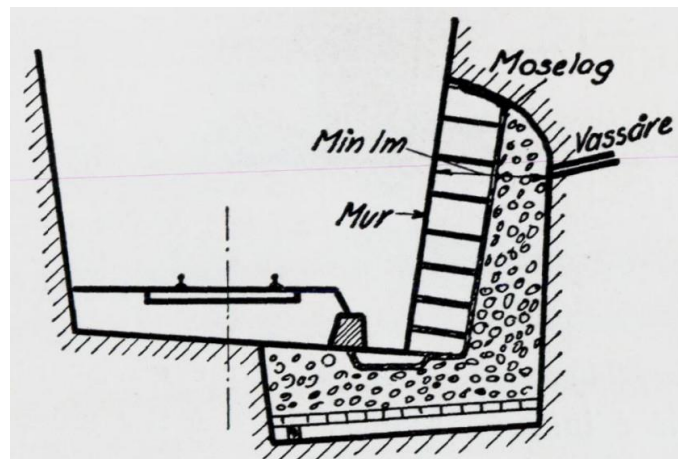
En enkel isolert vegg som beskrevet i dette kapittelet har mange fordeler. Tiltaket er enkelt og lett å tilpasse lokale forhold, ressurser og behov. Veggene kan tilpasses ujevn overflate og kan brukes i mer kupert terreng enn isolasjonsplater. Materialer og dimensjoner kan velges etter de ressurser man har, og tiltaket kan dermed gjøres nokså rimelig. En annen fordel er at tiltaket ikke krever tilgang ovenfor skjæringen, og dermed kan brukes i bratt terreng.

Det som begrenser bruken av isolerte vegger, er hovedsakelig tre ting. For det første må vannmengden være konsentrert, men ikke for stor. Dersom vannet er jevnt fordelt over lengre strekninger vil det være praktisk umulig å bygge en tett vegg. Bekker kan ikke isoleres på denne måten, da veggene raskt vil ødelegges av flommer om sommeren. For det andre har veggene en begrenset levetid og krever vedlikehold. Treverk vil over tid råtne og det må derfor påregnes reparasjoner. For det tredje gir veggene inntrykk av å være en midlertidig løsning og er ikke pen å se på.

8.3.3. Uisolert/isolert mur med lukket drenering i bergskjæring

Beskrivelse av tiltaket

Der grunnvann kommer ut i skjæringer i faste punkt kan det dannes mye is. Slike vannårer eller naturlige kilder kan føres ned til lukket drenering bak en mur. Målet er å etterligne den naturlige isolasjonen i jorda og hindre iskjøving fra grunnvannet. Tiltaket baserer seg på at grunnvann og overflatevann håndteres hver for seg. Overflatevann samles opp i åpen linjegrøft eller sidegrøft.



Figur 70) Skisse av en mur med drenerende materiale bak. Grunnvannet ledes ned til lukket drenering uten å eksponeres for kald luft (Heje, 1941).

Der grunnvannet renner ut i skjæringen lages det en mur, for eksempel i betong, murstein eller stein. Mellom muren og skjæringen fylles det opp med drenerende materiale der vannet kan renne. Figur 70 viser tiltaket, slik det er beskrevet av Heje (1941). Materialvalg er ikke spesifisert av Heje utover tegningen. Grus eller pukk er gode drenerende materialer og bør

fungere fint til å drenere vannet ned bak muren. Dersom det kun er plass til et tynt lag materiale mellom muren og fjellet, kan det brukes et isolerende materiale. Løs leca eller glasopor skumglass bør være gode alternativ. En annen mulighet kan være å bygge en mur med isolasjonsmateriale. Leca isoblokk og tilsvarende produkter med isolasjonsmateriale i murblokken kan sikkert benyttes til dette formålet. Det er mulig at en isolert mur ikke trenger drenerende materiale på baksiden, at det er tilstrekkelig med et hulrom der vannet kan renne.

Over muren og isolasjonen må det lages et vanntett tak. Taket dekkes med et lag med jord eller annen form for isolasjon. Dette er viktig for å hindre overflatevann i å renne inn bak muren. Overflatevann kan tette det drenerende materialet med sedimenter og vegetasjon. I bunnen av skjæringen må vannet må føres ned i lukket drenering som illustrert i Figur 70. Vannet kan enten ledes langs vegen eller jernbanen i lukket drengroft, eller føres rett under vegen eller jernbanen. Vannet bør ikke slippes ut i åpen grøft eller stikkrenne, siden faren for iskjøving i grøfta da vil være stor.

Denne løsningen er aktuell der vannet kommer fra konsentrerte årer eller sprekker i fjellskjæringer. Siden muren tar litt plass i profilet kan det være vanskelig å benytte løsningen i trange skjæringer. Da må tiltaket kombineres med en isnisje eller utvidelse av skjæringen slik at det blir bedre plass. Dette er vist i Figur 70.

Erfaring med tiltaket

En uisolert mur med lukket drenering er anbefalt i Hejes bok om veg og jernbanebygging fra 1941. Etter hans erfaring er slik isolering den beste måten å unngå iskjøving fra konsentrerte vannårer i fjellet på. Selv om dagens jernbane og veger er modernisert i denne tiden, vil tiltaket mest sannsynlig fungere utmerket den dag i dag også. Der er imidlertid ikke funnet noen eksempler på denne typen murer.

Diskusjon

En mur med lukket drenering ser ut til å være en god løsning for å unngå iskjøving fra konsentrerte vannårer. I tillegg til god effekt har løsningen mange andre fordeler. For det første vil muren holde grunnvannet adskilt fra overflatevann. Dermed unngår man problemer med at det drenerende materialet tettes av sedimenter eller vegetasjon. For det andre er løsningen solid og holdbar, med lite vedlikehold. En stein- eller betongmur vil holde mye lengre enn isolasjonsplater eller enkle vegger av tre, som beskrevet i kapittel 8.3.1. og 8.3.2. For det tredje vil muren gi et godt visuelt inntrykk, særlig hvis den lages i mur eller stein.

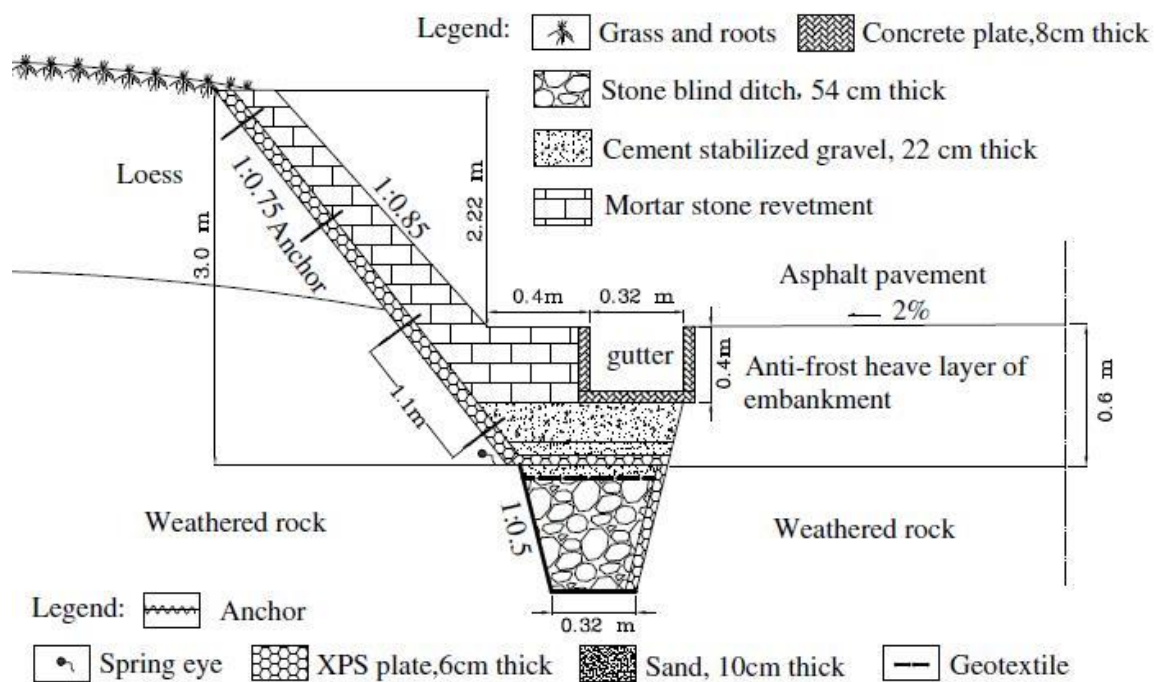
Ulempene med løsningen er at muren tar en del plass i profilet. I trange skjæringer kan det hende at det må lages en isnisje først. Siden det ikke er funnet eksempler på denne typen tiltak i arbeidet med denne oppgaven, er det vanskelig å fastslå kostnadene. Likevel er det grunn til å tro at dette tiltaket har en høyere investeringskostnad enn for eksempel isolasjonsplater.

8.3.4. Isolert mur med lukket drenering i jordskjæring

Beskrivelse av tiltaket

I jordskjæring som kutter gjennom vannførende lag kan en få problemer med iskjøving. Noen steder er det også naturlige kilder eller vannårer som kommer ut i jordskjæring eller -skråninger. I Vest-Kina er det testet et nytt tiltak for å unngå iskjøving i slike områder. Det er satt opp en mur med vanntette isolasjonsplater bak for å isolere vannet og føre det ned til lukket drenering. Tiltaket er utviklet av Yu et al. (2016).

En skisse av løsningen er vist i Figur 71. Før muren settes opp må skjæringen jevnes ut. Vannfaste, robuste isolasjonsplater av ekstrudert polystyren (XPS) festes i skjæringen. Over isolasjonsplaten bygges det en steinmur som fungerer som ytterligere isolasjon og forsterkning av skjæringen. Det er viktig at alle skjøter lages helt tette. Grunnvannet føres ned til en isolert, lukket drenering. Drensgrøfta er smal og dyp og er fylt med grov stein. Over grøfta er det sementstabilisert grus som danner et stabilt fundament for muren. For å samle overflatevann er det laget en dyp, åpen betonggrøft (Yu et al., 2016).



Figur 71) Grunnvannet føres bak en isolert mur ned i en isolert, lukket grøft. Overflatevannet samles i en dyp, åpen betonggrøft langs vegen (Yu et al., 2016).

Erfaring med tiltaket

Erfaringen fra Vest-Kina er god. Den isolerte vanntette muren og lukket drenering har blitt testet og overvåket i løpet av vinteren 2014/15. Temperaturmålinger i den lukkede dreneringen viste at vannet holdt seg frostfritt hele vinteren. Tiltaket forebygget iskjøving i

jordskjæringen og fungerte helt etter hensikten (Yu et al., 2016). Det er likevel viktig å merke seg at erfaringen med tiltaket er begrenset, og at det ikke er benyttet under norske forhold.

Diskusjon

Dette tiltaket bygger på det samme prinsippet som muren som ble beskrevet i kapittel 8.3.3. Grunnvannet holdes adskilt fra overflatevannet og ledes ned i en lukket drenering. Tiltaket kan egne seg i jordskjæringer der vann fra naturlige kilder eller jevnt fordelt grunnvann presses fram i dagen. Erfaringen så langt er god, og tiltaket har flere fordeler. Muren gir et godt visuelt inntrykk, er solid og bør ha lang levetid. Løsningen som er foreslått ovenfor, kan tilpasses til lokale forhold.

Det er også noen utfordringer og begrensninger ved dette tiltaket. Siden løsningen baserer seg på at grunnvannet renner nedover i løsmassene når det treffer den vannfaste isolasjonen, må permeabiliteten i løsmassene være god. Tiltaket kan derfor ikke benyttes i tette løsmasser, som leire, silt og morene, uten endringer i designet. En mulighet kan være å legge et drenerende gruslag mellom jordskjæringen og de vannfaste isolasjonsplatene. Det er viktig å tenke på stabiliteten av skråningen og faren for erosjon mellom jordskjæringen og muren. I tillegg er dette mest sannsynlig et dyrt tiltak.

8.4. Utvidelse av skjæringer

Utvidelse av skjæringer vil ikke redusere mengden is, men kan redusere problemene isen skaper. Det er i hovedsak tre muligheter: Lokal utvidelse av skjæringen (isnissje), utvidelse av hele skjæringen eller flytting av vegen eller jernbanen. De to første tiltakene beskrives i dette kapitlet.

8.4.1. Isnissjer

Beskrivelse av tiltaket

En isnissje er en nisje i skjæringen som gir større plass til iskjøving. Isnissjen sprenges eller pigges ut i skjæringen der det dannes konsentrerte iskjøvinger. Dette reduserer problemer med is som kommer i vegen for tog eller hindrer sikten for bilister. Nissjene kan også forebygge iskjøving ut i vegbanen eller skinnegangen, siden avstanden til skjæringen er større. Størrelsen på nissjene tilpasses lokale forhold og forventet ismengde.



Figur 72a) Isnisje utenfor Hjartåsen tunnel (Nordlandsbanen) reduserer mengden is inn i skinnegangen. Foto: A. Liereng (15.3.16). b) Isnisje i Teveldalen (Meråkerbanen) reduserer problemene med is inn i profilet for togene. Foto: A. Liereng (19.2.16).

Erfaring med tiltaket

Figur 72 viser to eksempler på isnisjer i trange skjæringer. Det første bildet er tatt utenfor Hjartåsen tunnel på Nordlandsbanen. Tidligere kom det is inn i sporet fra en vannførende sprekk i skjæringen. For å gi isen større plass ble det laget en isnisje, ca. 6 m bred og 5 m dyp. Nisjen fungerer godt og reduserer problemene med isen betraktelig. Snøbrøyting fyller raskt opp nedre del av isnisjen med snø. Dette isolerer vannet og reduserer også mengden is i grøfta Skonseng (2016). Stedet er nærmere beskrevet i Vedlegg 11C.

Figur 72b viser en isnisje ved Teveldalen på Meråkerbanen. Før utvidelsen kom isen inn i profilet for toget, slik at den måtte hogges ned fra skjæringen. Utvidelsen av skjæringen har ført til mye mindre problemer med iskjøvingen. Selv om ismengden er like stor som før, kommer isen lenger unna sporet og togene. Vedlegg 5K beskriver stedet.

Diskusjon

Erfaringen med isnisjer er god, og dette er et enkelt og rimelig alternativ til å utvide hele skjæringen. Isnisjer er best egnet i skjæringer der isen skyldes konsentrert grunnvann fra naturlige kilder eller sprekker i berget. Nisjene kan også fungere for jevnt fordelt grunnvann i skjæringen, men da må det lages flere nisjer. Isnisjer er mindre egnet der isen dannes fra en bekk som renner ut over skjæringen. Det kan oppstå store mengder is fra bekker med kontinuerlig vannføring, og det er vanskelig å lage store nok nisjer. Konsentrert overflatevann fra bekker bør heller føres ned i smale og dype nedføringsrenner som beskrevet i kapittel 8.2.1. Ulempen med isnisjer er at de sjelden reduserer mengden iskjøving. Problemene med iskjøving i grøfta langs vegen eller jernbanen kan være like store som før. Dersom skjæringen og nisjen er høy kan det fortsatt oppstå problemer med isras om våren.

8.4.2. Utvidelse av skjæring, brede grøfter

Beskrivelse av tiltaket

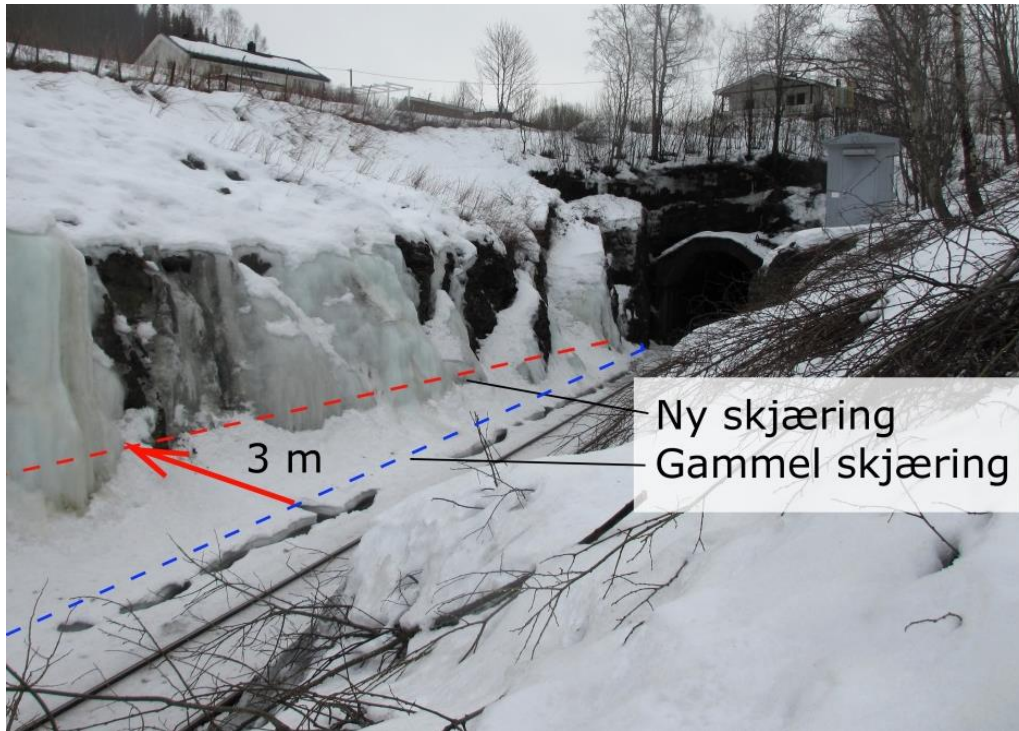
Trange skjæringer langs vegen eller jernbanen kan utvides for å redusere problemene med iskjøving. Resultatet er en bred grøft mellom skjæringen og vegen eller jernbanen. En slik utvidelse kan gi isen større plass, forbedre sikten i kurver, hindre is i å komme inn i profilet for togene og fange opp isras.

I skjæringer som er utsatt for isras er det høyden og helningen på skjæringen samt mengden is som avgjør hvor mye skjæringen må utvides. I følge Norem (1998) vil fanggrøfter som er dimensjonert for å fange opp steinsprang normalt være brede nok til å fange opp isras også. Kravene til bredde og dybde for fanggrøfter langs veger finnes i håndbok N200 Vegbygging (Statens vegvesen, 2014b: 69). For jernbane finnes kravene til fanggrøfter i Teknisk regelverk (Jernbaneverket, 2016a: Kap 6.1). Kravene til bredde og dybde øker med økende helning og høyde på skjæringen. I skjæringer som ikke er utsatt for isras, men har problemer med dårlig sikt eller is inn i profilet for togene, er det normalt ikke nødvendig med så brede grøfter. Her kan skjæringen utvides etter behov.

Erfaring med tiltaket

Skjæringer med brede fanggrøfter har vist god effekt for å samle opp isras. Brede grøfter reduserer dermed behovet for tilsyn og fjerning av is i skjæringene. Nedenfor lave og moderat høye skjæringer har brede grøfter god effekt mot isras alene. Ved høye og bratte skjæringer med fare for isras bør brede grøfter kombineres med andre tiltak, for eksempel isnett eller terrenggrøfter. Utvidelser av skjæringene har i tillegg positive effekter for trafikksikkerhet, siden det blir bedre sikt og større avstand til bergveggen (Norem, 1998).

På Nordlandsbanen har de utvidet en trang skjæring ved Dalsklubben tunnel, like sør for Mo i Rana. Tidligere måtte det hakkes mye is fra den trange skjæringen for å sikre framkommelighet for togene. For å redusere problemene ble skjæringen utvidet med tre meter som vist i Figur 73. I følge Skonseng (2016) har tiltaket fungert bra. Det er fortsatt mye is i skjæringen, men isen skaper færre problemer for togene. Utvidelsen av skjæringen er her kombinert med varmekabel i grøfta. Dette diskuteres nærmere i kapittel 9.2.2.



Figur 73) Skjæringen utenfor Dalsklubben Tunnel, Nordlandsbanen er utvidet med 3 m. Blå stiplet linje viser plassering av tidligere skjæring, mens rød stiplet linje viser dagens skjæring.

Diskusjon

Mange av problemene med iskjøving i skjæringer oppstår i trange skjæringer med smale grøfter. Skjæringer utenfor tunnelportaler er et typisk eksempel. I slike områder vil små ismengder kunne skape store problemer. Selv en liten utvidelse av skjæringen kan redusere problemene med iskjøvingen betraktelig.

Det er likevel noen viktige argumenter mot å utvide skjæringer. For det første kan utvidelsen av skjæringen øke omfanget av iskjøving i grøfta. Denne problemstillingen diskuteres nærmere i kapittel 9.1.1. For det andre vil utvidelsen av skjæringen ofte medføre høyere og lengre skjæringer. Dette kan øke omfanget av iskjøving i skjæringen samt øke utløpslengden for isras. Høyere skjæringer kan også gi problemer med stabilitet, erosjon, jordskred og steinskred. Det er dermed viktig at man gjør en helhetlig vurdering av stabiliteten før skjæringer utvides, slik at man ikke gjør forholdene verre enn før. Utvidelse av høye og lange skjæringer kan også være et kostbart tiltak.

8.5. Barrierer mot iskjøving

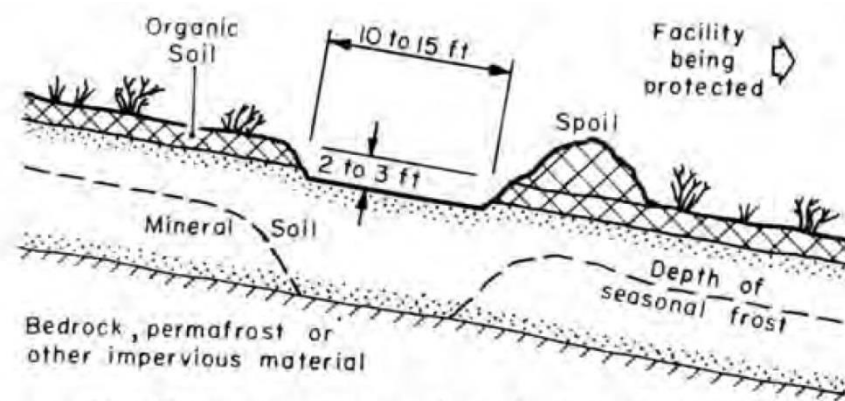
Barrierer kan brukes for å få isen til å samles et sted den ikke skaper problemer for vegen eller jernbanen. Dette kapittelet beskriver to typer barrierer: Frostbelter og isgjerder. Frostbelter plasseres et godt stykke unna infrastrukturen, mens isgjerder plasseres rett ved vegen eller jernbanen.

8.5.1. Frostbelter

Beskrivelse av tiltaket

Frostbelter kan brukes for å redusere problemene med iskjøving fra grunnvann i skjæringer, skråninger og grøfter langs veg og jernbane. Prinsippet bak tiltaket er å stanse grunnvannstrømningen i jorda om vinteren og få vannet til å kjøve der frostbeltet er plassert. Dette vil redusere iskjøvingen fra grunnvann langs vegen eller jernbanen. Tiltaket ble utviklet av V.G. Petrov i 1930 og ble mye benyttet i Sovjetunionen.

Frostbelter kan være permanente eller midlertidige. Permanente frostbelter lages ved å fjerne vegetasjonen og topplaget av jord i en bred stripe parallelt med vegen eller jernbanen som skal beskyttes. Midlertidige frostbelter lages enkelt ved å brøyte vekk snø i en stripe parallelt med vegen i den første halvdel av vinteren. Når isolasjonen i jorda reduseres på denne måten vil frosten trenge dypere ned i bakken enn i områdene rundt, se Figur 74. Dette vil hindre grunnvannet og overflatevannet som renner i de øvre løsmasselagene i å strømme videre nedover. Vannet vil presses til overflaten og fryse der frostbeltet er plassert. Jorda eller snøen om fjernes, legges som en voll på nedstrøms side av frostbeltet. Dette vil virke som en barriere for isen som dannes.

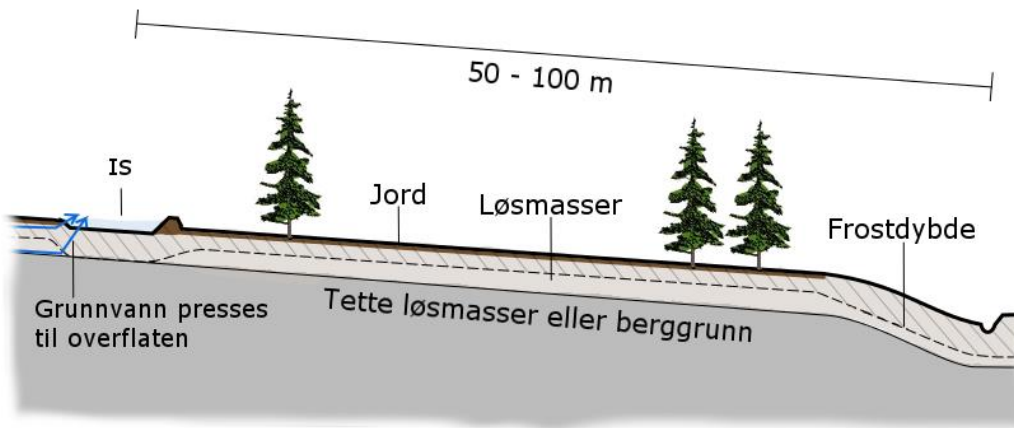


Figur 74) Prinsippskisse av et frostbelte (Carey, 1973).

Dimensjonene på frostbeltet avhenger av lokale forhold som topografi, vanntilgang og dybde til tett løsmasselag eller fjell. I følge Carey (1973) bør frostbeltet være omtrent 60 – 90 cm dypt og 3 – 4,5 m bredt. Frostbeltet plasseres vinkelrett på strømningsretningen på grunnvannet. Avstanden mellom vegen eller jernbanen og frostbeltet må velges ut fra de lokale forhold, men kan for eksempel være 50 – 100 m. Plassering av frostbelter er illustrert i Figur 75. Beltet kan bare plasseres i slakt terreng. Et frostbelte i bratt terreng vil skape stor fare for isras.

For å beskytte vegen eller jernbanen må frostbeltet være minst like langt som området der isen pleier å dannes. Beltet kan legges parallelt med infrastrukturen, men det er da fare for at vannet bare renner rundt frostbeltet. En bedre løsning er å lage frostbeltene konvekse (sett

ovenfra) slik at det blir vanskeligere for vannet å renne rundt. Eventuelt kan to rette segmenter plasseres slik at de møtes i en 160 – 170 graders vinkel i midten av dalen. Midten på frostbeltet, eller punktet der de to frostbeltene møtes, ligger dermed nærmest infrastrukturen, mens endene på frostbeltene ligger lenger unna (Chekotillo, 1946).



Figur 75) Frostbeltet tvinger grunnvannet til overflaten et stykke unna vegen eller jernbanen.

Erfaring med tiltaket

Det er ikke funnet eksempler på at frostbelter benyttes i Norge i dag. I følge russisk og amerikansk litteratur har man blandede erfaringer med tiltaket. Der forholdene ligger til rette for det, fungerer de utmerket, til en svært lav investeringskostnad. Ulempen er at de ikke har noen effekt dersom forholdene ikke er egnet. Det er mange dårlige erfaringer med tiltaket, fordi man ikke har undersøkt forholdene godt nok. Selv om frostbeltene er enkle tiltak krever de mye kunnskap og erfaring for å lykkes (Carey, 1973).

Frostbelter er et alternativ til terrenggrøfter, men har mer begrensede bruksområder. Vannmengden må være liten, eller så må det være stor plass tilgjengelig for å lagre is. Det er også viktig at terrenget er slik at vannet ikke ledes rundt frostbeltet og flytter problemet (Eager og Pryor, 1945). Frostbelter bør ikke brukes dersom terrenget er bratt eller dersom grunnvannet kan lagres mellom vegen og frostbeltet.

Diskusjon

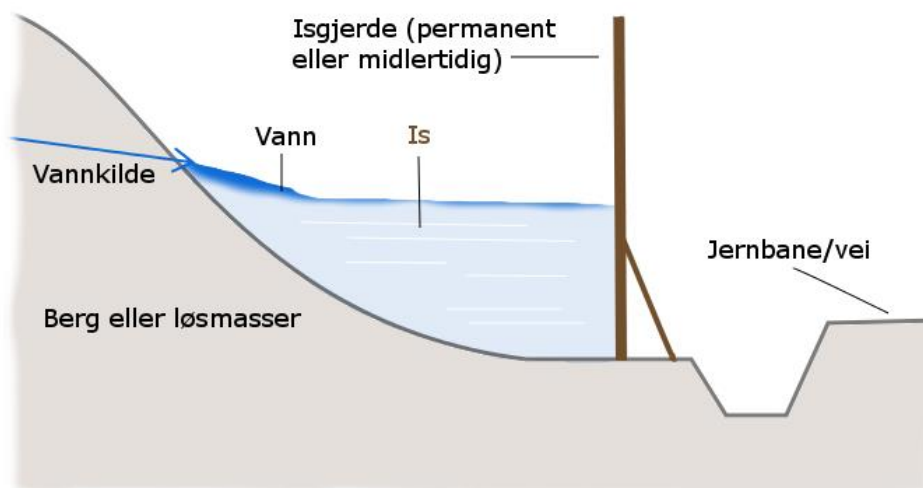
Frostbelter har flere fordeler: Investeringskostnaden er lav, og tiltaket krever ikke så store inngrep i terrenget. I tillegg endres ikke de naturlige hydrologiske forholdene i bakken sommerstid. Dermed unngår man de negative konsekvensene drenering kan få for naturen. Det er likevel mange utfordringer og ulemper ved tiltaket. For det første har frostbeltene begrenset bruksområde og mange forutsetninger som må være til stede for å lykkes. Det kreves undersøkelser av vannkilden og grunnforholdene i området. For det andre kan isen være en utfordring når våren kommer. Smeltevannet må samles i grøfter og ledes bort på kontrollert vis, eller er det fare for erosjon i terrenget. For det tredje krever tiltaket jevnlig

vedlikehold. Vegetasjon og jord må ryddes vekk fra frostbeltet og eventuell snø må måkes vekk i starten av vinteren. Sist, men ikke minst, er det en stor risiko for at frostbeltet bare leder vannet til et nytt sted langs vegen eller jernbane og dermed flytter problemet.

8.5.2. Isgjerder

Beskrivelse av tiltaket

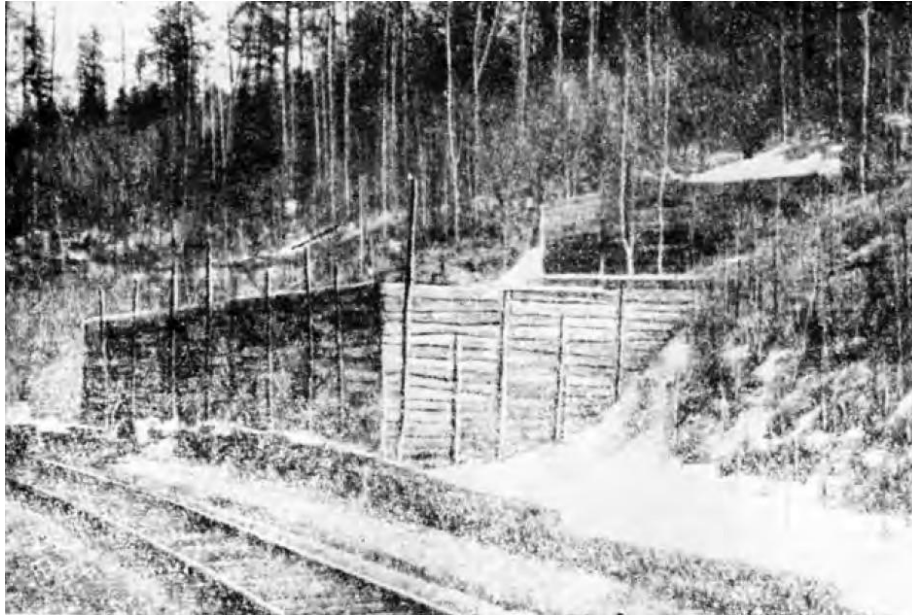
Isgjerder brukes for å holde iskjøving fra sideterreng unna vegen eller jernbanen. Målet er å få isen til å bygge seg opp på baksiden av gjerdet. Figur 76 viser en prinsippskisse av tiltaket. Gjerdet må være så høyt at isen ikke kommer over, og så bredt at vannet ikke renner rundt. Gjerdene kan være permanente eller midlertidige. Dersom gjerdet er permanent, kan det for eksempel lages av tre eller stål. Midlertidige gjerder settes opp ved behov og kan lages av plast, tre eller andre materialer. Gjerdet trenger ikke være så sterkt, siden det kun er en liten mengde vann som presser på gjerdet til enhver tid. Det er viktig at det er nok lagringsplass bak gjerdet. Hvis dette ikke er tilfellet må området graves ut eller utvides (Carey, 1973). Figur 77 viser et isgjerde som holder isen unna grøfta langs jernbanesporet.



Figur 76) Prinsippskisse av isgjerder.

Erfaring med tiltaket

Isgjerder anbefales av blant annet Ghiglione (1948) og Carey (1973), men det er ikke funnet eksempler på at dette brukes i Norge i dag. Isgjerder kan fungere godt og redusere mengden is inn i grøfter, vegbanen eller skinnegangen. Gjerdene vil derfor være en avlastning for vedlikeholdspersonell. Et vanlig problem med isgjerder er at vann renner under eller gjennom gjerdet og forårsaker iskjøving mot vegen eller jernbanen likevel.



Figur 77) Isgjerde langs sovjetisk jernbanelinje (Carey, 1973).

Diskusjon

Isgjerder er mest aktuelt der isen kommer ut i vegbanen eller skinnegangen. Tiltaket egner seg i slakt terreng eller nedenfor skrånninger der det er god plass til å lagre is. Det må være nok plass til lagring av is mellom gjerdet og vannkilden. Isgjerder egner seg derfor ikke i trange skjæringer. Iskjøving fra konsentrerte vannkilder bør ikke samles bak isgjerdene, da ismengden ofte blir for stor til å lagres.

Det er flere fordeler med isgjerdene. Gjerdene kan redusere behovet for tilsyn og fjerning av is gjennom vinteren, både i grøfter og i vegbanen eller skinnegangen. Dette er også et fleksibelt, enkelt tiltak som verken krever forundersøkelser eller større inngrep i terrenget. Gjerdene kan enkelt tilpasses ulike lokale forhold og vil fungere for flere vannkilder. Investeringskostnaden for isgjerdene vil være nokså lav. Det er dermed mulig å prøve tiltaket uten stor risiko.

Isgjerder har også noen ulemper. For det første reduserer ikke gjerdene mengden is og det må dermed være stor lagringskapasitet bak gjerdene. Det er også viktig å utforme gjerdet og området rundt slik at smeltevannet om våren ledes vekk uten å skade vegen eller jernbanen. En annen ulempe er at gjerdene har begrenset levetid og krever en del vedlikehold. Isgjerder bør regnes som en «siste utveg» dersom andre forebyggende tiltak feiler.

8.6. Sikringstiltak mot isras

Iskjøving i bratt terreng kan forårsake isras om våren. Der det er vanskelig å gjøre forebyggende tiltak for å hindre iskjøving, kan det være nødvendig å vurdere andre tiltak. Sikringstiltak forebygger ikke iskjøving, men reduserer sannsynligheten for isras betraktelig. Dette kapittelet gir en kort beskrivelse av isnett og andre sikringstiltak i skjæringer og fjellsider. Disse tiltakene brukes mye langs norske veger og jernbaner.

8.6.1. Isnett

Beskrivelse av tiltaket

Isnett skal hindre is i skjæringer i å rase ut i mildværsperioder. Dette reduserer risikoen for isras betraktelig. Isnettet monteres med fjellbolter i skjæringen. I motsetning til steinsprangnett festes ikke isnett helt inntil bergveggen. Nettet plasseres isteden et stykke ut fra berget slik at isen kan vokse rundt nettet på begge sider. Dette vil armere isen fast til berget som vist i Figur 79.

Isnettet må begynne 1 – 2 m ovenfor stedet der iskjøving pleier å begynne. Det er viktig at nettet holdes opp fra berget slik at isen armeres helt fra toppen. Nettet bør avsluttes 2 m over grøfta. Dette reduserer sannsynligheten for at nettet blir skadet av maskiner, for eksempel i forbindelse med fjerning av is i grøfta. I topp og bunn av nettet tres det en vaier, som festes med fjellbolter som vist i Figur 78a.



Figur 78a) Nettet avsluttes med en vaier som tres gjennom nettmaskene og boltes fast i berget. Nettet brettes tilbake over waieren og festes. b) Isen vokser fra nettet, slik at vann kan renne på baksiden av isen. Begge foto: A. Liereng.

Det benyttes et sekskantnett av stål. Trådene er galvanisert og dekket av et plastbelegg (PVC) for å hindre korrosjon. Nettene monteres mot fjellet med avstandsbolter. Avstanden mellom bergvegg og nett bør være omtrent 20 -30 cm for størst effekt. Lengden på boltene må tilpasses bergoverflaten slik at nettet blir hengende jevnt. Boltene plasseres i et femkormønster med omtrent 3 m mellom hver av hjørneboltene, og en bolt i midten. Mønsteret tilpasses lokale forhold (Norem, 1998).

Det er viktig at boltene er store og lange nok til å motstå kreftene på isnettet. Norem (1998) anbefaler 60 – 120 cm lange bolter med diameter 16 mm. Ingeniørgeolog Audun Langelid anbefaler boltediameter 32 mm der en har store mengder is (Langelid og Norem, 2016). For svake bolter kan føre til deformasjoner og i verste fall at nettet løsner fra berget. Figur 78b viser en underdimensjonert fjellbolt som har begynt å bøye seg under vekten av isen.

Erfaring med tiltaket

Isnett er et av de mest effektive sikringstiltakene mot isras. Nettene anbefales av blant annet Norem (1998) og i Håndbok N200 (Statens vegvesen, 2014b). Så lenge nettet monteres korrekt og er riktig dimensjonert i forhold til ismengden, gir de en stor trygghet mot isras. Tiltaket krever ikke tilgjengelighet ovenfor skjæringen og kan brukes i bratt terreng. Det er imidlertid viktig at nettene ikke brukes i for slakt terreng. Da kan isen presse nettet ned til berget og føre til at nettet mister sin funksjon. Isnett bør ikke brukes ved helninger under 60 ° (Norem, 1998).

Isnett egner seg best i områder der det er jevnt fordelt overflate- eller grunnvann som er årsaken til iskjøvingen. Nettene bør ikke brukes der vannføringen er stor, for eksempel ved bekker eller grunnvannskilder, siden vannet vil ødelegge plastbelegget på ståltrådene. Levetiden vil dermed bli kortere. I tillegg kan ismengdene ved bekker og kilder bli så store at nettet ikke klarer å armere all isen fast til berget.

Langs E39 ved Vinjefjorden, Møre og Romsdal er det satt opp isnett i en høy og lang skjæring. I følge Skålvik (2016) fungerer nettene veldig godt. Fv 651 mellom Rjukan og Gaustablikk (Telemark) er også sikret med isnett over en lengre strekning. Strekningen var tidligere sterkt utsatt for isras. Nettene har redusert problemene betraktelig (Langelid og Norem, 2016). I tillegg til å armere isen, kan nettene redusere mengden iskjøving. Dette skyldes at vann kan renne mellom berget og isen i nettet som illustrert i Figur 78b.

8.6.2. Andre sikringstiltak

I tillegg til isnett finnes det flere sikringstiltak mot isras. Støtteforbygninger, murer eller gjerder kan brukes for å holde isen på plass i skrånende terreng ovenfor vegen eller jernbanen. Slike tiltak har størst effekt dersom isen sklir langs glatt svaberg eller liknende i helninger mellom 30 og 70°. Dersom helningen blir for bratt vil ikke støtteforbygningen holde isen tilbake. I bratt terreng er isnett eller fanggjerder et bedre alternativ (Norem, 1998).

Fanggjerder kan brukes for å stanse steinsprang og isras i bratte fjellsider. Gjerdene plasseres ovenfor infrastrukturen som skal beskyttes. Tiltaket egner seg godt i områder som ikke kan sikres på annen måte, for eksempel på grunn av manglende tilgjengelighet. Figur 79 viser et fanggjerde som er satt opp ovenfor Fv 651 i Rjukan, Telemark. Gjerdet stanser isras som løsner lenger opp i fjellsiden.



Figur 79) Fanggjerdar plasseres ovenfor infrastrukturen som skal beskyttes mot isras fra bratte fjellsider. Tiltaket kombineres ofte med isnett i skjæringen. Fv 651 (Telemark). Foto: A. Liereng

Der problemene med isras er spesielt store kan det være aktuelt å bygge voller mellom infrastrukturen og løснеområdet. Vollene vil samle isen og lede den til et område der den ikke skaper problemer. Ved Raudberget på Nordlandsbanen er det laget en voll mellom fjellsiden og jernbanelinja som skal stanse isras. Se Figur 80 for bilder. I tillegg er det satt opp et rasvarslingsgjerd som registrerer eventuelle isras som kommer ut i sporet. Dette er et meget kostbart og omfattende tiltak, men det gir god sikring mot isras.



Figur 80a og b) Fjellsiden er sikret mot steinsprang og isras med voll, rasvarslingsgjerde og isnett. Raudberget, Nordlandsbanen. Foto: A. Liereng (15.3.16).

9. Tiltak mot iskjøving i grøfter og stikkrenner

Tiltakene som beskrives i dette kapitlet har som mål å redusere problemene med iskjøving i grøfter. Iskjøving i grøfter har ofte sammenheng med iskjøving i stikkrenner. Derfor gis det også en kort beskrivelse av forebyggende tiltak mot iskjøving i stikkrenner og metoder for å tine stikkrenner. Tiltakene kan deles i fire ulike strategier:

- 1) Gjøre tiltak i sideterreng for å redusere iskjøving inn i grøftene (se kapittel 8).
- 2) Utforme grøfter og stikkrenner slik at sannsynligheten for iskjøving reduseres
- 3) Sette i verk forebyggende tiltak som hindrer iskjøving
- 4) Forebyggende drift og vedlikehold for å redusere problemene isen skaper

9.1. Utforming av grøfter og innløp til stikkrenner

9.1.1. Utforming av grunne overvannsgrøfter

Veger som bygges med lukket drenering har grunne sidegrøfter for å samle overflatevann. Håndbok N200 (Statens vegvesen, 2014b) beskriver vanlig utforming av grøftene. Dette er en gunstig løsning med tanke på trafikksikkerhet ved utforkjøring, Grøftene har imidlertid en uheldig utforming med tanke på iskjøving. Siden bunnen på grøfta er bred, og sidene slake, vil vannet renne sakte og ha et stort varmetap. Erfaring viser at grøfter som er grunnere enn 30 cm er utsatt for iskjøving. Grøftedybden bør være minst 0,5 m (Norem et al., 2016).

Det er viktig at grøftene har tilstrekkelig fall i lengderetningen. Håndbok N200 setter minimumskrav for lengdefall på 5 ‰ (Statens vegvesen, 2014b). For å hindre at vann demmes opp er det viktig at fallet opprettholdes. Dersom enkelte partier i grøfta er for flate, vil vannet begynne å fryse der ved kaldt vær. Dette kan demme opp vannet og forårsake iskjøving. Erfaring tilsier at for lite fall øker sannsynligheten for iskjøving. Fallet i grøfta kan dermed med fordel økes utover minimumskravet. For stort fall øker sjansen for erosjon, så det er viktig å balansere disse hensynene.

9.1.2. Utforming av dype sidegrøfter

Langs jernbaner og veger utenfor tettbygde strøk er det vanlig med åpne sidegrøfter istedenfor lukket drenering. Jernbaneverkets tekniske regelverk gir krav til åpne linjegrøfter langs jernbanen. Grøftebunn skal være minst 0,5 m under formasjonsplanet. Bunnbredden ved nye anlegg skal være 0,5 m (Jernbaneverket, 2016b). Håndbok N200 gir krav til dybde og sidehelning på grøftene langs veger: Grøftebunnen skal være minimum 0,35 m under forsterkningslaget og sidehelningen skal ikke være større enn 1:2 (Statens vegvesen, 2014b).

Det er viktig at grøftene har tilstrekkelig fall i lengderetningen. Både Jernbaneverket og Statens vegvesen krever minimum 5 ‰ fall i grøftene (Jernbaneverket, 2016b, Statens vegvesen, 2014b). Fallet kan med fordel økes. Fallet bør være så jevnt som mulig, uten flate partier der vannet bremses opp. Oppdemming av vann kan føre til iskjøving.

9.1.3. Plassering av stikkrenner

Stikkrenner er utsatt for iskjøving. Vannet kan fryse ved innløpet til stikkrenna, i selve stikkrenna eller ved utløpet av stikkrenna. Dersom stikkrenna går tett blir det gjerne iskjøving i grøftene også. Det er derfor viktig å se på utformingen av grøfter og stikkrenner i sammenheng, og forsøke å unngå iskjøving i stikkrennene.

Med tanke på iskjøving bør stikkrenne ligge så skjermet som mulig. Stikkrennene bør derfor gjerne plasseres dypt (Nordal, 1965). Vannet bør kanaliseres inn mot stikkrenna og helningen bør være så stor at vannet ikke bremses på veg inn i stikkrenna. Store, grunne sedimentasjonsbasseng kan forårsake mer iskjøving, særlig hvis vannet spres utover et stort område. Det er likevel viktig å balansere dette med andre hensyn. For dype stikkrenner kan tettes igjen av sedimenter og vegetasjon om sommeren. Bildene nedenfor viser et eksempel på en godt utformet stikkrenne uten problemer med iskjøving:



Figur 81a og b) Eksempel på godt utformet bekkeløp og innløp til stikkrenne langs Tann-Annolsetervegen. Bekken renner i en dyp og smal nedføringsrenne. Det var ingen iskjøving i stikkrenna vinteren 2015/16. Foto: A. Liereng (20.9.15).

Utløpet til stikkrenna bør også ligge skjermet. Røret bør ikke stikke ut av underbygningen, da dette øker sannsynligheten for iskjøving ved utløpet (Carey, 1977). Vannet bør føres i en konsentrert og skjermet kanal fra stikkrenna slik at iskjøving på nedstrøms side unngås. Figur 14 viser et uheldig eksempel, der utløpet av stikkrenna stikker ut av vegunderbygningen.

Dimensjonen på stikkrenna må tilpasses vannføringen sommerstid og mengden iskjøving om vinteren. Det tar lenger tid å fylle en stor stikkrenne med is, så stikkrenne bør være ganske stor. Dimensjonen må likevel ikke være så stor at man får trekk eller vind gjennom stikkrenna. Dette kan øke tendensen til iskjøving betraktelig.

Der en har problemer med igjenfrosne stikkrenner er det ofte bedre å benytte to eller flere stikkrenner. En stikkrenne ligger dypt og er dimensjonert for stor vannføring sommerstid. Den ekstra stikkrenna plasseres høyere enn hovedstikkrenna. Denne vil ta unna vintervannføringen og vårflommer når hovedstikkrenna er fylt med is (Carey, 1973). For eksempler på bruk av ekstra stikkrenner, se Figur 85 fra Nordlandsbanen samt vedlegg 5C fra Meråkerbanen.

9.2. Forebyggende tiltak mot iskjøving

9.2.1. Lage dypere grøft

Beskrivelse av tiltaket

Der man har problemer med at iskjøving fyller igjen grøftene kan det være en løsning å utvide grøftene. En dypere grøft vil redusere vannets varmetap til omgivelsene, og dermed redusere sannsynligheten for iskjøving. I tillegg vil man få større lagringskapasitet for is, og det vil ta lenger tid før isen fyller grøfta og kommer ut i vegbanen eller sporet. I tillegg til å grave ut grøfta, må stikkrenner, rister og kummer senkes tilsvarende.

Erfaring med tiltaket

På E39 langs Vinjefjorden hadde de ekstremt store isproblemer i de grunne overvannsgrøftene langs vegen. Vannet frøs rundt ristene over kummene og førte til iskjøving i hele grøfta og vegbanen. For å utbedre situasjonen ble grøftene gravd dypere. Dybden var i utgangspunktet omtrent 20 cm, men ble økt til 40 – 50 cm. Effekten av utvidelsen har vært meget god, og det har nesten ikke vært problemer med is siden (Skålvik, 2016). Området er nærmere beskrevet i Vedlegg 8.

Diskusjon

Erfaring tilsier at dype, smale grøfter forebygger iskjøving og reduserer problemene isen skaper. Det er dermed et effektivt tiltak å grave grunne grøfter dypere. Langs veger er grøftedybden et kompromiss mellom hensyn til iskjøving og hensyn til trafikksikkerhet. For å redusere faren ved utforkjøringer lages det helst grunne grøfter langs høytrafikkerte veger. Det er ikke ønskelig med dype og smale grøfter, med mindre det settes opp rekkverk. Det er viktig å huske på at iskjøvingen kan utgjøre en like stor fare for trafikantene som utforkjøring i dype grøfter. Is og vann i vegbanen kan skape mange farlige situasjoner.

Grøftetversnittet må også tilpasses sommersituasjonen med store vannmengder. Om sommeren er det viktig at grøftene har stort nok tverrsnitt til å takle vanlig nedbør og flomsituasjoner. Det er også viktig at sidene på grøfta ikke er for bratte. Bratte sider kan føre til utglidninger og erosjon, som øker behovet for vedlikehold.

9.2.2. Varmekabel i grøfta

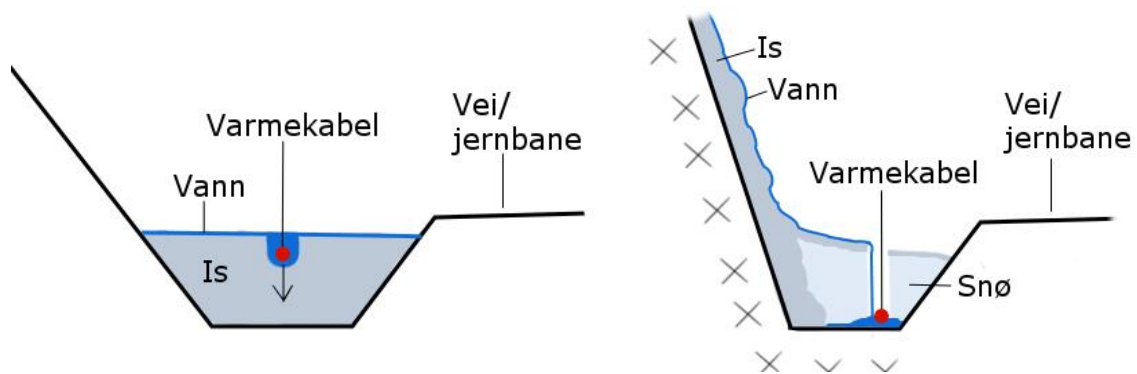
Beskrivelse av tiltaket

Elektriske varmekabler kan brukes som et forebyggende tiltak mot iskjøving i grøfter. Når varmen er slått på, vil kablene smelte en åpen kanal eller stripe i isen der vannet kan renne. Varmekabler kan benyttes i alle typer grøfter, både sidegrøfter langs veg og jernbane og terrenggrøfter. Kablene kan brukes for å redusere to problemer i grøftene:

- 1) Is som vokser fra bunnen av grøfta og hindrer drenering.
- 2) Is som legger seg som et lokk over snøen i grøfta og leder vann ut i vegbanen eller sporet.

For det første problemet vil formålet med varmekabelen være å lage en kanal i isen der vannet kan renne fritt. Figur 82a viser hvordan varmekabelen smelter seg ned i isen. Varmekabler er godt egnet til dette formålet i både grunne sidegrøfter og i åpne terrenggrøfter. Dersom varmekabelen føres fram til stikkrenner, rister og kummer, kan den også bidra til å holde disse åpne gjennom vinteren.

I grøfter som fylles med is fra siden, eller der isen legger seg som et lokk over grøfta, kan varmekablene brukes for å lage en åpen stripe i grøfta. Figur 82b viser hvordan vannet ledes ned i grøfta, istedenfor ut i vegbanen eller sporet. Vannet vil renne frostfritt i bunnen av grøfta på grunn av varmen fra varmekabelen. Varmekabler er godt egnet i smale, grunne grøfter nedenfor fjellskjæringer.

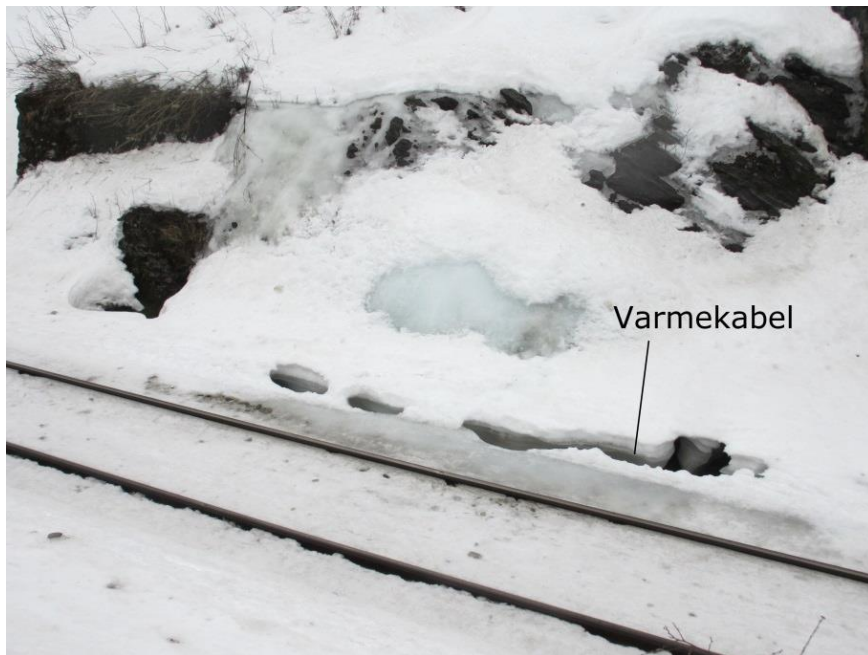


Figur 82a) I grøfter som er fylt med is fra bunnen kan varmekabelen smelte en åpen kanal for vannet. b) I grøfter nedenfor skjæringer kan varmekabelen lage en åpen stripe i grøfta som leder vannet ned.

Varmekablene kan ligge ute i grøftene permanent hele vinteren eller bare ved behov. Kablene kan være påslått hele vinteren, slås av og på etter behov eller styres av et automatisk system. Kablene kan plasseres i bunnen av grøfta før frosten kommer, eller legges ut etter at isen har fylt grøfta. Kabelen vil da smelte ned i isen og lage en åpen kanal for vannet. Tidspunkt for utlegging er ikke kritisk, det kan godt gjøres etter at isen har begynt å skape problemer.

Erfaring med tiltaket

På Nordlandsbanen er det benyttet varmekabler i flere grøfter, blant annet ved Dalsklubben tunnel. Her var problemet at isen la seg over snøen i grøfta og kom ut i sporet. For å redusere problemene legges det ut en varmekabel i grøfta hver vinter som vist i Figur 83. Varmekabelen er 70 – 80 m lang, med en effekt på 600 W. Kabelen kan kun slås av og på, og står på så lenge det er behov for det. I følge Skonseng (2016) fungerer varmekablene godt og reduserer problemene betraktelig.



Figur 83) Det er lagt ut varmekabel i grøfta utenfor Dalsklubben tunnel på Nordlandsbanen. Varmekabelen lager en åpen stripe i grøfta. Foto: A. Liereng (15.3.16).

I Narvik kommune har de også gode erfaringer med varmekabler langs vegene. Her er det benyttet varmekabler i stikkrenner, i asfalterte grøfter inn mot stikkrenner og ved viktige sluk og rister. Deres erfaring er at varmekablene er effektive og gir større trygghet. Kablene gir også betydelige økonomiske besparelser i forhold til manuell ishogging, ishøvling og dampstiming (Reitan, 2013).

Diskusjon

Varmekabler har mange fordeler. Varmekablene kan redusere problemene med iskjøving på en enkel måte uten tungt arbeid for driftspersonell. Tiltaket er fleksibelt og lett å tilpasse ulike steder. Det kreves ingen forundersøkelser for å finne årsaken til problemet. Det er ikke krav til verken tilgjengelighet i terrenget, spesielle maskiner eller mye kunnskap for å lykkes.

Den største begrensingen for tiltaket er behovet for strøm. Dersom iskjøvingen oppstår i nærheten av tunneler, stasjoner eller andre steder med strømtilgang, er det enkelt. Ellers kan strømforsyning være en utfordring mange steder i Norge. Det er mulig å benytte aggregat i korte perioder. Varmekablene kan skades av maskiner, stein eller liknende, og levetiden er

begrenset. Siden varmekablene bare reduserer problemet så lenge de står på må de overvåkes jevnlig for å se at tiltaket fungerer.

9.2.3. Tildekking eller isolering av grøfta om vinteren

Beskrivelse av tiltaket

I eldre litteratur anbefales det å dekke til eller isolere grøfter i kritiske partier. Dette gjelder særlig områder med lav vannhastighet og stort varmetap, for eksempel steder der grøfta vides ut. En enkel metode er å bruke granbar. Granbaren legges ut i et tjukt lag og vil isolere vannet i grøfta ved barfrost (Nordal, 1965). En annen mulighet er å lage et tak over grøfta som isolerer vannet. Her er det mange ulike materialer som kan benyttes, for eksempel finérplater, sponplater, glassfiberplater eller andre typer panel. Over platene kan det legges naturlig isolasjon, som snø, granbar eller sagmugg, eller isolasjonsplater eller –matter (Carey, 1977).

Grøftene må dekkes til om høsten før frosten kommer, og åpnes så snart vinteren er over. Det er viktig at granbaren eller takene fjernes før snøsmeltingen setter inn for alvor. I motsatt fall risikerer man at isolasjonen blokkerer vannstrømmingen og leder vannet ut på nye veger (Carey, 1977). Tildekking av grøfter er ikke et egnet tiltak der vannet kommer fra skjæringer eller skråninger langs grøfta. I slike tilfeller kan man risikere at vann renner over lokket eller taket og rett ut på vegen eller sporet. Med tanke på arbeidsmengde og økonomi egner tiltaket seg heller ikke over lange strekninger.

Erfaring med tiltaket og diskusjon

Det er ikke funnet eksempler på denne metoden brukes langs veger eller jernbaner i dag. Det er likevel verdt å merke seg at metoden kan redusere problemer med iskjøving på en effektiv måte, med lave investeringskostnader. Fordelen med tildekking eller isolering er at vannet kan renne frostfritt selv i perioder med barfrost. Isolasjonen vil fjerne årsaken til iskjøvingen. Metoden krever ikke inngrep i terrenget, maskiner eller større investeringer.

Ulempen med isolering er at det kreves det en del håndarbeid om høsten og våren. Granbar, isolasjonsmaterialer eller tak må settes ut og tas inn. Tidspunktet for utlegging og fjerning av isolasjonen er viktig. Isolasjonen bør legges ut før iskjøving begynner og fjernes så raskt som mulig om våren. Dette krever at driftspersonellet har kunnskap, erfaring og tid til å overvåke strekningen. En annen utfordring med metoden er at grøftene får redusert kapasitet om vinteren. Ved plutselig mildvær kan det oppstå problemer med at overflatevann renner ut i vegbanen eller jernbanesporer. Slike problemer vil imidlertid være like store, eller større, i grøfter som er fylt med is.

9.2.4. Forebyggende tiltak i stikkrenner

For å forebygge iskjøving i stikkrenner er det mulig å gjøre flere forebyggende tiltak. Effekten av de ulike tiltakene avhenger av lokale forhold og klima. Et tiltak som er mye benyttet i

Jernbaneverket er svilleoverbygg. Dette er en enkel konstruksjon av gamle tresviller som plasseres over innløpet og utløpet til stikkrenner. Overbygget reduserer varmetap og gjennomtrekk i stikkrenna. Dermed reduseres ofte tendensen til iskjøving. Tiltaket er robust og kan vare i mange år (Jernbaneverket, 2015). Figur 84 viser et svilleoverbygg på Meråkerbanen.



Figur 84) Svill-overbygg over innløp til stikkrenne langs Meråkerbanen. Foto: A. Liereng



Figur 85) Tre forebyggende tiltak: Frostgardin av fiberduk for å hindre trekk, føringsrør for enkel tilkobling av dampstimplange, og ekstra stikkrenne plassert høyere i underbygningen. Nordlandsbanen, ca. km 400. Foto: Kjell Arne Skoglund

Isolering av innløp og utløp er en annen kjent teknikk. Tidligere isolerte man alle innløp og utløp til stikkrenner om høsten, slik at de ikke skulle fryse. Granbar, sponplater med isolasjon over eller isolasjonsmatter ble benyttet til dette. Selv om dette ikke gjøres systematisk i dag, er dette en god metode. Med enkle midler og en del håndarbeid kan iskjøving unngås i mange tilfeller (Jernbaneverket, 2015). En tredje metode er tildekking av stikkrennene. Tidligere brukte man papir eller stoff. I dag er det vanligere å bruke en gardin av plaststrimler foran

innløp og utløp. Plaststrimlene reduserer gjennomtrekk av kald luft gjennom stikkrenna. Der slik gjennomtrekk er årsaken til iskjøving kan dette være et effektivt og rimelig tiltak (Jernbaneverket, 2015). Figur 85 viser en stikkrenne som er utstyrt med frostgardin av fiberduk.

N. P. Obraztsov beskriver en interessant løsning for å hindre iskjøving i stikkrenner (Carey, 1970: 36 - 37). Teknikken går ut på å demme opp vannet nedstrøms stikkrenna om høsten, slik at vannet står høyt gjennom stikkrenna. Demningen har en viss permeabilitet, slik at vannet renner sakte gjennom den. Når temperaturen faller, vil det dannes et vanlig isdekke på vannet. Så lenge vannføringen er lav, vil vannstanden synke gjennom vinteren på grunn av permeabiliteten i demningen. Vannet vil dermed renne under et islag, med luft mellom vannet og isen. Dette luftlaget kan være tilstrekkelig til å unngå iskjøving resten av vinteren.

9.2.5. Forebyggende tiltak ved rister

I grunne overvannsgrøfter føres vannet ned til overvannsledning gjennom rister og kummer. På E39 langs Vinjefjorden var ristene årsaken til omfattende iskjøving i grøfta. Vannet frøs fast til stengene i de kuppelformede ristene og laget en ring av is rundt rista. Dette demte opp vannet i grøfta og skapte iskjøving i hele grøfta. Problemet ble løst ved å fjerne enkelte av stengene i ristene, som vist i Figur 86a. I følge Skålvik (2016) har tiltaket hatt god effekt. Vannet renner inn i ristene uten å fryse og det har vært ubetydelige problemer med iskjøving etter at det ble gjort tiltak. Ulempen med denne løsningen er at vegetasjon, stein og søppel kan tette igjen ristene, som vist i Figur 86b. Tiltaket øker behovet for rydding i grøftene, ristene og kummene.



Figur 86a) Enkelte av stengene i rista er fjernet for å hindre iskjøving. b) Vegetasjon, stein og søppel kan samle seg i ristene og kummene. E39, Vinjefjorden. Foto: A. Liereng (3.11.15).

Et alternativ til denne løsningen kan være å dekke til ristene i perioder med barfrost. Dersom det settes opp små tak over ristene, tilsvarende svilleoverbygg, vil varmetapet fra vannet reduseres. Så vidt forfatteren vet er denne løsningen ikke forsøkt i praksis.

9.3. Forebyggende drift og vedlikehold

9.3.1. Vedlikehold av grøfter, stikkrenner og rister

Vedlikehold av grøftene gjennom sommer og vinter er av stor betydning. Om sommeren må sedimenter og vegetasjon fjernes slik at dybden og fallet i grøfta opprettholdes. Rister må holdes fri for kvist og kvast som kan hindre vannet i å renne. Dette sikrer at vannet renner fritt og reduserer sannsynligheten for iskjøving i grøftene (Carey, 1977). Om vinteren er det viktig å holde stikkrenner og rister åpne. Så snart iskjøving starter bør det gjøres tiltak. Da kan problemene unngås eller reduseres.

9.3.2. Lage åpen kanal i grøfter fylt med is

Grøfter som er fylt med is hindrer drenering og kan føre til is i vegbanen eller sporet. Det kan dermed være fristende å fjerne all isen i grøfta, men dette kan gjøre situasjonen verre. Dersom all isen fjernes, vil vannet i grøfta eksponeres for kald luft og fryse på nytt. Erfaring viser at fjerning av all isen i grøfta med gravemaskin eller ishøvel har en dårlig og kortvarig effekt (Reitan, 2013).

Det er bedre å lage en smal stripe eller kanal i isen der vannet kan renne konsentrert og skjermet for kulden. Da utnytter man isens isolerende effekt. I mange tilfeller ligger isen som et lokk over snøen i grøfta. Dette kan føre vann tvers over grøfta til veggen eller jernbanen. I slike tilfeller er manuelle metoder ofte godt egnet. Ishakke, spade eller motorsag brukes for å lage en smal åpen kanal i isen. Dermed renner vannet ned i bunnen av grøfta og ikke ut i vegbanen eller sporet. Figur 87 viser et eksempel på en slik åpen kanal nedenfor en skjæring. Et alternativ til dette er å legge ut en stripe med salt i grøfta, som vist i Figur 88. Saltet smelter isen og lager en åpen kanal.



Figur 87) Det er laget en åpen kanal med ishakke for å lede vannet ned i bunnen av grøfta. Foto: A. Liereng (19.2.16).



Figur 88) En stripe salt over isen kan hindre isen i å komme ut i sporet. Foto: A. Liereng (15.1.16).

Dersom problemene oppstår over en lengre strekning, eller dersom isen er tykkere, vil en gravemaskin være bedre egnet. En rippertann (smal, enkel «klo») kan lage en smal åpen kanal i midten av grøfta. Brøytekanter, snø og is langs vegbanen eller sporet bør få stå i fred. Dette bidrar til isolering og er også en fordel for trafikksikkerheten. Isen inntil skjæringer bør også stå urørt. Særlig gjelder dette dersom man har issvuller i skjæringen ned til grøfta. Disse står støtt med et solid islag i grøfta, men kan velte ut dersom støtten forsvinner.

Det kan også benyttes varme for å smelte en åpen kanal i grøftene. Der en har tilgang på strøm, kan elektriske varmekabler være et alternativ. Se kapittel 9.2.2. Tining med varm damp i slanger som legges ut i grøftene kan også benyttes. Ulempen med dampstiming er at arbeidet er risikofylt og krever mye erfaring. En tredje metode kalles Heat Work Ice Guard Systems og baserer seg på frostvæske som sirkulerer i lukkede slanger. Når det er behov for tining legges slangene ut i grøftene og tilkobles et aggregat som varmer opp frostvæsken. Frostvæsken tiner en stripe i isen som vist i Figur 89. Utførelse og erfaring med de ulike metodene er beskrevet av Statens vegvesen (2016).



Figur 89) Varm frostvæske sirkuleres gjennom slanger og tiner en åpen kanal i isen. Foto: Karl Olav Dahlberg, Mesta (Reitan, 2013).

Tining av åpne kanaler i grøfter med varmekabler, stiming eller varm frostvæske er i utgangspunktet kontrollerende, ikke forebyggende tiltak. I mange tilfeller vil grøftene fryse igjen og kreve ny opptining etter en viss tid. Der det er mulig, vil forebyggende tiltak som reduserer mengden iskjøving være et bedre alternativ.

9.3.3. Tining av frosne stikkrenner

For å åpne stikkrenner som er fylt av is benyttes flere metoder. Dampstiming er mest vanlig i Norge. Dette kan brukes ved behov i alle stikkrenner, men dersom det monteres føringsrør i stikkrenna før vinteren vil tiningen gå raskere. Et eksempel på stikkrenne med føringsrør er vist i Figur 85. HeatWorks Ice Guard System med frostvæske i rør er et alternativ til denne metoden, med gode erfaringer så langt. Dette systemet krever at det monteres permanente rør i stikkrenna. En tredje mulighet er å bruke varmekabler. Disse må også monteres permanent i stikkrenna. For mer informasjon om ulike metoder for tining av stikkrenner, se Carey (1973), Carey et al. (1975), Reitan (2013), Jernbaneverket (2015) og Statens vegvesen (2016).

Der innløpet til stikkrenna er fylt med is brukes det noen ganger salt for å smelte en åpen kanal for vannet. Figur 90 viser et eksempel på bruk av salt langs Meråkerbanen. Metoden kan ha en god effekt, men har negative konsekvenser for vannmiljø dersom det benyttes mye salt.



Figur 90) Det er lagt ut salt og saltstein for å smelte en åpen kanal ned til stikkrenna. Meråkerbanen. Foto: A. Liereng (15.1.16).

10. Valg av tiltak

Målet med dette kapittelet er å vise hvilke tiltak som egner seg for ulike problemer og årsaker. Vurderingen av tiltakene er gjort av forfatteren og er basert på kunnskapen som er presentert i kapittel 8 og 9. Kapittelet gir først generelle råd om hvilke strategier som egner seg i ulike forhold. Deretter presenteres et enkelt system for å vise valg av tiltak, med noen eksempler. Det er umulig å anbefale tiltak for alle problemer, årsaker og lokale forhold. Valg av tiltak for et bestemt sted må derfor baseres på en egen vurdering.

10.1. Hva påvirker valg av tiltak mot iskjøving?

Tiltakene mot iskjøving i skjæringer og grøfter har ulike bruksområder, forutsetninger og begrensninger. Det er ikke likegyldig hvilket tiltak man velger. Et gjennomtenkt valg øker sjansen for å redusere problemene på en effektiv og god måte. For å lykkes bør man ha kjennskap til det aktuelle problemet, årsakene til problemet og de lokale forholdene på stedet. Valget av tiltak vil i tillegg påvirkes av ressursene som er tilgjengelig og andre hensyn. De faktorene som påvirker valget er oppsummert på figuren nedenfor:



Figur 91) Valg av tiltak bør baseres på problemet og årsaken til problemet. Lokale forhold, ressurser og andre hensyn vil avgjøre hvilke tiltak som kan gjennomføres.

1. Hva er problemet?

Det første man må ha klart for seg, er hva problemet er. Er isen i seg selv problemet, eller skaper den problemer med isras? Er problemet gjentakende hvert år, eller oppstår det bare problemer i enkelte vintre? I mange tilfeller skaper isen flere problemer på samme sted, for eksempel i både skjæring og grøft. I slike tilfeller bør man undersøke om problemene har samme årsak, eller om de heller bør håndteres separat.

2. Hva er årsaken til problemet?

Neste trinn er å bestemme årsaken til problemet. Dette vil i mange tilfeller bety at man må finne vannkilden til iskjøvingen. Slike undersøkelser er vanligvis enklere å gjøre i sommerhalvåret når det ikke er snø. Der vannet ikke renner naturlig til overflaten om sommeren kan det være vanskeligere å finne årsaken til iskjøvingen. I slike områder må man undersøke terrenget og geologien i området for å prøve å finne årsaken til iskjøvingen.

3. Hvordan er de lokale forholdene?

Lokale forhold har stor betydning for hvilke tiltak som kan gjennomføres. Lokal topografi, geologi, arealbruk og annen infrastruktur kan øke eller begrense mulighetene. God tilgjengelighet ovenfor vegen eller jernbanen er for eksempel nødvendig for å lage drenerende grøfter eller barrierer mot iskjøving. Isolering med murer eller vegger krever god plass mellom skjæringen og vegen eller jernbanen. Utvidelser av skjæringer forutsetter god nok stabilitet i terrenget ovenfor vegen eller jernbanen. Varmekabler i grøfter forutsetter tilgang på strøm. Hvorvidt strekningen er i byggefase eller driftsfase kan også ha betydning. Enkelte tiltak er vanskelig å gjennomføre etter at vegen eller jernbanen er åpnet for trafikk. Dette er bare noen eksempler på lokale forhold som har betydning.

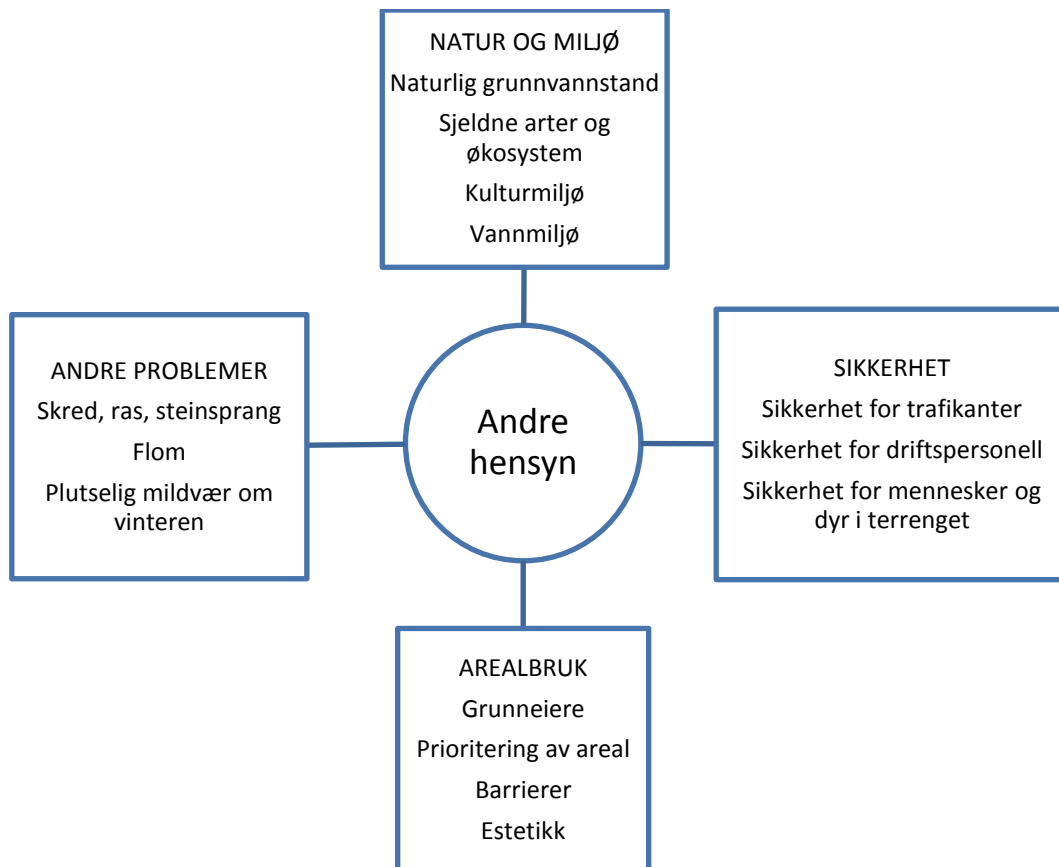
4. Hvilke ressurser har vi tilgjengelig?

For å gjøre forebyggende tiltak mot iskjøving trengs det ressurser. Det trengs penger til investering og penger til drift. Enkelte tiltak krever større investeringer, for eksempler nedgravd drenering eller utvidelse av skjæringer. Dette lar seg kanskje ikke gjennomføre på strekninger som har trange budsjett. Andre tiltak er i rimelige å sette i gang, men krever en del penger til drift over lang tid. Varmekabler er et eksempel på denne typen tiltak. Noen tiltak krever tilgang på spesielle maskiner eller utstyr, som kan være dyrt å få tak i dersom stedet er utilgjengelig.

Det er ikke bare materielle ressurser som er viktige. Kunnskap og erfaring er viktige ressurser som kan være avgjørende for å lykkes. Kunnskap om iskjøving, ulike problemer, årsaker og lokale forhold gjør det enklere å velge gode løsninger. Erfaring med ulike tiltak gjør det mulig å forbedre løsningene fra gang til gang, samt å forutse problemer. Det er særlig sesongtiltak som krever mye kunnskap og erfaring. Isolering av grøfter eller midlertidige frostbelter er eksempler på slike tiltak.

5. Hvilke andre forhold må vi ta hensyn til?

Når det skal gjøres tiltak må man veie ulike hensyn opp mot hverandre, og finne en løsning som er akseptabel for alle parter. Figur 92 viser noen forhold som det er viktig å ta hensyn til ved valg av tiltak.



Figur 92) Tiltak mot iskjøving kan komme i konflikt med andre interesser. Figuren viser noen viktige forhold det må tas hensyn til.

Iskjøving er bare ett av mange problemer langs veg- og jernbanenettet. Derfor er det viktig å vurdere konsekvensene for andre problemstillinger. Noen ganger kan tiltak mot et problem kan gjøre andre problemer større. Da er det viktig å velge en utforming som tar hensyn til de andre problemene. Utforming av bekkeløp som har problemer med flom om sommeren og iskjøving om vinteren er et slikt eksempel. Bekkeløpet må ha stor nok kapasitet til å ta unna flomvannet, men samtidig være så smalt og dypt som mulig for å unngå iskjøving.

I tillegg må man være sikker på at tiltaket ikke hindrer trafikken eller skaper fare. Dette gjelder både om sommeren og vinteren. Utforming av sidegrøfter langs veger er en problemstilling der man må veie ulike hensyn opp mot hverandre. For å begrense iskjøving bør grøftene være dype og smale. For størst trafiksikkerhet bør grøftene være brede og grunne.

Hensyn til omgivelsene bør også ivaretas på en god måte. Dette gjelder både mennesker og dyr, arealbruk og natur. Noen tiltak krever større inngrep i terrenget, som kan være uønsket av grunneier eller andre interessenter i området. Dette kan også ha negative konsekvenser for sjeldne arter, økosystemet eller viktige kulturmiljø. Enkelte landskapstyper, for eksempel raviner, er spesielt sårbare for større inngrep. Andre tiltak kan ha konsekvenser for naturmiljøet. Dette gjelder spesielt omfattende drenering av områder med myr og våtmark,

siden dette kan endre de hydrologiske forholdene i området permanent. Myrer er viktige økosystem og bør bevares så langt det er mulig. Bruk av salt i stikkrenner er et eksempel på tiltak som kan ha negative konsekvenser for vannmiljøet.

10.2. Anbefalte strategier for ulike problemer og årsaker i skjæringer

I denne oppgaven er det presentert seks ulike strategier for å redusere problemer med iskjøving i skjæringer: Drenere terrenget, kanalisere vannet, isolere skjæringen, utvide skjæringen, lage barriere mot isen eller sikre skjæringen mot isras. I tillegg er det mulig å drive med drift og vedlikehold for å fjerne isen etter hvert som den skaper problemer. Hvilke strategier som er best egnet avhenger av problemet, årsaken til problemet og de lokale forholdene på stedet. For å illustrere dette er det laget et enkelt system med tre fargekoder, som viser hvilke strategier som er godt egnet, ok og lite egnet. Figur 92 - 95 viser hvilke strategier som egner seg for fire vanlige situasjoner.

Iskjøving fra jevnt fordelt grunn- eller overflatevann i skjæringer uten problemer med isras



Figur 93) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving fra jevnt fordelt grunn- og overflatevann i skjæringer uten problemer med isras.

Der det er mulig å avskjære vannet før det renner ut i skjæringen, vil dette være den beste løsningen. Dersom løsmassedekket er tynt vil åpne eller lukkede grøfter pigget ned i berget være den beste løsningen. I områder med mye løsmasser vil lukket drenering + åpne terrenggrøfter gi størst effekt. Langs Meråkerbanen er det flere steder der drenering er godt

egnet: Sørkringen (Vedlegg 5D), Geilberget (Vedlegg 5F) og Trøbakktrøa (Vedlegg 5I). Ved Villmannsøya, Fv 30 (Vedlegg 7A) kan drenering også være en god løsning. Langs Nordlandsbanen bør drenering være godt egnet ved Dalsklubben (Vedlegg 11A) og Åga (Vedlegg 11B).

Iskjøving og isras fra jevnt fordelt grunn- eller overflatevann i høye skjæringer eller bratt terreng



Figur 94) Anbefalte strategier for å hindre isras i høye skjæringer eller bratt terreng.

Der en har iskjøving i høye skjæringer eller fjellsider, er det ofte umulig å drenere terrenget. De beste tiltakene er derfor å sikre vegen eller jernbanen mot isras ved hjelp av isnett, fanggjerder og brede fanggrøfter. Eventuelt kan skjæringen isoleres der dette er mulig. Eksempler på slike steder er Breidalen (4) langs Tann-Annolsetervegen (Vedlegg 6D) og Almåskroken langs Fv 30 (Vedlegg 7B). Ved E 39 ved Engdalen og Fv 651 mellom Rjukan og Gaustablikk er det utført omfattende sikring mot isras. Disse stedene beskrives i henholdsvis vedlegg 8 og 10.

Konsentrert iskjøving fra grunnvannskilder i berg- og jordskjæringer



Figur 95) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving fra grunnvannskilder i skjæringer.

Vann fra grunnvannskilder i bergskjæringer bør helst isoleres og føres til lukket drenering langs vegen eller jernbanen. Isolasjonsplater, enkle vegger eller mur med drenerende materiale bak er gode tiltak. Et annet godt alternativ er å lage en nedføringsrenne for vannet. Der ismengden er moderat kan en isnisje også fungere godt. I skjæringer eller skråninger i jord eller løsmasser er det mest effektivt å samle grunnvannet i drensgrøfter. Vannet bør føres til lukket drenering langs vegen eller jernbanen.

Iskjøving i bekker som føres ned over skjæringer

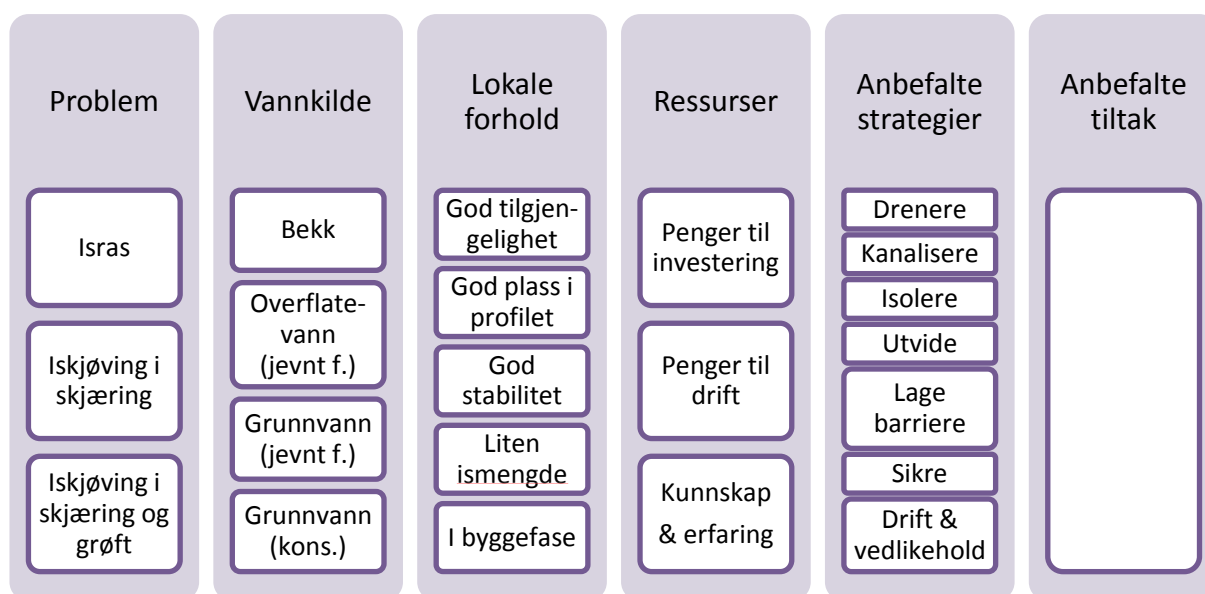


Figur 96) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving i bekker som føres ned over skjæringer.

Den beste strategien for å redusere mengden is i bekker er å kanalisere vannet i en dyp og smal nedføringsrenne. Eksempler på steder der dette er gjort langs Meråkerbanen, er Sørkilhaugen (Vedlegg 5A), Sørkilmo vest (Vedlegg 5B), Sørkilmo øst (Vedlegg 5C) og Sørkringen (Vedlegg 5D). Det er også viktig å holde stikkrenner åpne med forebyggende driftstiltak. Isolasjon og isnett bør ikke brukes ved bekker, siden de har en kort levetid ved større vannmengder.

10.3. Eksempler på valg av tiltak i skjæringer

Det er laget et enkelt oppsett for å illustrere hvilke forhold som bør vurderes ved valg av tiltak mot iskjøving. Figuren nedenfor inneholder seks kolonner med ulike forhold. I den første kolonnen er det tre vanlige problemer med iskjøving i skjæringer. Iskjøving i skjæring inkluderer også iskjøving i bekkenedløp eller nedføringsrenner. Andre kolonne viser fire vanlige vannkilder for iskjøving. I tredje kolonne er det satt opp noen lokale forhold som åpner muligheter for tiltak. I fjerde kolonne er det ressurser som avgjør hvilke tiltak som kan gjennomføres. De boksene som er hvite, gjelder for det aktuelle stedet. Bokser uten hvit bakgrunn gjelder ikke. Basert på valgene som gjøres i de fire første kolonnene, vises anbefalte strategier og tiltak i kolonne 5 og 6.



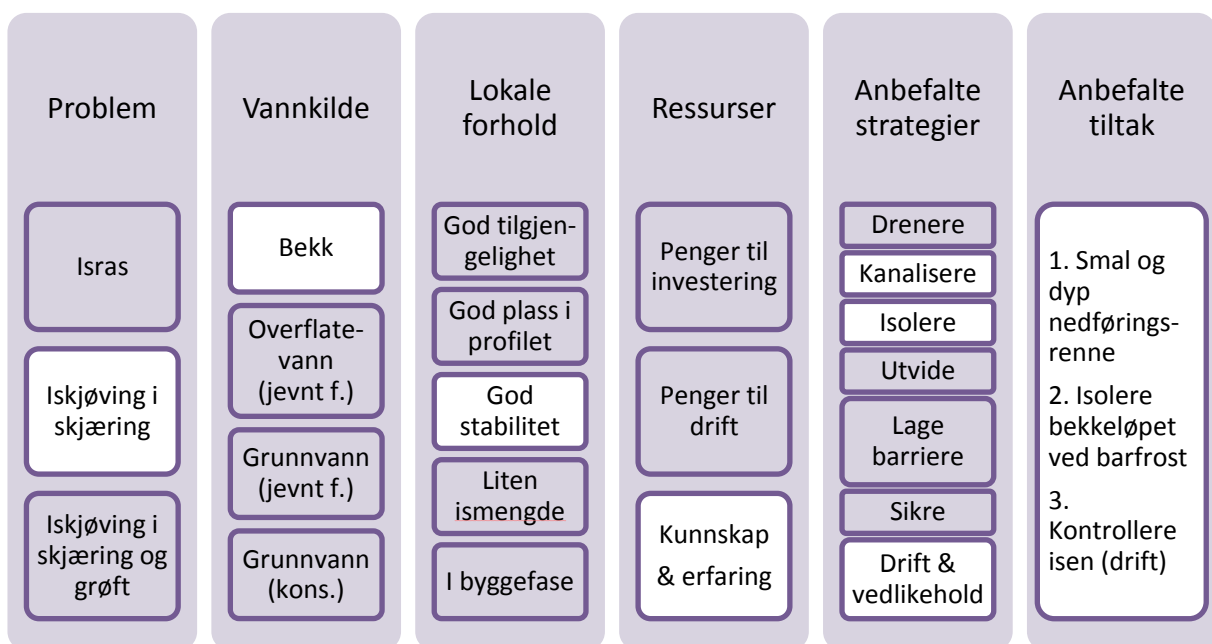
Figur 97) Et enkelt oppsett for å vise hvilke forhold som bør vurderes ved valg av tiltak mot iskjøving i skjæringer.

10.3.1. Eksempel 1: Meråkerbanen, Sørkilhaugen

For å vise oppsettet kan vi se på et enkelt eksempel. Langs Meråkerbanen ved Sørkilhaugen (Meråkerbanen 1) føres en bekk ned over skjæringen til stikkrenne under sporet. I perioder med barfrost begynner det ofte å kjøve i bekken, som vist i Figur 35 på side 42. Vannet fryser der bekkeløpet vider seg ut og vegetasjonen er fjernet. Stikkrenna under sporet er ikke årsaken

til iskjøvingen, men etter hvert vil den også fylles med is. Vannet kan da finne nye veger og skape problemer. Området er nærmere beskrevet i vedlegg 5A.

Det eneste lokale forholdet som er til hjelp på stedet er god stabilitet i terrenget. Ressursene til å gjøre tiltak er begrenset, men driftspersonell på strekningen har mye kunnskap og erfaring. Dermed er det tre strategier som kan egne seg: Kanalisere vannet, isolere bekkeløpet midlertidig eller forebyggende drift og vedlikehold. En smalere og dypere nedføringsrenne vil nok være den beste løsningen. En rimeligere løsning kan være å isolere bekkeløpet midlertidig ved barfrost. Ellers må man fortsette som i dag, med overvåkning og forebyggende driftstiltak for å holde bekkeløpet og stikkrenna åpen. Figur 98 oppsummerer hvilke tiltak som kan egne seg på dette stedet.



Figur 98) Eksempel på valg av tiltak for bekken ved Sørkilhaugen (Meråkerbanen 1).

10.3.2. Eksempel 2: Ny E6 ved Hundorp

I Oppland bygges det ny E6 mellom Frya og Sjoa. Ved Odenrud kommer vegen ut av Hundorptunnelen nedenfor en jord- og bergskjæring. I bunnen av denne skjæringen er det plassert et bygg for de tekniske installasjonene i tunnelen. Området er beskrevet i detalj i vedlegg 9B. Vinteren 2015/16 oppsto det store problemer med iskjøving i skjæringen som vist i Figur 99. På befaring til stedet 11. mars 2016 var det is i hele fjellskjæringen. Basert på bildene virket det som vannet kom fra grensen mellom berg og løsmasser.



Figur 99) Iskjøving i skjæringen bak det tekniske bygget ved Odenrud. Foto: A. Liereng (11.3.16).

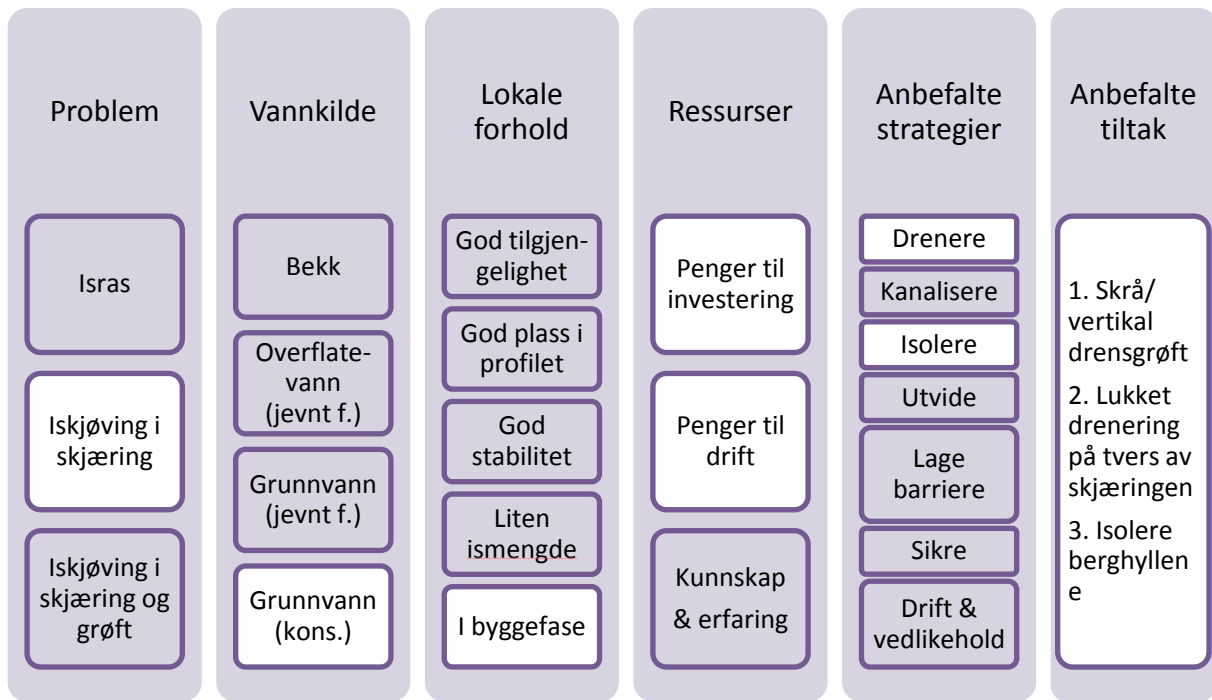
Da snøen smeltet ble det mulig å se på forholdene i skjæringen ovenfor det tekniske bygget. Det viser seg at det renner grunnvann fra flere utspring i løsmassene omtrent midt i jordskjæringen som vist i Figur 100. Vannet renner ut i konsentrerte punkt og følger definerte kanaler i overflaten rett ned mot det tekniske bygget. Her fordeler vannet seg utover de horisontale berghyllene. Vannet samles og renner ned bak det tekniske bygget i to punkter. Det er mest sannsynlig dette vannet som er årsaken til den omfattende iskjøvingen. I tillegg renner det noe vann i bergmassen, men dette er ikke nok til å lage så store mengder is. I vedlegg 9B er det flere bilder av vannkildene og forholdene på stedet.



Figur 100) De svarte stjernene viser utspring av grunnvann. Vannet renner ned til fjellskjæringen som vist med gule piler. Vannet fordeler seg utover de flate berghyllene og samles i to nedløp bak teknisk bygg. Foto: A. Liereng (19.5.16).

Iskjøvingen bak det tekniske bygget må reduseres eller forebygges helt for å unngå at bygget blir ødelagt. Den beste strategien for å oppnå dette er å drenere grunnvannet i skjæringen. Siden vannet renner ut fra faste punkter i løsmassene kan en enkel drensgrøft i jordskjæringen være nok. Drensgrøfta må da legges gjennom punktene der vannet renner og føre ned til lukket drenering langs vegen. Det er enklest å føre grøfta ned til vegen vest for bygget. Alternativet er å lage en lukket drenering i løsmassene eller pigge en drensgrøft i fjellet. Denne grøfta må ligge på skrå i skråningen overfor det tekniske bygget. Et tredje alternativ er å isolere berghyllene ovenfor det tekniske bygget.

Det er vanskelig å grave ned lukket drenering i løsmassene eller pigge ned grøft i berget. Bergmassen i området så oppsprukket at pigging av grøft kan skape løse blokker. Graving av grøft i jordmassene kan føre til at hele skjæringen kan bli ustabil. En enkel drensgrøft vil være en enklere og rimeligere løsning. Dette viser hvordan god kjennskap til årsakene til problemet gjør det mulig å velge bedre tiltak. Figur 101 oppsummerer situasjonen på stedet og tiltak som kan redusere problemet.



Figur 101) Tiltak for å unngå iskjøving bak det tekniske bygget utenfor Odenrud tunnelportal.

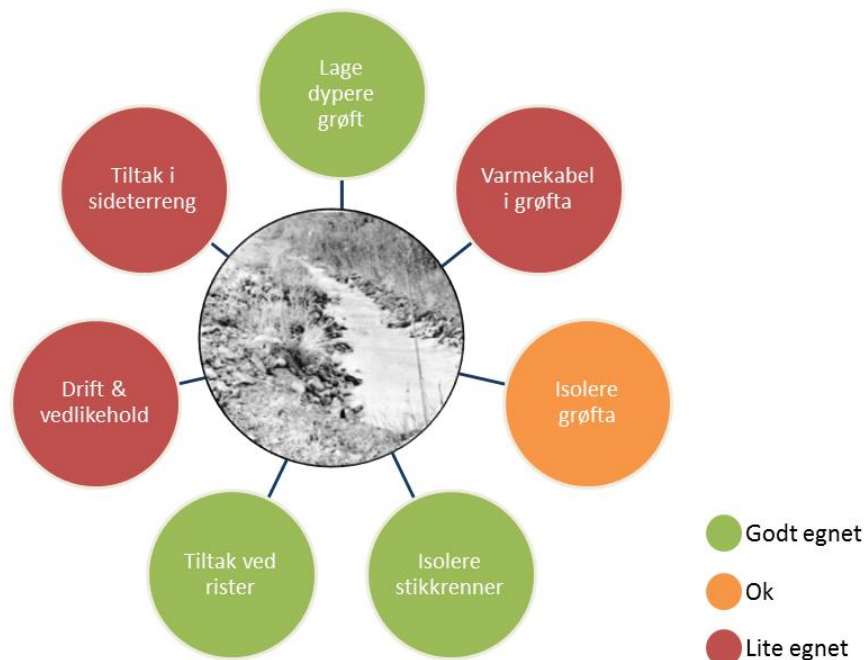
Leseren vil finne mange flere eksempler på valg av tiltak i vedleggene. Her gis det en beskrivelse av alle steder som brukes i oppgaven med kart og bilder. Problemene, årsakene og lokale forhold vil også beskrives. Deretter foreslås det tiltak etter det samme systemet som er vist i dette kapittelet.

10.4. Anbefalte strategier for ulike problemer og årsaker i grøfter

I denne oppgaven er det presentert fire strategier for å redusere problemer med iskjøving i grøfter. De fire strategiene er 1) å gjøre tiltak i sideterreng, 2) utforme grøfter og stikkrenner slik at sannsynligheten for iskjøving reduseres, 3) gjøre forebyggende tiltak som hindrer iskjøving og 4) drive forebyggende og kontrollerende drift og vedlikehold. De forebyggende tiltakene som ble gjennomgått er å lage en dypere grøft, legge ut varmekabler, isolere grøfta, dekke til stikkrenner og gjøre tiltak ved rister over kummer. Tiltakene er beskrevet i kapittel 9.

Iskjøving i grøfter kan ha ulike årsaker og skape ulike problemer. Noen strategier og tiltak egner seg godt i mange situasjoner, mens andre har mer begrensede bruksområder. For å vise dette på en enkel måte er det laget et system med tre fargekoder, som viser hvilke strategier som er godt egnet, ok og lite egnet. Figur 102 - Figur 105 viser hvilke tiltak som egner seg i fire vanlige situasjoner.

Iskjøving i grunne overvannsgrøfter på grunn av lav vannføring



Figur 102) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving i grunne overvannsgrøfter.

Det mest effektive tiltaket for å hindre iskjøving er å lage grøfta dypere. I tillegg er det gunstig å gjøre tiltak i rister og stikkrenner for å hindre iskjøving der. Isolering av grøfta i perioder med barfrost vil fungere godt i mange tilfeller. Grøfta langs E 39 ved Engdalen (Vedlegg 8) hadde problemer med slik iskjøving.

Iskjøving i grøfter på grunn av is i stikkrenner



Figur 103) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving i grøfter som følge av is i stikkrenner.

For denne typen iskjøving er det best å gjøre tiltak ved stikkrennene. Iskjøving i stikkrenner kan unngås ved tildekking eller isolering, eller ved hjelp av forebyggende driftstiltak. Bruk av dampstiming er en enkel måte å åpne stikkrennene på. For å redusere problemene isen skaper er det også gunstig å gjøre grøfta dypere. Dette gir plass til mer is. Sørkilmo vest (Vedlegg 5B) og Sørkilmo øst (Vedlegg 5C) langs Meråkerbanen er eksempler på steder med denne type problem.

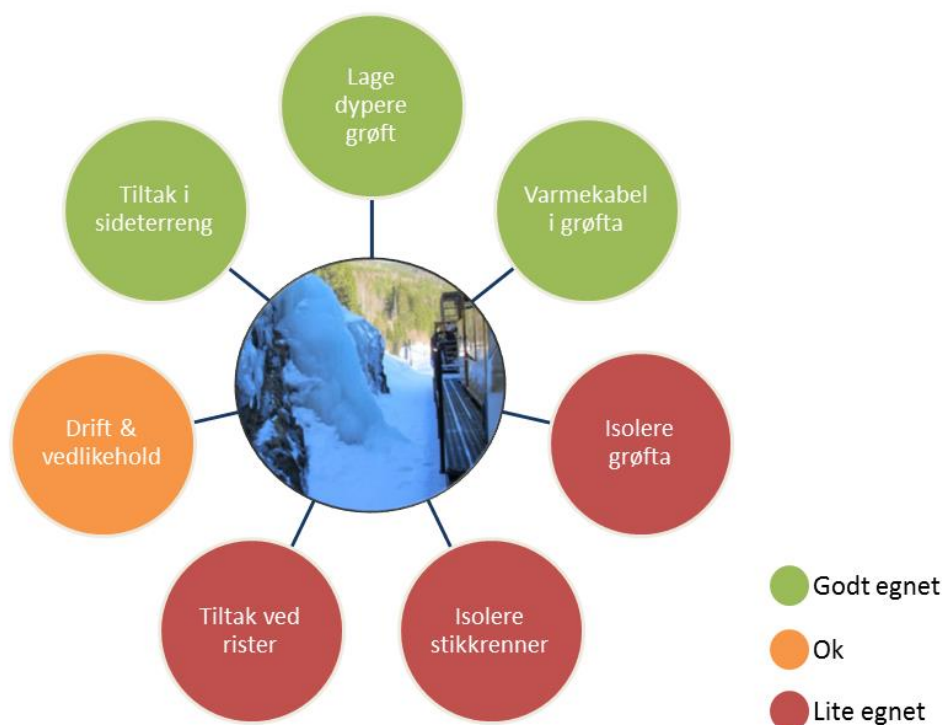
Iskjøving fra sideterreng fyller grøfta med is



Figur 104) Anbefalte strategier der iskjøving fra sideterreng fyller grøfta med is fra siden.

Der grøfter fylles av is fra sideterreng er det beste tiltaket å forebygge iskjøvingen. Det mest effektive tiltaket vil ofte være å samle grunnvannet i lukket drenering langs vegen eller jernbanen. Ellers kan drenering ovenfor infrastrukturen eller isolering av terrenget være gode tiltak. En dypere grøft vil redusere problemene isen skaper, men ikke mengden is som dannes. Det er foreslått tiltak for problem av denne typen ved Langneset i vedlegg 5E, og for Geilberget i vedlegg 5F.

Iskjøving i smale grøfter nedenfor skjæringer

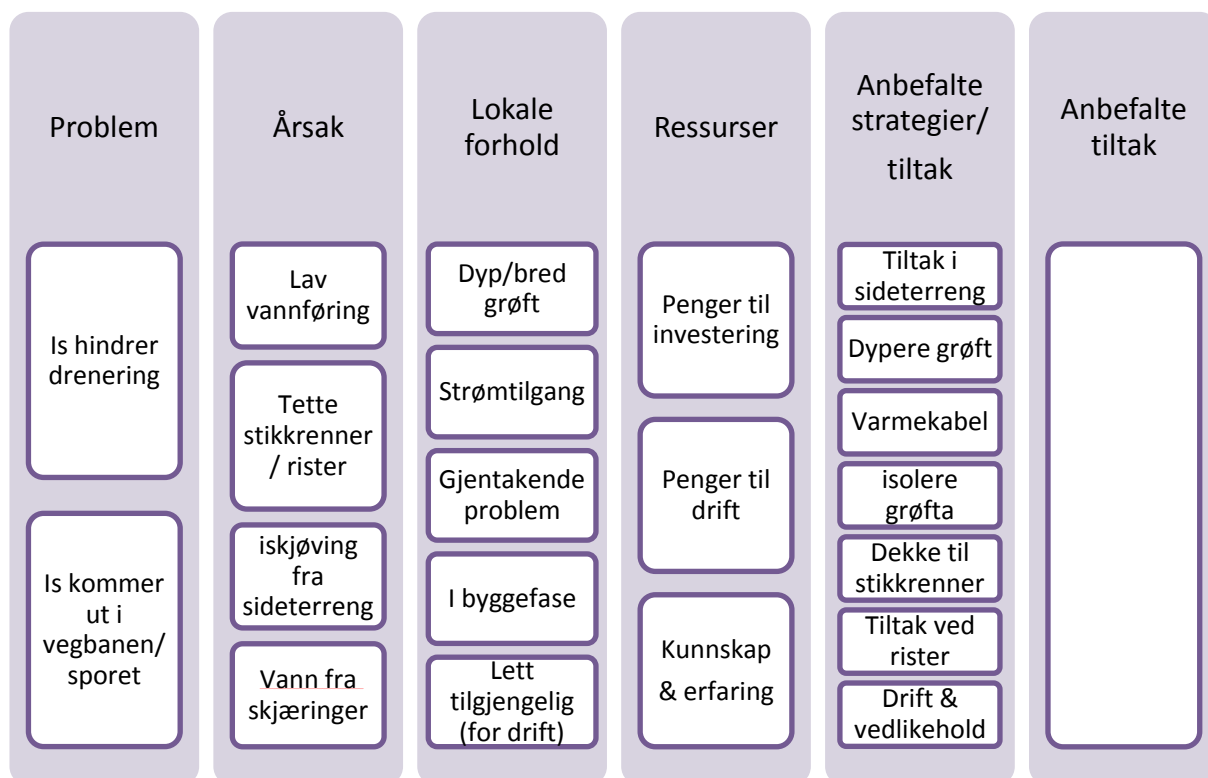


Figur 105) Anbefalte strategier for å forebygge iskjøving i smale grøfter nedenfor skjæringer.

Der det er mulig, bør iskjøvingen i skjæringen forebygges. Drenering av terrenget ovenfor skjæringen eller isolering av skjæringen er de aktuelle tiltakene. Dette vil også løse problemet med is i grøfta. I bratt terreng er det enklere å gjøre tiltak i selve grøfta. De mest aktuelle tiltakene er å lage en dypere grøft med plass til mer is, eller å legge ned en varmekabel i grøfta. Ved Dalsklubben langs Nordlandsbanen (Vedlegg 11A) er det utført tiltak mot denne type problem.

10.5. Valg av tiltak i grøfter

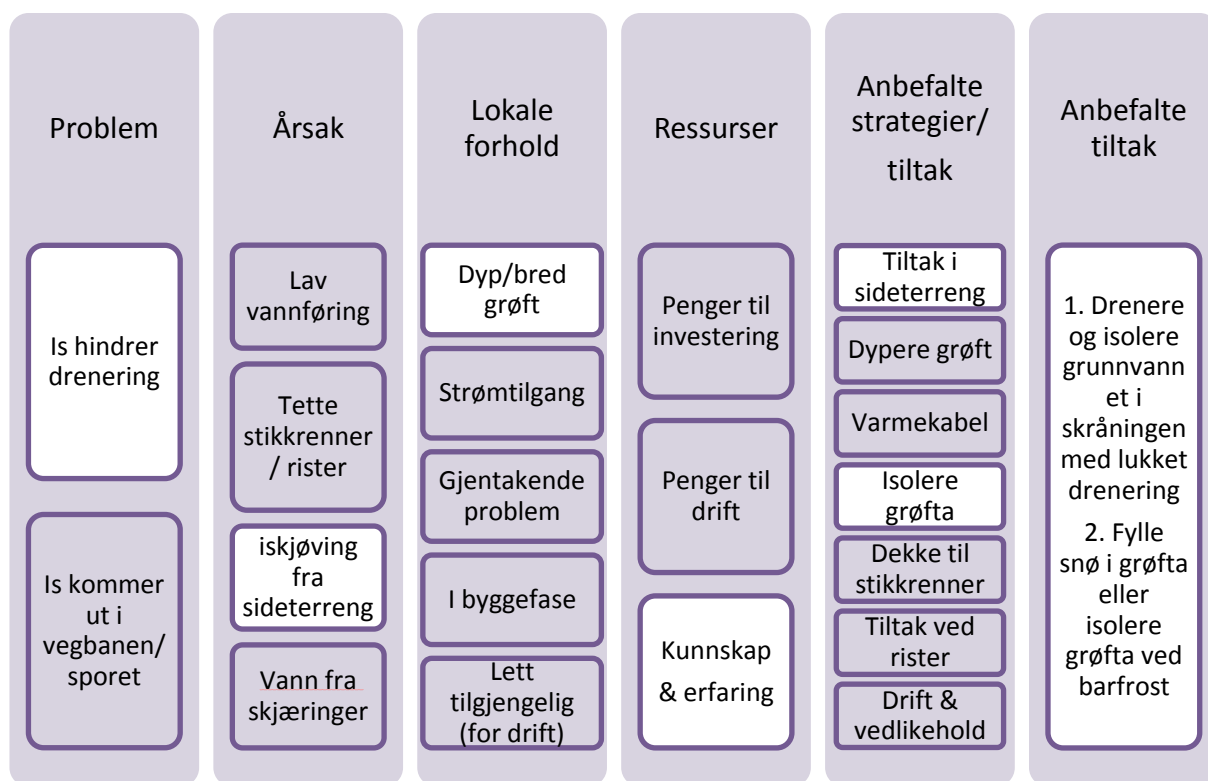
Oppsettet som ble brukt for å vise valg av tiltak mot iskjøving i skjæringer er også benyttet for grøfter. Tabellen består av de samme seks kolonnene, men har annet innhold enn oppsettet for skjæringer. Problemene, årsakene og de lokale forholdene som har størst betydning er endret. Basert på valgene som gjøres i de fire første kolonnene, vises anbefalte strategier og tiltak i kolonne 5 og 6. Figur 106 viser oppsettet.



Figur 106) Et enkelt oppsett for å vise hvilke forhold som bør vurderes ved valg av tiltak mot iskjøving i grøfter.

10.5.1. Eksempel 1: Meråkerbanen, Langneset

Ved Langneset er det en åpen grøft langs sporet nedenfor en jordskråning. Området er nærmere beskrevet i Vedlegg 5E. I bunnen av jordskråningen renner det mye grunnvann ut i grøfta. I vintre med barfrost kan grøfta fylles med is fra siden, som vist i Figur 26, side 32. Dersom hele grøfta fylles med is kan isen hindre drenering om våren. Det er ikke tilgang på strøm i området, og varmekabler er dermed utelukket. Grøfta er nokså dyp og en ytterligere utvidelse vil ikke løse problemet. Den beste løsningen er å samle grunnvannet i lukket drenering i bunnen av skråningen. Dette vil isolere grunnvannet slik at kjøving unngås. Det må lages en åpen overvannsgrøft over den lukkede dreneringen for å samle overflatevann. Et rimeligere alternativ er å isolere bunnen av skråningen med granbar, isolasjonsmatter eller liknende i perioder med barfrost.



Figur 107) Anbefalte tiltak for grøfta ved Langneset, Meråkerbanen.

11. Konklusjon

Denne oppgaven har samlet mye kunnskap og erfaring med fenomenet iskjøving. Kunnskap om hvor, hvorfor og hvordan isen dannes er nyttig fordi det bidrar til større forståelse av fenomenet og dets variasjoner. Med slik forståelse blir det enklere å forutsi hvor problemer oppstår og velge gode forebyggende tiltak mot eksisterende problemer.

Basert på arbeidet som er gjort, er det mulig å trekke noen konklusjoner om årsakene og prosessene som skaper iskjøving. Iskjøving er et variert fenomen som kan oppstå i en rekke ulike forhold. Forekomsten og mengden av is påvirkes av mange faktorer, både lokale og klimatiske. Geologi og topografi er de viktigste lokale forholdene, mens temperatur, nedbør om høsten og snødekket om vinteren er de viktigste klimatiske forholdene.

Der isen vokser i bratt helning kan overflaten være glatt eller bølgete. Bildene av krystallstrukturen i isen viser at den glatte isen vokser fra innsiden og utover under stabile, rolige forhold. Den bølgete isen vokser fra både utsiden og innsiden og har en mer komplisert krystallstruktur. Det er ikke funnet noen forklaring på hvorfor isen blir bølgete. Mest sannsynlig er det en kombinasjon av vannmengden, vannhastigheten, lufttemperaturen og andre forhold som skaper effekten. Der isen vokser på horisontale flater vil den vanligvis ha brede, flate terrasser.

Iskjøvingen som oppstår langs veger og jernbaner er som regel forårsaket av menneskelige inngrep. Skjæringer som kutter gjennom de isolerende jordlagene er spesielt utsatt. Det finnes mange tiltak for å redusere problemene isen skaper. Tiltakene kan deles i seks ulike strategier. Drenering av overflatevann og grunnvann ovenfor skjæringen og kanalisering av vann i nedføringsrenner er de mest effektive strategiene. Sikring med isnett eller utvidelse av skjæringer hindrer ikke iskjøving, men kan redusere problemene isen skaper på en effektiv måte. Isolering og barrierer mot iskjøving er mindre benyttet i Norge i dag, men kan likevel ha god effekt.

For å unngå problemer med iskjøving i skjæringer og skråninger bør naturlig jorddekke og vegetasjon bevares der det er mulig. Dette isolerer grunnvannet og hindrer iskjøving. Der naturlig isolasjon fjernes er det viktig å ta hånd om vannet. Så langt det lar seg gjøre bør grunnvann og overflatevann håndteres hver for seg. Jevnt fordelt grunnvann bør samles i lukket drenering, mens jevnt fordelt overflatevann samles i åpne grøfter og nedføringsrenner. Konsentrert overflatevann bør håndteres der det naturlig renner og samles i en godt kanalisert vannvei. Det er viktig å kartlegge grunnvannskilder i bergskjæringer eller løsmasser ved bygging av ny infrastruktur. Kildene kan skape mye iskjøving og vannet bør derfor alltid samles i lukket drenering eller isoleres.

For å forebygge iskjøving i grunne, åpne overvannsgrøfter er det beste tiltaket er å gjøre grøfta dypere. Vannet bør renne konsentrert og skjermet i en smal kanal. Der dette ikke er mulig, kan varmekabler brukes for å lage en åpen kanal for vannet. Tidligere ble grøfter ofte isolert eller dekket til. Disse tiltakene fungerte godt og kan fortsatt være gode alternativ i kritiske partier av grøftene. Iskjøving i grøfter kan også holdes under kontroll av driftspersonell med lokalkunnskap og erfaring. Den beste strategien for grøfter som allerede er fulle av is, er å lage en åpen kanal i midten av grøfta. Dette utnytter isens isolerende effekt og reduserer tendensen til iskjøving.

Iskjøving i grøfter har ofte sammenheng med iskjøving i stikkrenner. Hvis stikkrenner eller rister er fulle av is, bør det settes inn tiltak for å åpne stikkrennene. Ellers kan grøftene fylles med is over lange strekninger. Med tanke på å unngå iskjøving bør stikkrenner plasseres dypt og skjermet. Det kan gjerne legges ut to eller flere stikkrenner, der noen stikkrenner plasseres litt høyere enn de andre. Dermed vil de ekstra stikkrennene ta unna vann selv om den nederste er full av is. I andre tilfeller er det iskjøving fra sideterreng som er årsaken til iskjøving i grøfta. Isen fyller da grøfta fra siden. Her vil tiltak i sideterreng ha størst effekt. Avhengig av hvor vannet kommer fra kan lukket drenering av grunnvannet, avskjærende grøfter eller isolering av terrenget være gode alternativ.

For å velge gode tiltak mot iskjøving er det viktig å se på hva som er problemet, årsaken til problemet og lokale forhold. For å finne årsaken til problemet er det ofte nødvendig å studere forholdene i både vinter- og sommerhalvåret. Siden dreneringsforholdene i bakken kan endres når det blir frost, er det ikke sikkert at områder som er våte sommerstid, får problemer med iskjøving vinterstid. Valget av tiltak vil begrenses av tilgjengelige ressurser. Tiltak mot iskjøving kan også komme i konflikt med andre hensyn, for eksempel trafiksikkerhet. Det er derfor lurt å gjøre en grundig vurdering av forholdene på stedet før man setter i verk tiltak. Slik er det større sjanse for å lykkes med tiltaket på første forsøk.

12. Videre arbeid

I arbeidet med denne oppgaven har det dukket opp mange spennende problemstillinger. Det er spesielt to tema som kan være aktuelle for videre arbeid: Årsaken til bølgete og glatt is og effekten av ulike avskjærende grøfter.

Bølgete og glatt iskjøving

Dersom arbeidet skulle videreføring i en ny sesong, ville det vært spennende å studere de ulike fryseprosessene nærmere. For å få mer kunnskap og forståelse av de ulike prosessene er både feltstudier og laboratorieanalyser nødvendig.

For å få mer systematiske data burde et par steder følges opp jevnlig hele vinteren – helst daglig eller flere ganger ukentlig. For hver dag må isen studeres på de samme stedene. Er isen glatt eller bølgete, halvfryst eller helt fryst, våt eller tørr? Hvor mye vann renner over isen? Hvor mye har isen vokst siden sist? I tillegg til å se på isen må det samles inn klimadata fra de samme stedene, enten ved hjelp av enkle værstasjoner eller ved manuelle målinger på hver befarings. På den måten kan det kanskje være mulig å se hvilke klimatiske forhold som er til stede når isen vokser med henholdsvis glatt og bølgete overflate.

I tillegg må det samles inn et større antall isprøver av både glatt og bølgete is som kan analyseres i laboratorium. Hver prøve deles i flere tynnslip slik at man får et bedre bilde av krystallstrukturen i isen.

Effekt av ulike avskjærende grøfter

I oppgaven er det presentert flere typer avskjærende grøfter, både åpne og lukkede, isolerte og uisolerte. Noen er tette i bunn, noen har fiberduker, noen har drenerør. Det hadde vært interessant å studere effekten av de ulike grøfttypene nærmere og finne ut hvilke grøfter som egner seg best under ulike forhold. Det er flere måter å undersøke effekten på avhengig av hvor mye ressurser som er tilgjengelig. Den enkleste måten er å kartlegge effekten av eksisterende grøfter systematisk. Det må da skaffes oversikter over avskjærende grøfter langs mange veg- og jernbanestrekninger. Effekten av hver enkelt grøft kartlegges ved å snakke med driftspersonell, i kombinasjon med befaringer.

I tillegg hadde det vært interessant å prøve avskjærende drenergrøfter i berg i ulike typer bergmasse. Med tanke på at det bygges mye ny infrastruktur på Østlandet burde det være mulig å lage slike grøfter flere steder. Dermed kan man finne ut om effekten av grøftene er avhengig av bergarten og oppsprekningen.

Referanser

- Alekseyev, V. R. (2015) 'Cryogenesis and Geodynamics of Icing Valleys', *Geodynamics & Tectonophysics*, 6 (2), s. 171-224. <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2015-6-2-0177>
- Asvall, R. P. (2010) Hvordan is i vassdrag dannes – og hvordan vassdragsreguleringer påvirker isen i norske vassdrag. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Rapport 20-2010. ISBN 978-82-410-0736-1.
- Befring, E. (2015) *Kvantitativ metode*. De nasjonale forskningsetiske komiteene. Tilgjengelig fra: <https://www.etikkom.no/FBIB/Introduksjon/Metoder-og-tilnarminger/Kvantitativ-metode/> [Hentet 22.5.16].
- Carey, K. L. (1970) *Icing Occurrence, Control and Prevention - An Annotated Bibliography. Special report 151*. Hanover, New Hampshire, USA: Corps of engineers, US Army, Cold Regions Research and Engineering Laboratory,
- Carey, K. L. (1973) Icings developed from surface water and ground water. Monograph III-D3. Hanover, New Hampshire: Corps of engineers - US Army - Cold Regions Research and Engineering Laboratory.
- Carey, K. L. (1977) Solving Problems of Ice-Blocked Drainage Facilities. Special report 77-25. Hanover, New Hampshire: Corps of engineers, US Army, Cold Regions Research and Engineering Laboratory,, , s. 28.
- Carey, K. L. (1983) 'Ice-blocked Drainage: Problems and Processes', *Cold Regions Technical Digest*, (83-2), s. -.
- Carey, K. L., Huck, R. W. & Gaskin, D. A. (1975) *Prevention and Control of Culvert Icing. Summary Report on Studies FY 1966-70. Special Report 224*. Hanover, New Hampshire: Corps of Engineers, US Army, Cold Regions Research and Engineering Laboratory
- Chekotillo, A. M. (1940) 'Icings and Countermeasures' i *Investigation of Airfield Drainage, Artic and Subartic Regions. Part 2, Translations of Selected Topics (Oversatt fra russisk av Meir Pilch)*. University of Minnesota, Corps of Engineers. 1950, s. 99-148.
- Chekotillo, A. M. (1946) 'Solving the problems of "nalyeds" in permafrost regions', *Engineering News-Record*, 137 (2), s. 724 - 727.
- Chen, A. S.-H. (2014) *Experiments on the growth and form of icicles*. Doctor of Philosophy. University of Toronto, Graduate Department of Physics, Toronto, Canada.
- Chen, A. S.-H. & Morris, S. W. (2013) 'On the origin and evolution of icicle ripples', *New Journal of Physics*, 15. DOI: 10.1088/1367-2630/15/10/103012
- Chen, A. S.-H. & Stephen W, M. (2016) *The Icicle Atlas*. Toronto, Canada: The Experimental Nonlinear Physics Group, Dept. of Physics, The University of Toronto. Tilgjengelig fra: http://www.physics.utoronto.ca/Icicle_Atlas/ [Hentet 20.3.2016].
- Colleuille, H. (2013) *Faktaark: Jordskred og flomskred*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Tilgjengelig fra: <http://varsom.no/Global/Faktaark/Fakta%205-13%20Jord%20og%20flom.pdf> [Hentet 15.09.15].
- Colleuille, H., Haugen, L. E., Udnæs, H.-C. & Møe, K. (2001) Infiltrasjonsprosesser i frossen jord på Gardermoen. Rapport nr 8-2001. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.

- Daly, S. F. (2013) 'Aufeis' i Beltaos, S. (red.) *River Ice Formation*. Edmonton, Alberta, Canada: Committee on River Ice Processes and the Environment, Canadian Geophysical Union - Hydrology Section, s. -.
- Eager, W. L. & Pryor, W. T. (1945) 'Ice formation on the Alaska Highway', *Public Roads*, 24 (3), s. 55-74, 82.
- Eide, S. & Brovold, T. (2013) 'Mann omkom i isras', *NRK*, 20.12.2013. Tilgjengelig fra: <http://www.nrk.no/nordland/mann-omkom-i-isras-1.11431366> [Hentet 6.5.2016].
- Ghiglione, A. F. (1948) Highways, bridges and protection from ice damage. Alaska Road Comission.
- Ghoshdastidar, P. S. 2012. Heat Transfer. 2 ed. India: Oxford University Press.
- Glommens Og Laagens Brukseierforening (2007) *Isforhold i regulerte vassdrag*. Tilgjengelig fra: <http://www.glb.no/Venstremeny/Vassdragsdrift/Isforholdiregulertevassdrag/tabid/2521/Default.aspx> [Hentet 19.10.2015].
- Hargelius, H. (2006) Dräner i tunnlar för vatten- och frostsäkring - Inventering baserad på litteratur, intervjuer och fältstudier. Stockholm, Sverige: Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning.
- Heje, K. (1941) *Vei- og jernbanebygging: håndbok for undervisning og praksis*. Oslo: Aschehoug
- Holtebekk, T. (2011) *Polarisasjonsapparat*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/polarisasjonsapparat> [Hentet 22.04.16].
- Jernbaneverket (2015) *Teknisk regelverk - Løsninger for utbedring av dreneringsanlegg*. Jernbaneverket. Tilgjengelig fra: https://trv.jbv.no/wiki/Underbygning/Vedlikehold/Drenering/Vedlegg/L%C3%B8sninger_for_utbedring_av_dreneringsanlegg [Hentet 19.04.16].
- Jernbaneverket (2016a) *Teknisk regelverk - Banelegeme*. Jernbaneverket. Tilgjengelig fra: https://trv.jbv.no/wiki/Underbygning/Prosjektering_og_bygging/Banelegeme [Hentet 13.05.2016].
- Jernbaneverket (2016b) *Teknisk regelverk - Drenering*. Jernbaneverket. Tilgjengelig fra: https://trv.jbv.no/wiki/Underbygning/Prosjektering_og_bygging/Drenering [Hentet 31.03.2016].
- Jess, A. (1954) 'Some aspects of ground ice control on Alaskan Highways', i *Proceeding of the,3rd Alaskan Science Conference*. 1952. 25-26.
- Karlsrud, K., Erikstad, L. & Snilsberg, P. (2003) Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø. Oslo: Vegdirektoratet, Teknologidivisjonen. Miljø- og samfunnstjenlige tunneler, Publikasjon nr. 103. Tilgjengelig fra: http://www.vegvesen.no/_attachment/61904/binary/15126?fast_title=Unders%C3%B8kelser+og+krav+til+innlekkasje+for+%C3%A5+ivareta+ytre+milj%C3%B8 [Hentet 25.3.2015].
- Liao, C.-P. (2011) *Northern Hemisphere Azimuthal projections*. Wikipedia. Tilgjengelig fra: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Northern_Hemisphere_Azimuthal_projection.svg [Hentet 5.5.2016].

- Liereng, A. (2015) *Iskjøving langs vei og jernbane*. Prosjektoppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi. Institutt for bygg, anlegg og transport, Trondheim.
- Lovell, C. W. J. & Herrin, M. (1953) *Review of certain properties and problems of frozen ground, including permafrost*. *Sipre Report 9*. Wilmette, Illinois: Snow, Ice, and Permafrost Research Establishment, Corps of engineers, US Army
- Nordal, R. S. (1965) *Drenering av vegar*. *Meddelelse nr 22*. Oslo: Statens vegvesen, Veglaboratoriet
- Norem, H. (1998) *Sikring av vegar mot isras*. Hordaland: Statens vegvesen
- Norem, H., Flesjø, K., Sellevold, J., Lund, M. R. & Viréhn, P. L. E. (2016) *Drenering for veg og jernbane*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Rapport nr 28-2016. ISBN 978-82-410-1219-8.
- Norges Geologiske Undersøkelse (2016) *Hva er grunnvann?* Tilgjengelig fra: http://www.grunnvanninorge.no/grunnvann_hva_er.php [Hentet 05.06.16].
- Norges Vassdrags- Og Energidirektorat (2016) *Grunnvann i Norge*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/grunn-og-markvann/grunnvann-i-norge/> [Hentet 22.5.16].
- Norgeskart (2016) *Kart*. Tilgjengelig fra: <http://www.norgeskart.no> [Hentet 1.6.16].
- Ogawa, N. & Furukawa, Y. (2002) 'Surface instability of icicles', *Physical Review E*, 66. 10.1103/PhysRevE.66.041202
- Ormestad, H. (2009) *Varmeledning*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/varmeledning> [Hentet 23.5.16].
- Reitan, K. M. (2013) *Utpøving av alternative metoder for tining av is i stikkrenner og grøfter*. Rapport nr 184. Oslo: Statens vegvesen. Vegdirektoratet.
- Seppälä, M. (1999) 'Geomorphological aspects of road construction in a cold environment, Finland', *Geomorphology*, 31 (1), s. 65-91.
- Shokr, M. & Sinha, N. (2015) *Sea Ice: Physics and Remote Sensing*. Hoboken, New Jersey; USA: The American Geophysical Union og Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-1-119-02789-8.
- Skumvoll, N., Heggenes, K. & Haugen, E. (2016) 'Store ismasser traff bil i fart', *Varden*. Tilgjengelig fra: <http://www.varden.no/nyheter/store-ismasser-traff-bil-i-fart-1.1514326> [Hentet 22.4.2016].
- Statens Vegvesen (2014a) *Vann og frostsikring i tunnel*. *Håndbok R510*. Oslo: Statens vegvesen. ISBN: 82-7207-597-0.
- Statens Vegvesen (2014b) *Vegbygging*. *Håndbok N200*. Oslo: Vegdirektoratet
- Statens Vegvesen (2016) *Tining og fjerning av is i stikkrenner og grøfter - Samling av erfaringer fra 10 driftskontrakter*. Statens vegvesen.
- Stefansson, A. T. (2013) *Preventing Icicle Formation on a Rock Cut - Feasibility study; Kongsberg, Norway*. Master of Science. Chalmers tekniska högskola, Bygg- och miljöteknik. Avdelningen för geologi och geoteknik, Göteborg, Sverige.
- Stenersen, J. (2013) 'Åpen isolert overvannsgrøft', *Norsk Vann Bullentin*, 2. s. 27.
- Store Norske Leksikon (2009) *Kilde - grunnvann*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/kilde%2Fgrunnvann> [Hentet 5.5.2016].

- Trafikverket (2013) *Drift och underhåll av enskilda vägar. Publikation 2012:141*. Borlänge, Sverige: Trafikverket
- Ueno, K. (2007) 'Ripples on icicles and stalactites', *Kôkyûroku Bessatsu (Research Institute for Mathematical Sciences (RIMS), Kyoto University)*, B3 s. 101–119.
- Wadel, C. (1991) *Feltarbeid i egen kultur: en innføring i kvalitativt orientert samfunnsforskning*. Flekkefjord: SEEK. ISBN: 8299178142.
- Yu, W., Han, F., Yi, X., Liu, W. & Hu, D. (2016) 'Cut-Slope Icing Prevention: Case Study of the Seasonal Frozen Area of Western China', *Journal of Cold Regions Engineering*. doi:10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000105 [Hentet 16.04.2016]

Personlig kommunikasjon

- Almenningen, Ole Erik (2016) *Erfaring med isolasjonsplater*. E-post, 5.4.2016.
- Andersen, Vidar (2016) *Erfaring med enkel isolert vegg*. E-post, 11.4.16.
- Kval, Torgeir (2016) *Erfaring med tiltak på ny E 6 Frya- Sjoa*. Befaring, 11.3.16.
- Langelid, Audun & Norem, Harald (2016) *Erfaring med isnett og fanggjerdar på Fv 651*. Befaring, 3.3.16.
- Skonseng, Eilert (2016) *Erfaring med tiltak langs Nordlandsbanen*. Befaring, 15.3.16.
- Skålvik, Nils Erling (2016) *Erfaring med tiltak langs E 39 ved Vinjefjorden*. E-post 7.4.16.
- Stenersen, Jan (2016) *Erfaring med isolerte åpne terrenggrøfter*. E-post, 2.5.16

Vedlegg

[Vedlegg 1](#) – Oppgavetekst

[Vedlegg 2](#) – Bilder av krystallstruktur i is

[Vedlegg 3](#) – Oversikt over utførte befaringer

[Vedlegg 4](#) – Oversikt over alle steder som er studert på befaringer

[Vedlegg 5](#) – Meråkerbanen, Hell – Storlien, Nord-Trøndelag

[Vedlegg 6](#) – Tann-Annolsetervegen, Breidalen, Oppland

[Vedlegg 7](#) – Fv 30, Rognes – Haltdalen, Sør-Trøndelag

[Vedlegg 8](#) – E 39, Engdalen ved Vinjefjorden, Møre- og Romsdal

[Vedlegg 9](#) – Ny E 6, Frya – Sjoa, Oppland

[Vedlegg 10](#) – Fv 651, Rjukan – Gaustablikk, Telemark

[Vedlegg 11](#) – Nordlandsbanen, Dalsgrenda – Raudberget

MASTEROPPGAVE

(TBA4955, Jernbane masteroppgave)

VÅREN 2016
for
Andrea Liereng

Iskjøving i grøfter og skjæringer langs veg og jernbane - Prosesser, årsaker og forebyggende tiltak

BAKGRUNN

Iskjøving er et fenomen som kan oppstå i arktiske og subarktiske regioner om vinteren. Iskjøving kan oppstå naturlig, men er oftest et resultat av menneskelige inngrep. Helt siden man begynte å bygge infrastruktur gjennom kalde regioner har iskjøving skapt utfordringer. Tradisjonelt er det de som drifter vegene og jernbanene som har fått i oppgave å holde problemet under kontroll ved å fjerne isen gjennom vinteren. Arbeidet er tidkrevende og risikofyllt, og effekten er ofte kortvarig.

Både Statens vegvesen og Jernbaneverket ønsker å redusere problemene med iskjøving gjennom forebyggende tiltak. Det er imidlertid ikke tilstrekkelig å samle inn beskrivelser av tiltak som benyttes i inn- og utland. Tiltakene må tilpasses de lokale forhold og årsaker for å ha ønsket effekt. Dette krever kunnskap og forståelse av fenomenet og årsakene til at problemene oppstår. Per dags dato finnes det nesten ingen litteratur i Norge om iskjøving. Verken lærebøker, håndbøker eller veiledninger beskriver på en grundig måte hvordan problemet kan unngås. Det er dermed stort potensiale for å øke kunnskapen og forståelsen av fenomenet.

Resultatene fra prosjektoppgaven viser store forskjeller i kunnskapen om ulike typer iskjøving. Iskjøving i elver og tunneler er godt beskrevet i eksisterende internasjonal litteratur og vil ikke inngå i masteroppgaven. Iskjøving i skjæringer, grøfter og stikkrenner er derimot lite beskrevet i litteraturen. For å gjøre det mulig å gå i tilstrekkelig detalj, avgrenses masteroppgaven til iskjøving i grøfter og skjæringer.

OPPGAVE

Beskrivelse av oppgaven

Oppgaven gjennomføres ved NTNU som en oppgave innen jernbaneteknikk, men det vil bli etablert et samarbeid både med Jernbaneverket og med Statens vegvesen. Oppgaven går ut på å øke forståelsen av fenomenet iskjøving i Norge og å samle kunnskap om forebyggende tiltak som kan redusere problemene på det norske veg- og jernbanenettet. Feltstudier og litteraturstudier er de viktigste metodene som benyttes i oppgaven. Målgruppen for oppgaven er de som planlegger, eier og drifter det norske veg- og jernbanenettet.

Målsetting og hensikt

Målsettingen for oppgaven kan deles i fire delmål:

1. Samle inn eksisterende kunnskap

Masteroppgaven skal samle eksisterende kunnskap om iskjøving i skjæringer og grøfter fra inn- og utland, både fra skriftlige kilder og gjennom samtaler med driftspersonell.

2. Øke forståelsen av fenomenet

Det andre delmålet er å øke forståelsen av hvorfor iskjøving i skjæringer og grøfter oppstår. Årsakene til iskjøving, faktorer som bidrar til iskjøving, hvordan ulike faktorer virker sammen og hvordan selve prosessen foregår er viktige tema.

3. Vurdere forebyggende tiltak basert på årsaker

Masteroppgaven skal presentere og vurdere forebyggende tiltak som kan redusere omfanget av iskjøving. Målet er å lage en «verktøykasse» med tiltak for ulike lokale forhold og årsaker.

4. Presentere kunnskapen i en masteroppgave

Det siste delmålet er å presentere kunnskapen og forståelsen kandidaten har samlet gjennom sitt arbeid i en masteroppgave. Målet er at deler av kunnskapen kan brukes som innspill til for eksempel håndbøker for veg- og jernbanebygging.

Deloppgaver og forskningsspørsmål

Masteroppgaven har følgende deloppgaver:

1. Gå gjennom norsk og internasjonal litteratur for å samle kunnskap om iskjøving i grøfter og skjæringer, med fokus på forebyggende tiltak.
2. Gjennomføre feltstudier gjennom høst, vinter og vår langs E39, Fv30, Meråkerbanen og Tann-Annolsetervegen. Kartlegge årsaker, prosesser og forslå tiltak for utvalgte steder.
3. Samle kunnskap fra erfarent driftspersonell om håndterer problemene til daglig, gjennom samtaler og intervjuer.
4. Utvikle metodikk for hvilke tiltak man kan sette i verk, bl.a. basert på lokale forhold
5. Skrive rapport fra arbeidet, eventuelt også et paper til publisering.

Følgende forskningsspørsmål skal besvares:

1. Hvilke årsaker og prosesser bidrar til iskjøving i skjæringer og grøfter? Hvordan bidrar klima og lokale forhold, i første rekke geologi og utformingen av skjæringer, grøfter og terrenget rundt, til denne iskjøvingen?

Kommentar: Dette spørsmålet vil besvares gjennom litteraturstudier og begrensede feltstudier gjennom sesongen 2015/2016.

2. Hvilke tiltak vil med stor sannsynlighet kunne redusere iskjøving i skjæringer og grøfter, gitt god kjennskap til iskjøvingens årsaker og prosesser samt lokale forhold?

Kommentar: Ut fra varighet av oppgaven vil det ikke kunne foretas langvarige feltstudier for å undersøke effekten av ulike tiltak. Arbeidet vil basere seg på litteraturstudier og innsamling av erfaring fra driftspersonell

GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave befinner seg på <http://www.ntnu.no/bat/studier/oppgaver>.

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Masteroppgaven regnes ikke som ferdig levert før kandidaten har levert innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i Sentralbygg II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v. Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til sonja.hammer@ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

Oppstart og innleveringsfrist er i henhold til informasjon i DAIM.

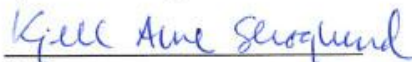
Faglærer ved instituttet: Førsteamanuensis II Kjell Arne Skoglund

Veiledere (eller kontaktpersoner) hos eksterne samarbeidspartnere: Roar Nålsund (Jernbaneverket), Harald Norem (Statens vegvesen)

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato (for siste revisjon): 03.06.2016

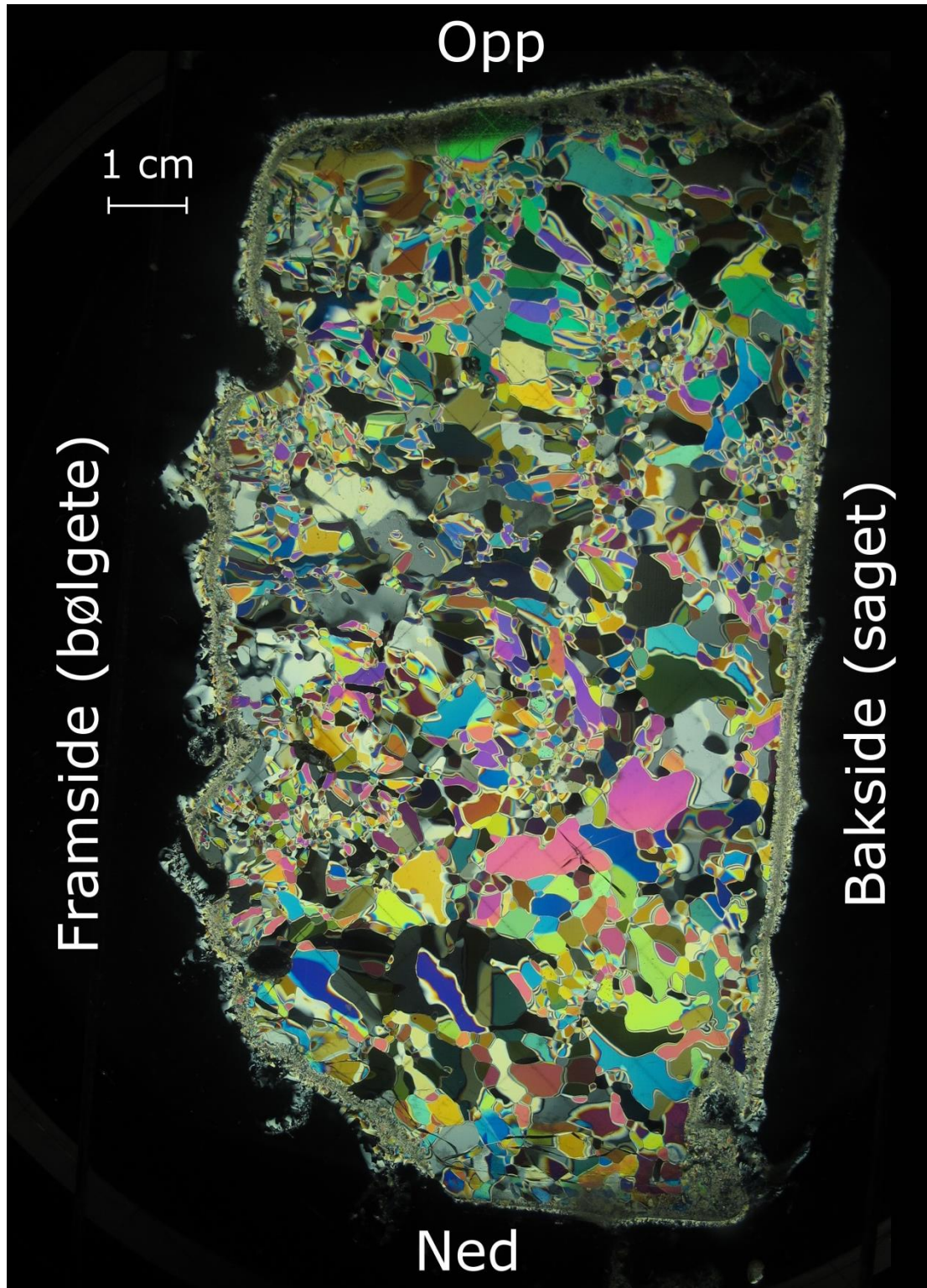
Underskrift
Kjell Arne Skoglund


Faglærer

Vedlegg 2 - Bilder av krystallstrukturen i isprøvene

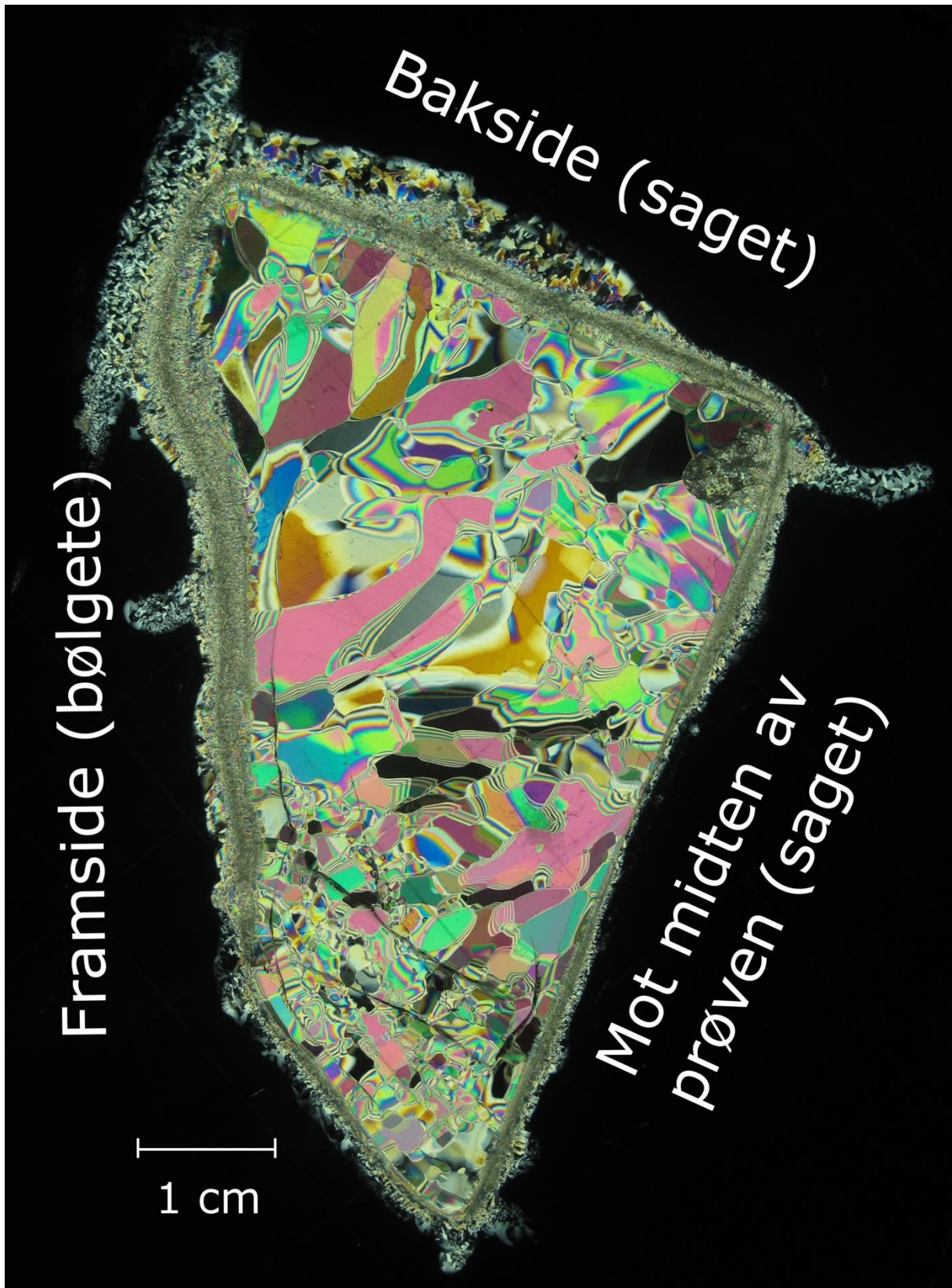
Vedlegg 2A - Vertikalsnitt av isprøve 1

Merknad: De små iskrystallene langs kanten av isprøven er fra vannet som ble brukt til å lime prøven fast til glassplaten.



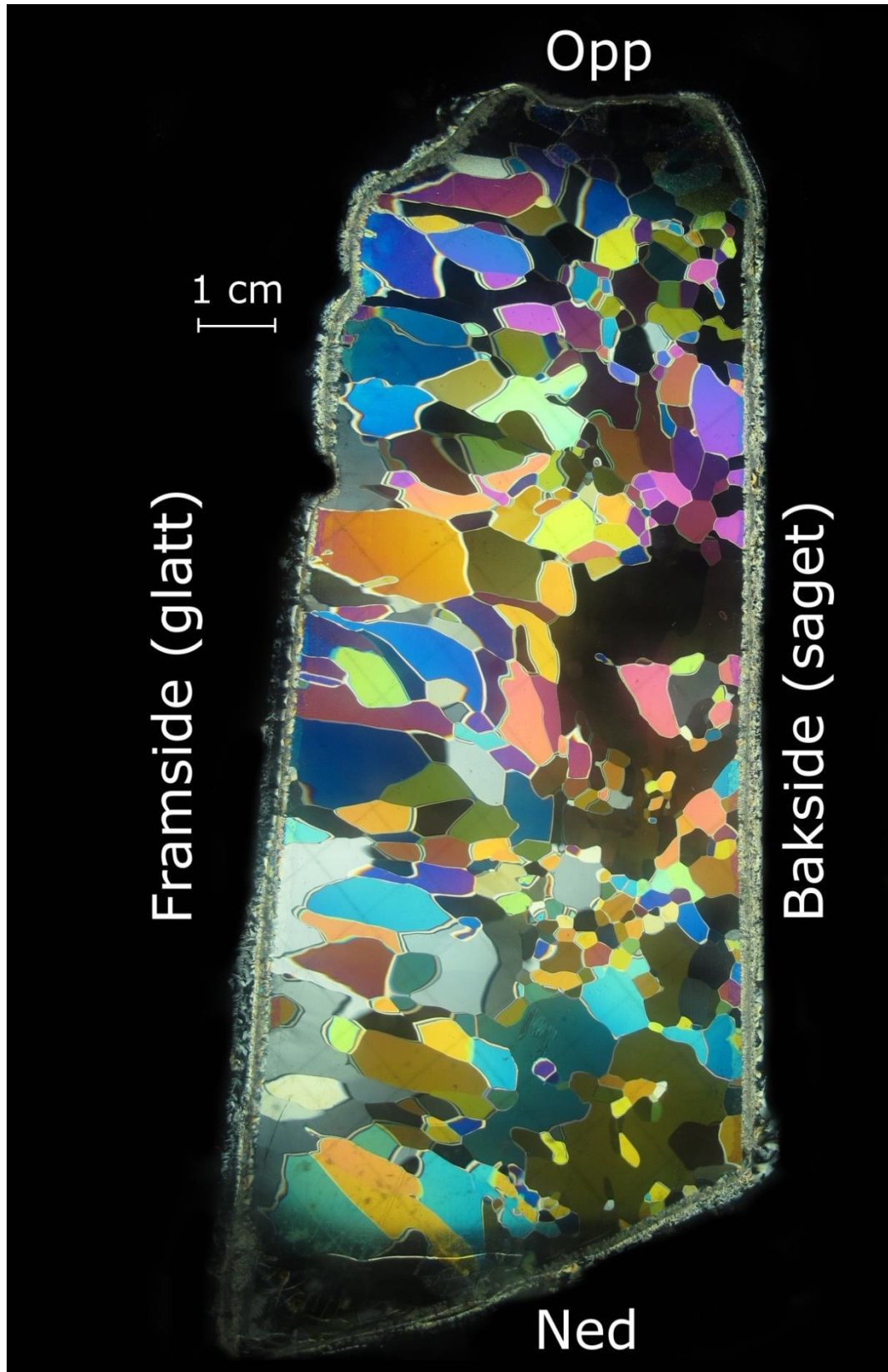
Vedlegg 2B - Horisontalsnitt av isprøve 1

Merknad: De små iskrystallene langs kanten av isprøven er fra vannet som ble brukt til å lime prøven fast til glassplaten.



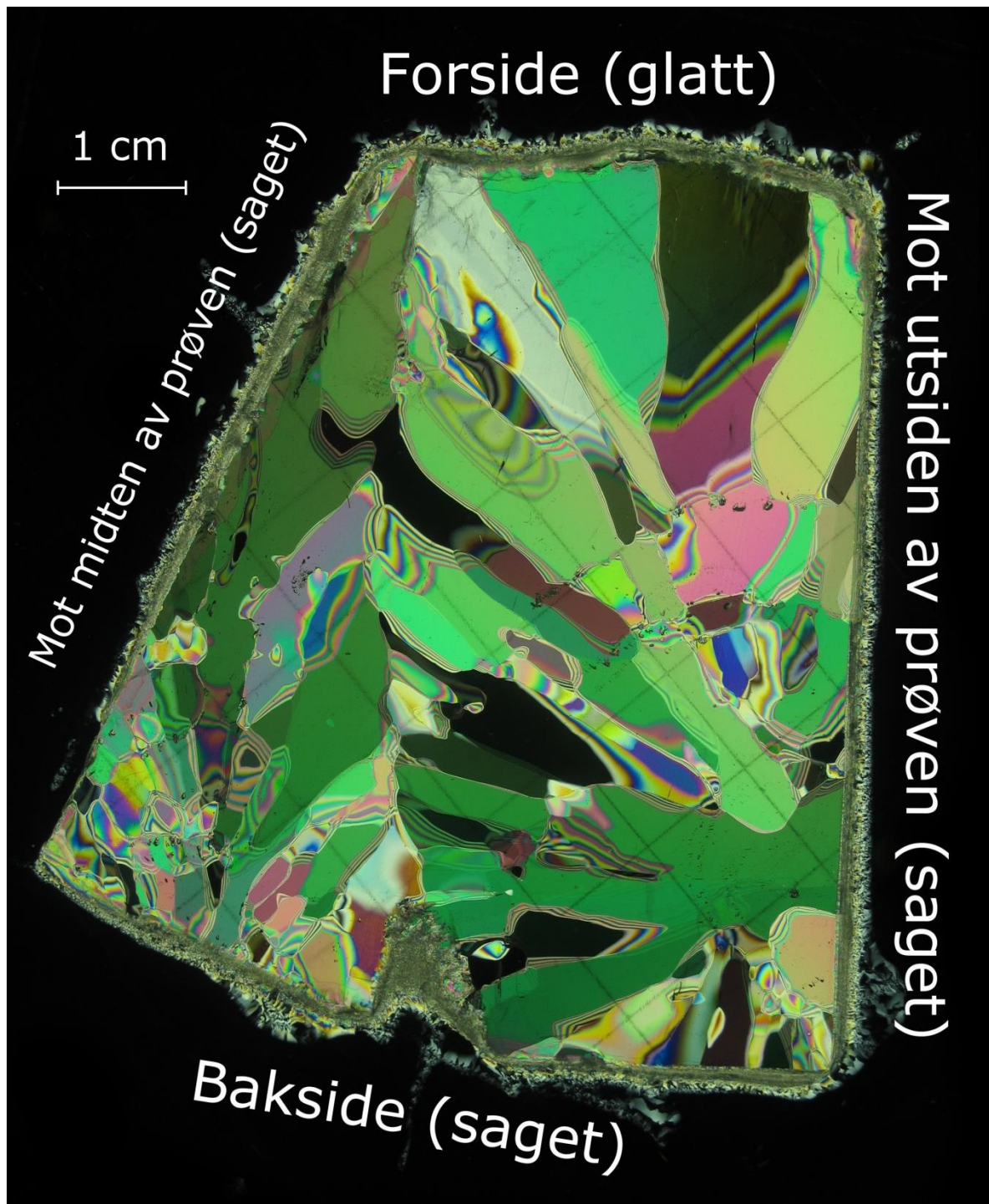
Vedlegg 2C - Vertikalsnitt av isprøve 2

Merknad: De små iskrystallene langs kanten av isprøven er fra vannet som ble brukt til å lime prøven fast til glassplaten.



Vedlegg 2D - Horisontalsnitt av isprøve 2

Merknad: De små iskrystallene langs kanten av isprøven er fra vannet som ble brukt til å lime prøven fast til glassplaten.



Vedlegg 3 - Oversikt over utførte befaringer

Befaringene er sortert etter strekning og dato. De tidligste befaringene står først for hver strekning.

Dato	Strekning	Formål	Viktigste observasjoner
5.11.15	Meråkerbanen, Hell - Meråker	Se på lokale forhold.	Mye vann i terrenget og i skjæringer.
16.11.15	Meråkerbanen, Hell - Storlien	Se på lokale forhold.	
15.1.16	Meråkerbanen, Hell - Storlien	Studere årsaker, ulike typer iskjøving.	Lite is pga. barfrost + sterk kulde. Isen var bølgete og tørr.
5.2.16	Meråkerbanen, Hell - Storlien	Studere årsaker, ulike typer iskjøving.	Snøfall dekket mye av isen. Isen var glatt de fleste steder.
19.2.16	Meråkerbanen, Hell - Storlien	Ta med isprøver. Studere årsaker, ulike typer iskjøving.	Isen har begynt å smelte i sørvendte skjæringer med mye solinnstråling.
20.9.15	Tann- Annolsetervegen, Breidalen	Se på lokale forhold.	Mye vann i skjæringer. Markert vannførende lag/sjikt i bergskjæringen.
30.12.15	Tann- Annolsetervegen, Breidalen	Se omfanget av iskjøving i skjæring og grøfter.	Isen vokser noen steder i bølger og andre steder med glatt overflate.
1.1.16	Tann- Annolsetervegen, Breidalen	Studere iskjøving i skjæring og grøfter, samt studere bølgete is.	Bølgene fryser fra utsiden og innover.
2.1.16	Tann- Annolsetervegen, Breidalen	Bilder, registrering av alle punkter med is.	Mye vann i isen. Ulike fryseprosesser og ulike stadier.
7.3.16	Tann- Annolsetervegen, Breidalen	Hente isprøver. Studere omfanget av is, spesielt i grøftene.	Mye vann langt innover i isen. Noen steder veldig aktiv is, andre steder inaktiv.

26.3.16	Tann-Annolsetervegen, Breidalen	Se på hvordan isen smelter ned.	Isen smelter raskest på østsiden av dalen.
6.11.15	Fv 30, Rognes - Haltdalen	Se på lokale forhold.	Mye vann i skjæringer. Smale og grunne grøfter.
25.1.16	Fv 30, Rognes - Haltdalen	Se på omfanget av is, evt. problemer	Ganske lite is. Nett fungerer bra.
3.11.15	E 39, Engdalen ved Vinjefjorden	Se på lokale forhold og utførte tiltak	Store mengder vann, jevn strømming pga. svaberg. Solide isnett.
9.3.16	E 39, Engdalen ved Vinjefjorden	Se på omfanget av is, effekt av tiltak.	Lite is.
11.3.16	Ny E 6, Frya- Sjoa	Se på utførte tiltak og steder med isproblemer	Store isproblemer ved Odenrud.
19.5.16	Ny E 6, Frya- Sjoa	Finne årsak til iskjøving v/ Odenrud, diskutere tiltak	Vannet kommer fra grunnvannskilder i løsmassene.
3.3.16	Svineroivegen (FV 651), Rjukan - Gaustablikk	Se på effekt av utførte tiltak	Store ismengder, god effekt av nett og fanggjerd
3.3.16	Tinnsjøvegen (Rv 37), Håkånes - Rudsgrendi	Se på is ved tunnelmunninger	For korte tunneler/-portaler
15.3.16	Nordlandsbanen, Mo i Rana	Se på effekt av utførte tiltak.	God effekt av varmekabler.

Vedlegg 4 - Oversikt over alle steder som er studert på befaringer

Forklaring til tabellen:

Overflatevann = Vann i øvre jordlag/humusdekke

Bekk = konsentrert overflatevann

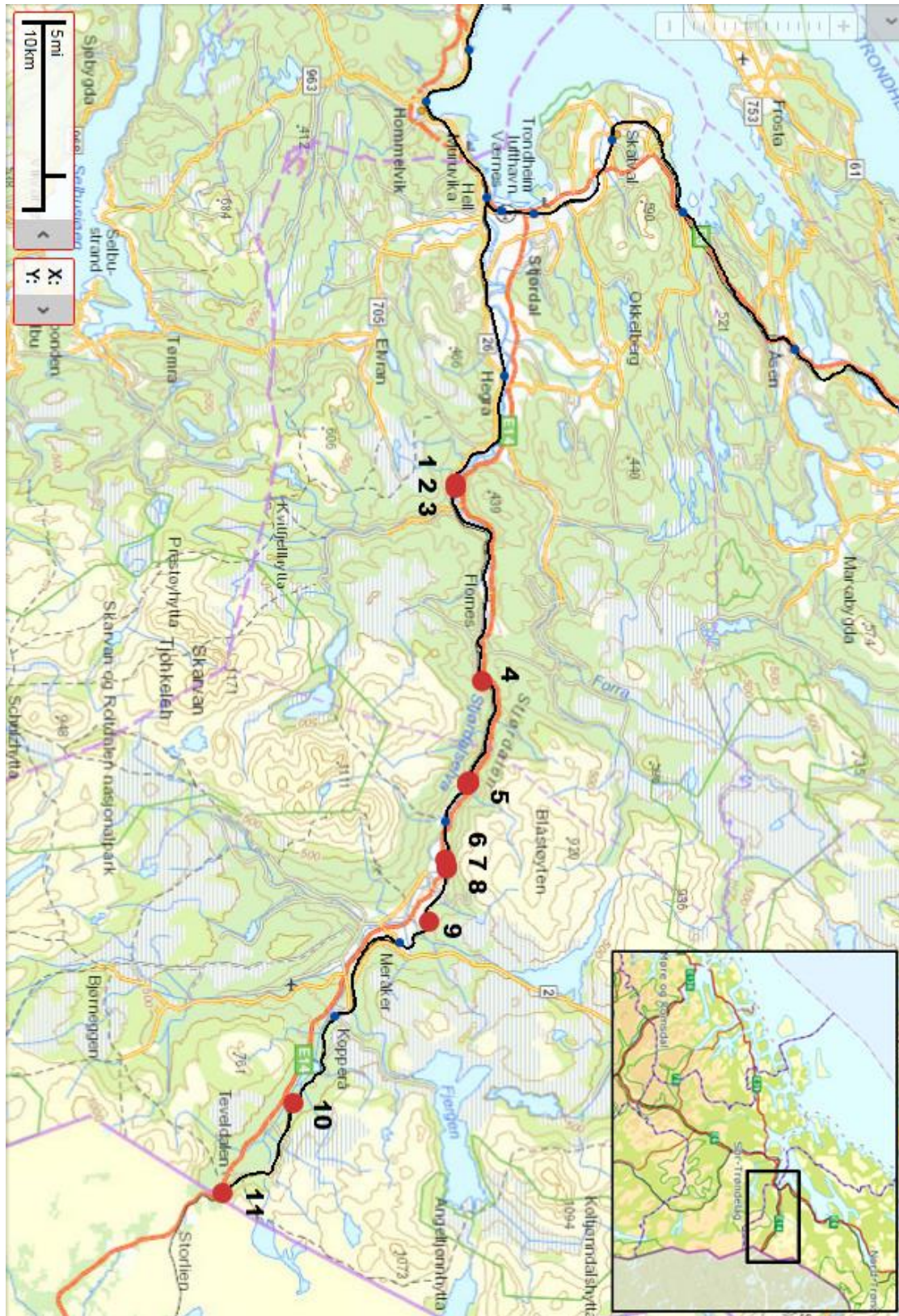
Grunnvann J = Jevnt fordelt grunnvann i løsmasser og/eller bergmasser

Grunnvann K = konsentrerte kilder eller utspring

Strekning	Stedsnavn (nr)	Problem	Vannkilde	Vedlegg nr
Meråkerbanen, Nord-Trøndelag	Sørkilhaugen (1)	Iskjøving i bekk i skjæring	Bekk	5A
	Sørkilmo vest (2)	Iskjøving i bekk, stikkrenne og grøft	Bekk	5B
	Sørkilmo øst (3)	Iskjøving i bekk og stikkrenne	Bekk	5C
	Sørkringen (4)	Iskjøving i skjæring	Grunnvann J Bekk	5D
	Langneset (5)	Iskjøving i grøft	Grunnvann J	5E
	Geilberget (6)	Iskjøving i skjæring	Grunnvann J	5F
	Brennhaugen (7)	Iskjøving i skjæring	Grunnvann J	5G
	Langsvehaugen (8)	Iskjøving i skjæring	Grunnvann J	5H
	Trøbakktrøa (9)	Iskjøving i skjæring	Grunnvann J Grunnvann K	5I
	Tovmodalen (10)	Iskjøving inn mot sporet	Grunnvann J	5J
	Teveldalen (11)	Iskjøving i skjæring	Grunnvann J	5K

Tann- Annolsetervegen, Oppland	Breidalen (1)	Iskjøving i fjellside	Grunnvann J	6A
	Breidalen (2)	Iskjøving i fjellside	Grunnvann K	6B
	Breidalen (3)	Iskjøving i skjæring og grøft	Grunnvann K	6C
	Breidalen (4)	Iskjøving i skjæring	Grunnvann J Grunnvann K	6D
Fv 30, Sør- Trøndelag	Villmannsøya	Iskjøving i skjæring og grøft	Grunnvann J	7A
	Almåskroken	Isras og iskjøving i skjæring og grøft	Grunnvann J	7B
E 39, Møre- og Romsdal	Engdalen	Isras og iskjøving i grøft	Overflatevann Grunnvann J	8
Ny E 6, Oppland	Rudland	Iskjøving i skjæring	Grunnvann J Grunnvann K	9A
	Odenrud	Iskjøving bak teknisk bygg	Grunnvann K	9B
Fv 651, Telemark	Rjukan - Gaustablikk	Isras og iskjøving i fjellside, skjæring og grøft	Bekk Overflatevann Grunnvann	10
Nordlandsbanen, Nordland	Dalsklubben	Iskjøving i skjæring og grøft	Grunnvann J	11A
	Åga	Iskjøving i skjæring og grøft	Grunnvann J	11B
	Hjartåsen	Iskjøving i tunnel og skjæring	Grunnvann K	11C

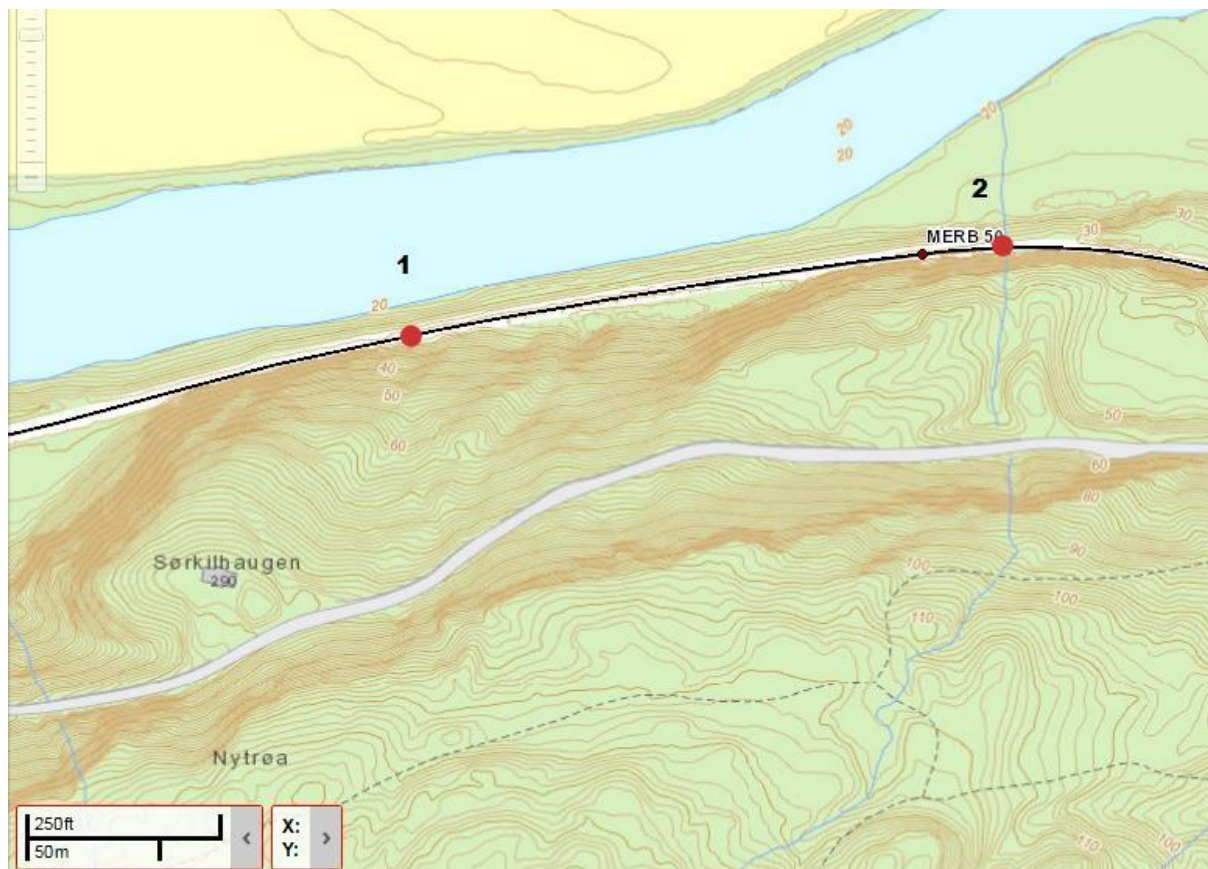
Vedlegg 5 – Meråkerbanen, Hell - Storlien



Figur V- 1) Oversiktskart over Meråkerbanen mellom Hell og Storlien (Jernbaneverket, 2016, Norgeskart, 2016).

Vedlegg 5A - Sørkilhaugen (Meråkerbanen 1)

Plassering: Meråkerbanen km 49,7, høyre side.



Figur V-2) Detaljkart over Sørkilhaugen (Meråkerbanen 1), ca. 6 km øst for Hegra stasjon. Det renner en liten bekk i skjæringen (Jernbaneverket, 2016).

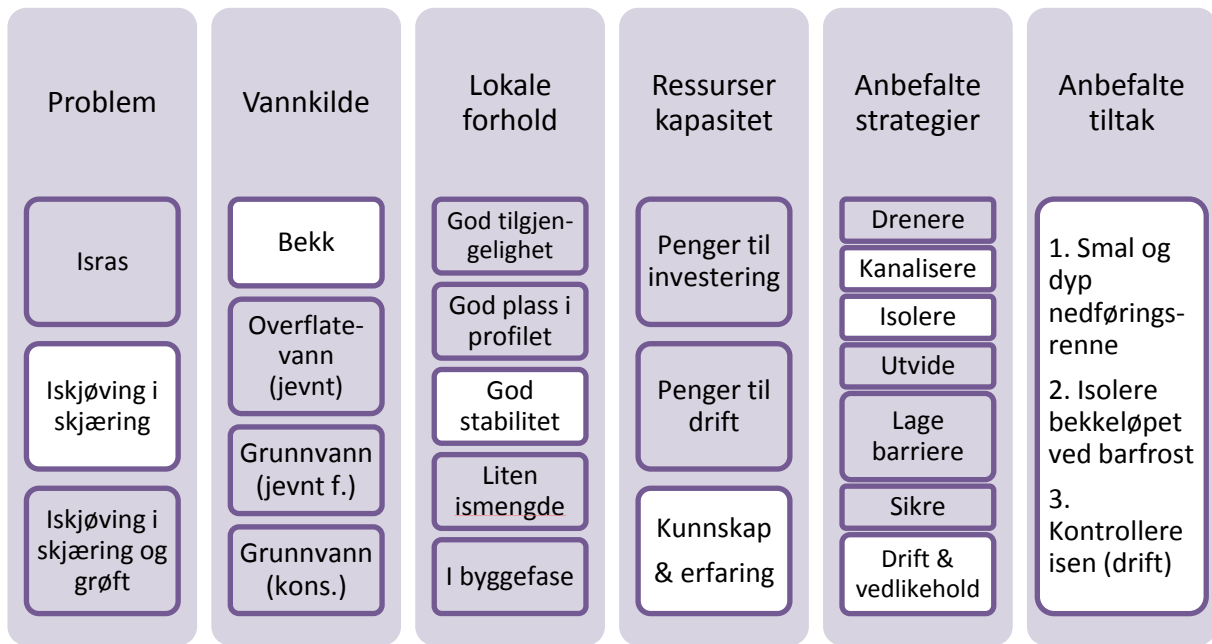
Ved Sørkilhaugen renner en bekk over en lav skjæring og ned i stikkrenne under sporet. Bekken har lav vannføring på befaringen til stedet 16.11.15. Området ovenfor skjæringen er ryddet for løsmasser og vegetasjon, slik at berget er avdekket. Se Figur V- 3 og Figur V- 4. I vintre med barfrost kjøver bekken i skjæringen, før den renner ned til stikkrenna. Hvis isen får bygge seg opp fungerer den som en demning for vannet. Vannet kan da renne ned mot sporet på østsiden av bekken og skape problemer med is og vann i grøfta og sporet.



Figur V- 3a) Liten bekk med lav vannføring. Vegetasjon og løsmassedekke er fjernet ovenfor den lave skjæringen. Foto: A. Liereng (16.11.15).
b) Bekken begynner å kjøve der bekkeløpet vider seg ut og vegetasjonen er fjernet. Etter hvert fylles hele bekkeløpet med is. Foto: A. Liereng (15.1.16).



Figur V- 4) Innløpet til stikkrenna er ikke fylt med is. Det er ikke stikkrenna som er årsaken til iskjøvingen i bekken. Foto: A. Liereng (15.1.16).

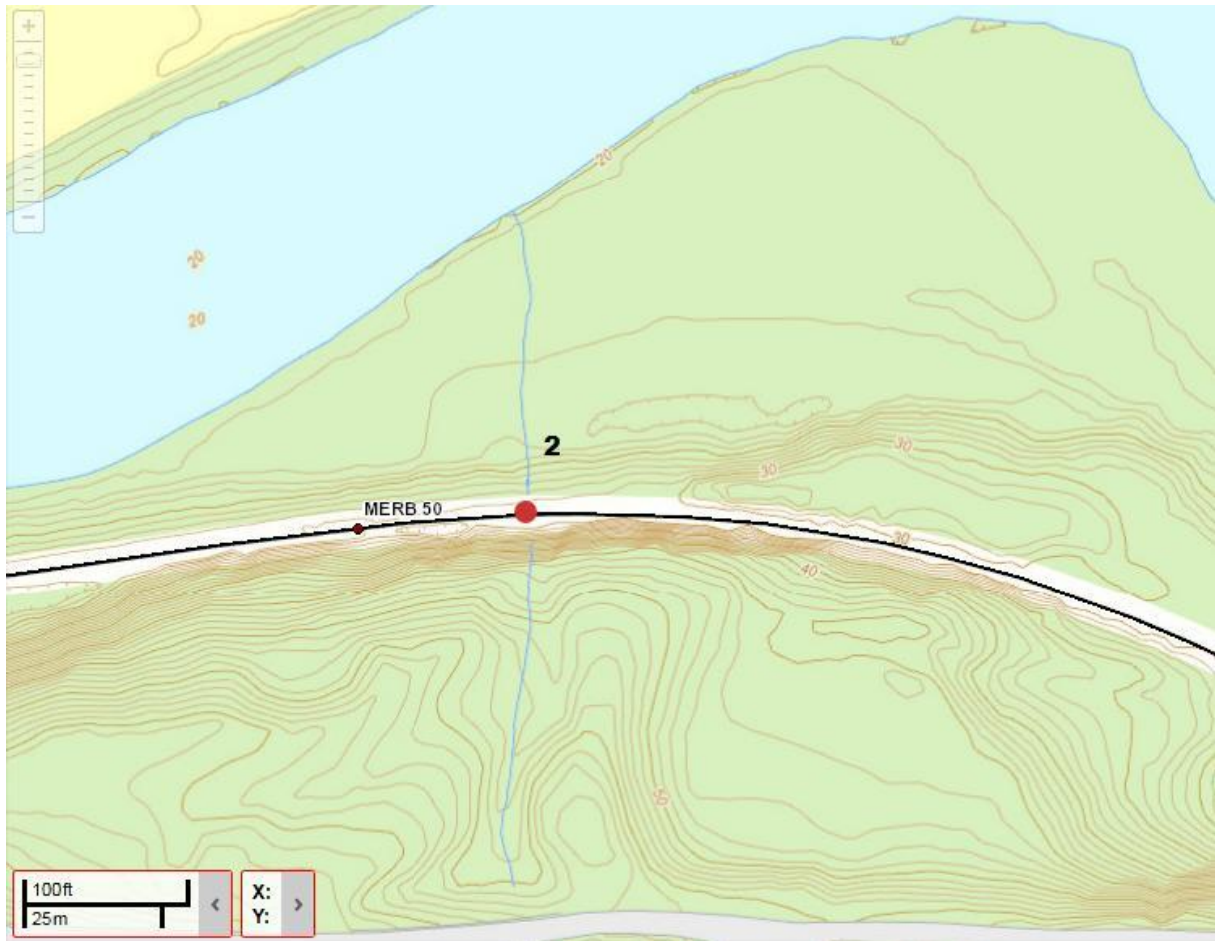
Anbefalte tiltak

Figur V- 5) Anbefalte tiltak for skjæringen ved Sørkilhaugen (Meråkerbanen 1).

Årsaken til iskjøvingen i bekken er at vannet taper mye varme til omgivelsene idet det renner ut over den kalde bergoverflaten. Det vide og grunne bekkeløpet bidrar til stor eksponering av vannet. Det beste tiltaket på dette stedet vil derfor være å lage en smalere og dypere nedføringsrenne. Renna bør starte ovenfor stedet der berget er avdekket og fortsette helt ned til stikkrenna. Et annet alternativ er å isolere bekkeløpet ved barfrost tidlig på vinteren. Dersom det legges granbar, eller et enkelt tak over bekkeløpet, vil vannet tape mindre varme til omgivelsene. Dette reduserer sannsynligheten for iskjøving. Et tredje alternativ er å fortsette som i dag, med overvåkning og eventuelle kontrollerende driftstiltak.

Vedlegg 5B - Sørkilmo vest (Meråkerbanen 2)

Plassering: Meråkerbanen km 50,0, høyre side.



Figur V- 6) Detaljkart over Sørkilmo vest (Meråkerbanen 2), ca. 6 km øst for Hegra stasjon. Det kjøver i en bekk i en høy skjæring, selv om det er laget en nedføringsrenne (Jernbaneverket, 2016).

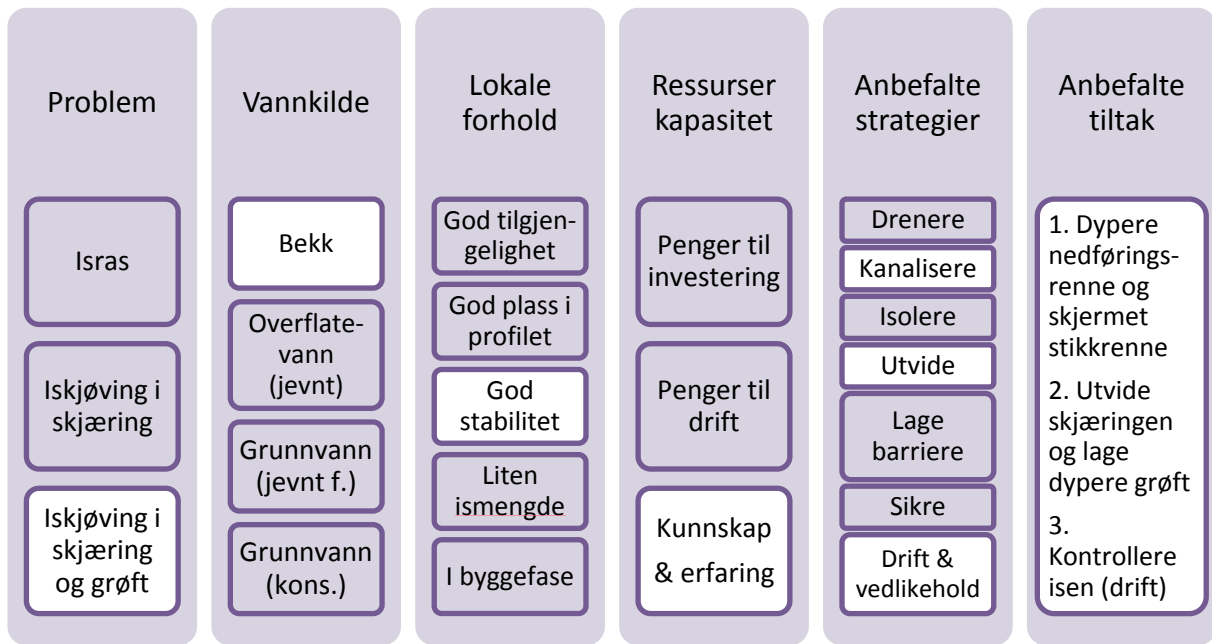
Ved Sørkilmo er det en høy skjæring på høyre side av sporet. En bekk renner ned over skjæringen i en dyp nedføringsrenne til stikkrenne under sporet. Nedføringsrenna er smal øverst og vider seg noe ut i nederste del. Bekken har fryst og tettet innløpet til stikkrenna, som vist i Figur V- 7. Det er mest is i nedre halvdel av nedføringsrenna, se Figur V- 8. Siden stikkrenna er utilgjengelig har det begynt å kjøve i grøfta langs hele skjæringen. Isen hindrer drenering, og dersom tiltak ikke settes i verk kan isen komme inn i sporet. For å redusere problemene er det lagt ut to saltsteiner for å smelte hull i isen. Da kan noe av vannet renne under isen og ned i stikkrenna.



Figur V- 7a) Iskjøving i bekkeløpet har tettet stikkrenna. Dette har ført til omfattende iskjøving i grøfta langs skjæringen. b) Nedre del av nedføringsrenna. Det lille hullet i isen er laget med salt og viser plasseringen av stikkrenna. Det er lagt ut saltstein for å smelte en åpen kanal for vannet ned til stikkrenna. Foto: A. Liereng (15.1.16)



Figur V- 8a) Øvre del av nedføringsrenna er smalere enn den nedre delen. Det er mindre is i toppen av skjæringen enn i bunnen ved stikkrenna. b) Vannet fra bekken sprer seg ut i grøfta siden stikkrenna er utilgjengelig. Det er mye vann over isen i grøfta, og vannet er dekket av et tynt islag. Foto: A. Liereng (15.1.16).

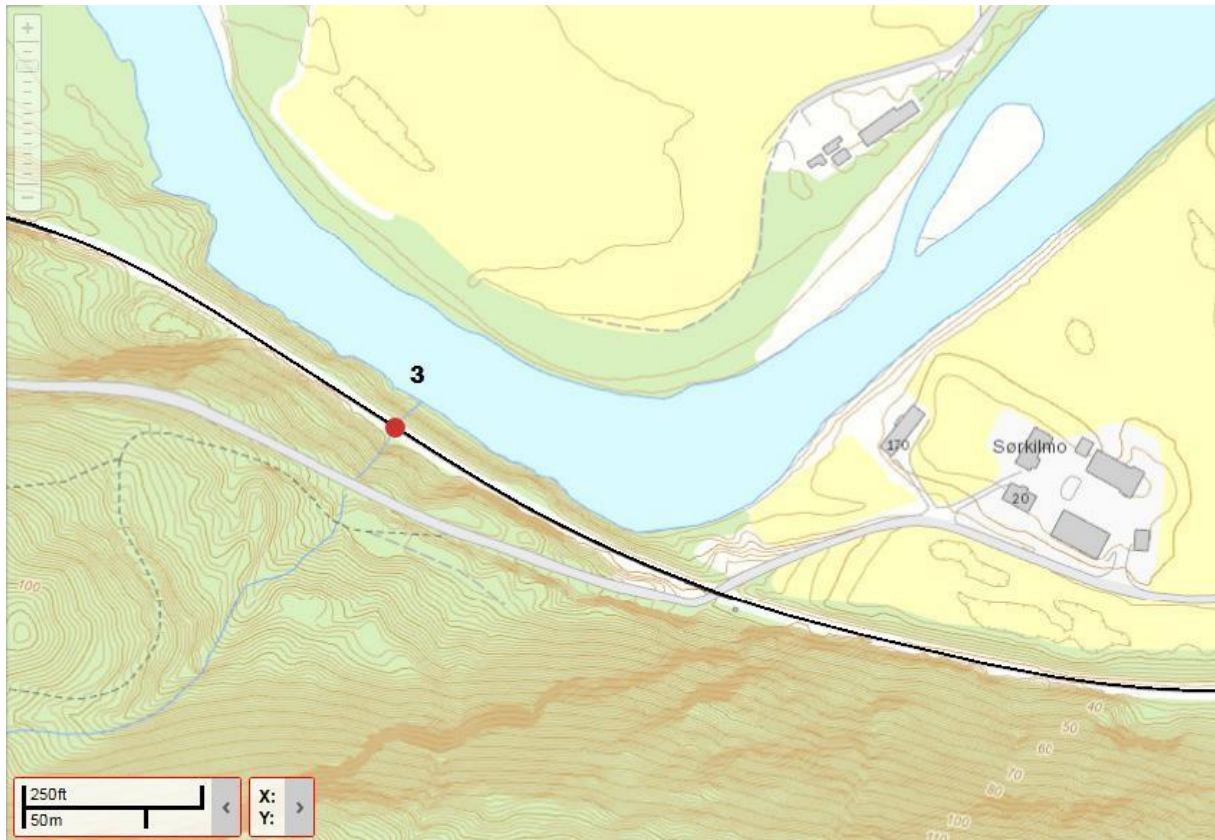
Anbefalte tiltak

Figur V- 9) Anbefalte tiltak for skjæringen ved Sørkilmo (vest) (Meråkerbanen 2).

Det er iskjøvingen i stikkrenna og grøfta langs sporet som skaper de største problemene på stedet. Dersom stikkrenna kan holdes åpen vil iskjøving i grøfta mest sannsynlig unngås. En løsning kan være å gjøre nedføringsrenna dypere og dermed skjerme innløpet til stikkrenna. Innløpet til stikkrenna kan også plasseres dypere og eventuelt isoleres for å holde det åpent i perioder med barfrost. Et annet alternativ er å utvide skjæringen eller flytte sporet unna skjæringen. Da kan det lages dypere grøft som både minsker risikoen for iskjøving og har større lagringskapasitet for is. Et tredje alternativ er å fortsette som i dag, med forebyggende driftstiltak.

Vedlegg 5C - Sørkilmo øst (Meråkerbanen 3)

Plassering: Meråkerbanen km 50,35, høyre side.



Figur V- 10) Detaljkart over Sørkilmo øst (Meråkerbanen 3). Det er lagt ut en stikkrenne for å føre en bekk under sporet. Det kjøver i innløpet til stikkrenna og isen bygger seg opp i grøfta (Jernbaneverket, 2016).

Ved Sørkilmo føres en bekk ned til en stikkrenne under sporet. Det er en del iskjøving i bekkeløpet, og mye iskjøving i grøfta og ved innløpet til stikkrenna. Grøfta er ganske stor på dette punktet, så det er plass til å lagre en god del is. Isen har derfor ikke spredd seg videre i grøftene langs sporet. Det er også laget to ekstra stikkrenner øst for hovedstikkrenna, se Figur V- 11. Disse ligger høyere enn hovedstikkrenna og er derfor tørre om vinteren. Isen kontrolleres også med salting. Løst salt og saltstein benyttes for å smelte en åpen kanal ned til stikkrenna som vist i Figur V- 12. Dermed kan en del av vannet renne under isen og hindre mer iskjøving. Problemene på dette stedet er under kontroll og det er derfor ikke foreslått ytterligere tiltak.



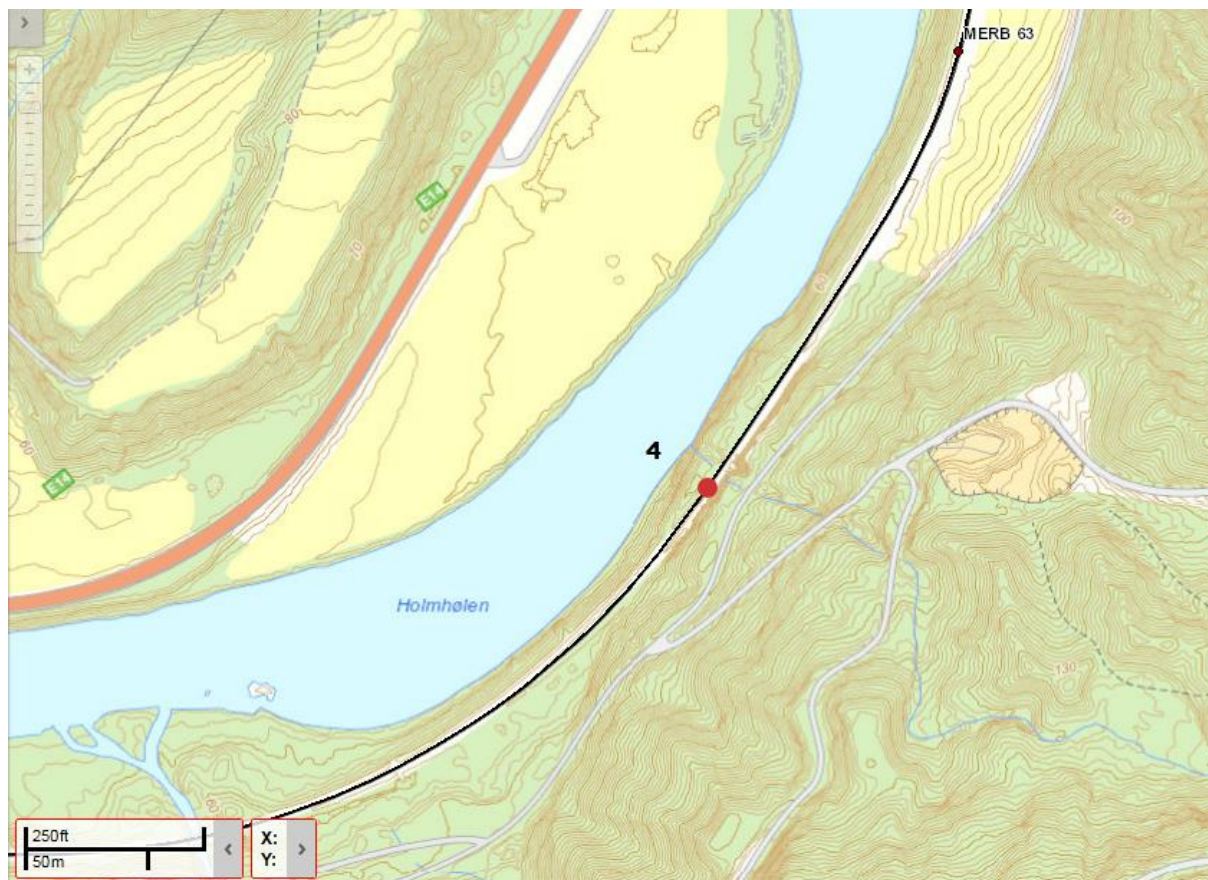
Figur V- 11) To ekstra stikkrenner, plassert et par meter øst for hovedstikkrenna. Disse er tørre og fri for is. Foto: A. Liereng (15.1.16).



Figur V- 12) Iskjøving i bekkeløp og innløp til stikkrenne. Hullet i isen er laget av en saltstein. Etter at bildet ble tatt, ble det lagt ut mer salt for å smelte en åpen kanal for vannet ned til stikkrenna. Foto: A. Liereng (15.1.16).

Vedlegg 5D - Sørkringen (Meråkerbanen 4)

Plassering: Meråkerbanen km 62,75, høyre side.



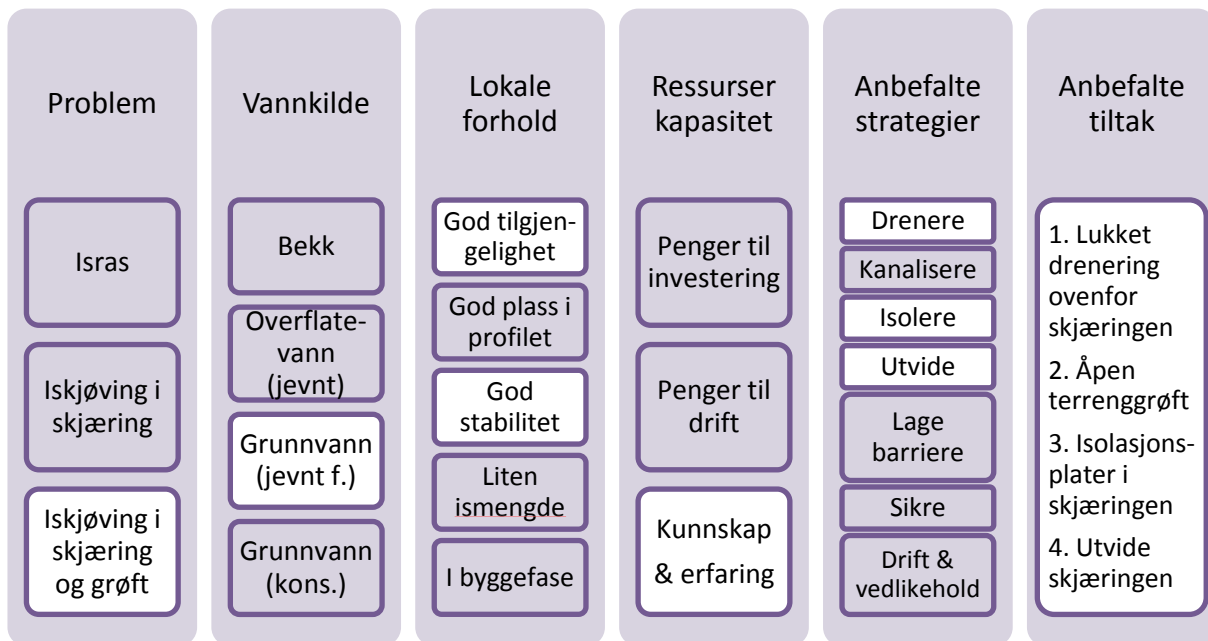
Figur V- 13) Detaljkart for Sørkringen (Meråkerbanen 4). Iskjøvingen oppstår i en lav skjæring på høyre side av sporet (Jernbaneverket, 2016).

Ved Sørkringen dannes det ofte is i skjæringen, som vist i Figur V-14. Isen begynner der løsmassedekket slutter og berget avdekkes. Isen kan komme inn i profilet for togene og fyller også grøftene. Årsaken til iskjøvingen er grunnvann fra terrenget ovenfor skjæringen. Berget var fuktig og mosedekket på befaring 5.11.15, og vannet kom fra grensa mellom berg og løsmasser. Ovenfor skjæringen går det en skogsbilveg og det er dermed meget enkelt å komme til for å gjøre tiltak.



Figur V-14a) Iskjøving i skjæring ved Sørkringen, sett mot sør. Profilet er smalt og det må derfor fjernes is fra både skjæringen og grøfta enkelte vintre. b) Iskjøving i nordenden av skjæringen. Isen holdes på å fylle grøfta. Foto: A. Liereng (15.1.16).

Anbefalte tiltak

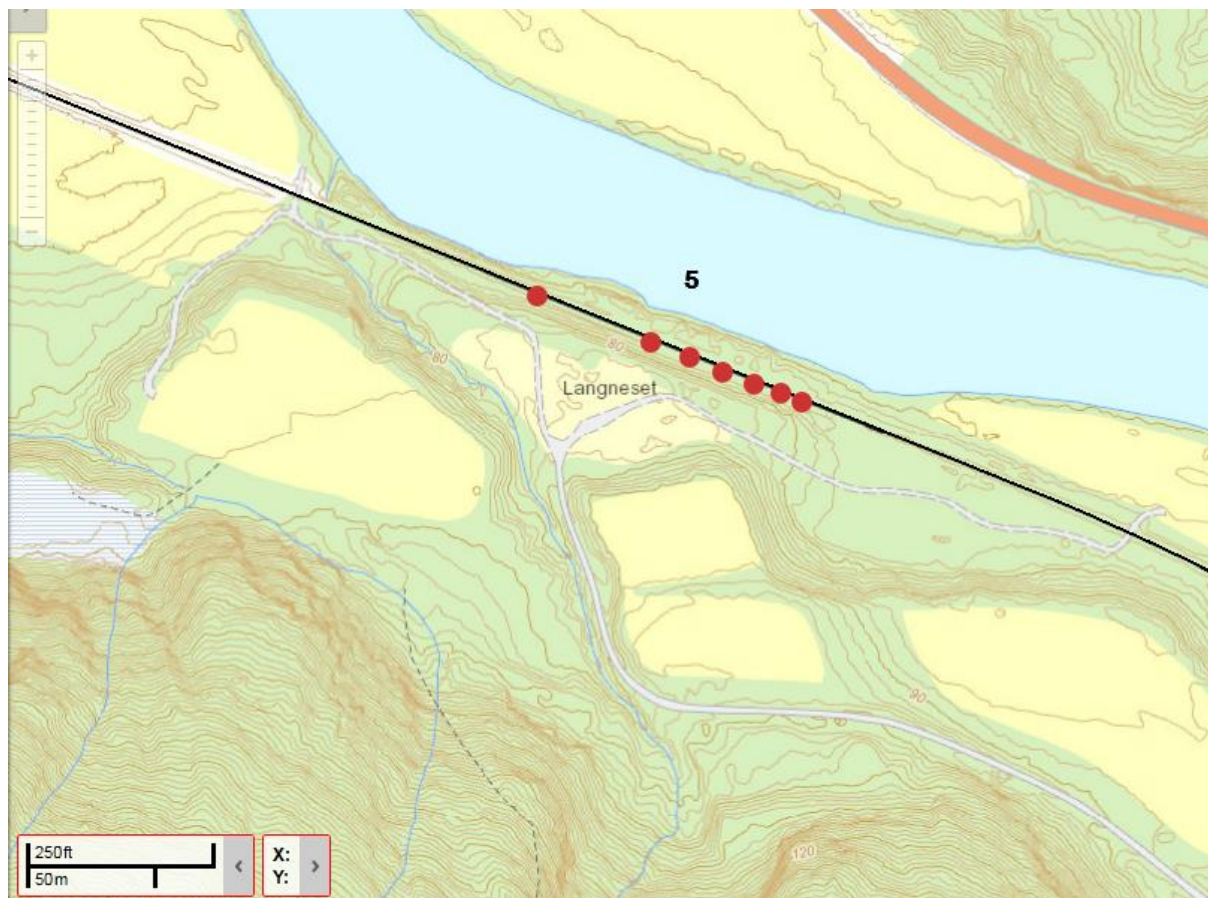


Figur V- 15. Anbefalte tiltak for skjæringen ved Sørkringen (Meråkerbanen 4).

Iskjøvingen ved Sørkringen skyldes mest sannsynlig grunnvann, og drenering bør dermed være den beste strategien. Siden tilgjengeligheten ovenfor skjæringen er veldig god, kan lukket drenering være mulig å få til selv med begrensede ressurser. Dreneringen kan plasseres nedenfor skogsbilvegen som går ovenfor jernbanen i dette punktet. Et rimeligere alternativ er en dyp, åpen terrenggrøft, gjerne pigget litt ned i berget for å samle mest mulig grunnvann. Drenering vil mest sannsynlig redusere problemene med iskjøving i hele skjæringen og grøfta. Et tredje forslag er å isolere de mest utsatte delene av skjæringen med isolasjonsplater for å føre vannet frostfritt ned til grøfta. En utvidelse av hele skjæringen er et fjerde alternativ.

Vedlegg 5E - Langneset (Meråkerbanen 5)

Plassering: Meråkerbanen km 69,3, høyre side.



Figur V- 16) Detaljkart for Meråkerbanen 5, Langneset. Iskjøvingen oppstår i en grøft nedenfor en jordskråning De røde punktene viser plasseringen av sju stikker som ble satt ut 5.11.15 (Jernbaneverket, 2016).

På Langneset er det en grøft nedenfor en jordskråning. I bunnen av skråningen er det et meget vått område dekket av mose, se Figur V- 17. Vannet er mest sannsynlig grunnvann som renner ut i dagen på grunn av et tett løsmasselag i bunnen av skråningen. I vintre med barfrost fylles grøfta med is fra siden som vist i Figur V- 18. For å følge med på hvor iskjøvingen starter ble det satt ut 7 stikker ved de våteste punktene 5.11.15. Figur V- 19 viser nærbilder av en av stikkene høsten 2015 og vinteren 2016. Som bildene viser, begynner isen akkurat i samme høyde som der grunnvannet renner ut av skråningen.



Figur V- 17) Nederste del av skråningen er våt og mosedekket. Det er satt ut stikker i de våteste punktene. Ovenfor stikkene, lenger opp i skråningen, er terrenget nokså tørt. Foto: A. Liereng (5.11.15).

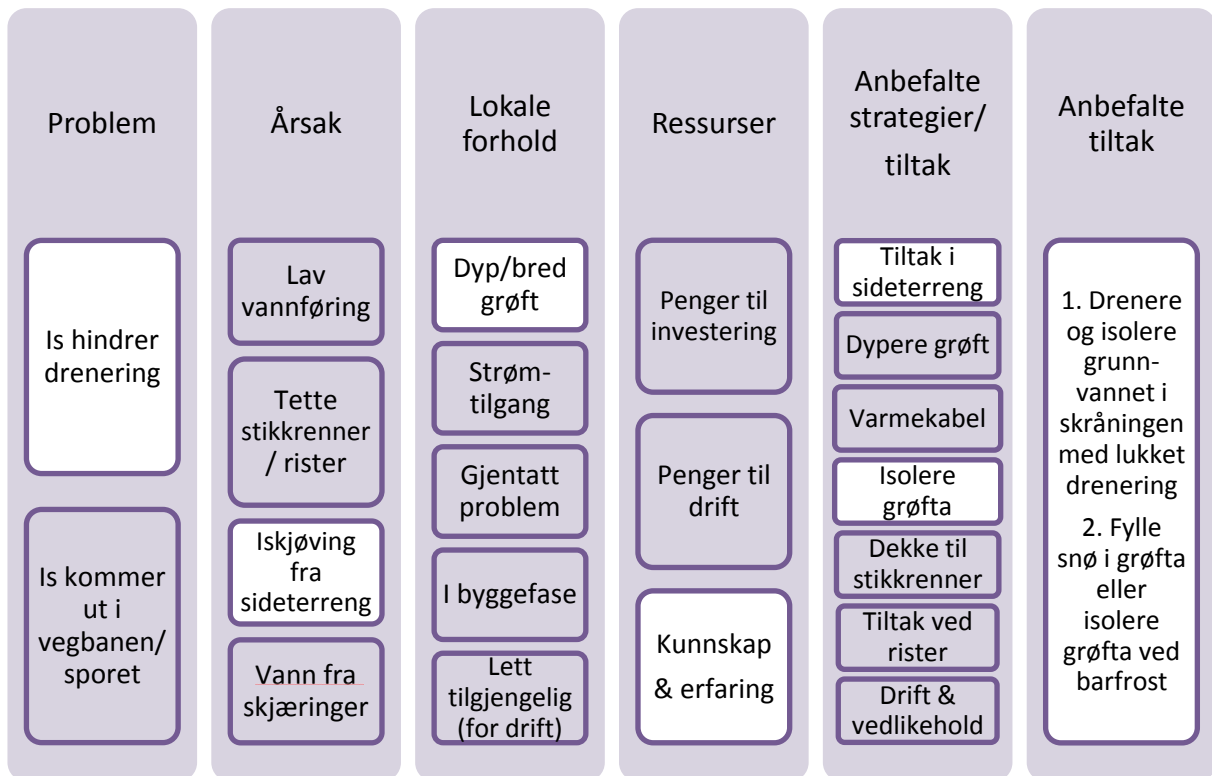


Figur V- 18) Samme strekning som forrige bilde, men sett motsatt vei. Legg merke til at isen begynner i akkurat samme høyde som der grunnvannet renner ut. Foto: A. Liereng (15.1.16).



Figur V- 19a) Detaljbilde av en av stikkene. Foto: A. Liereng (5.11.15) b) Samme sted. Iskjøving begynner der grunnvannet kommer fram i bunnen av skråningen. Foto: A. Liereng (15.1.16)

Anbefalte tiltak

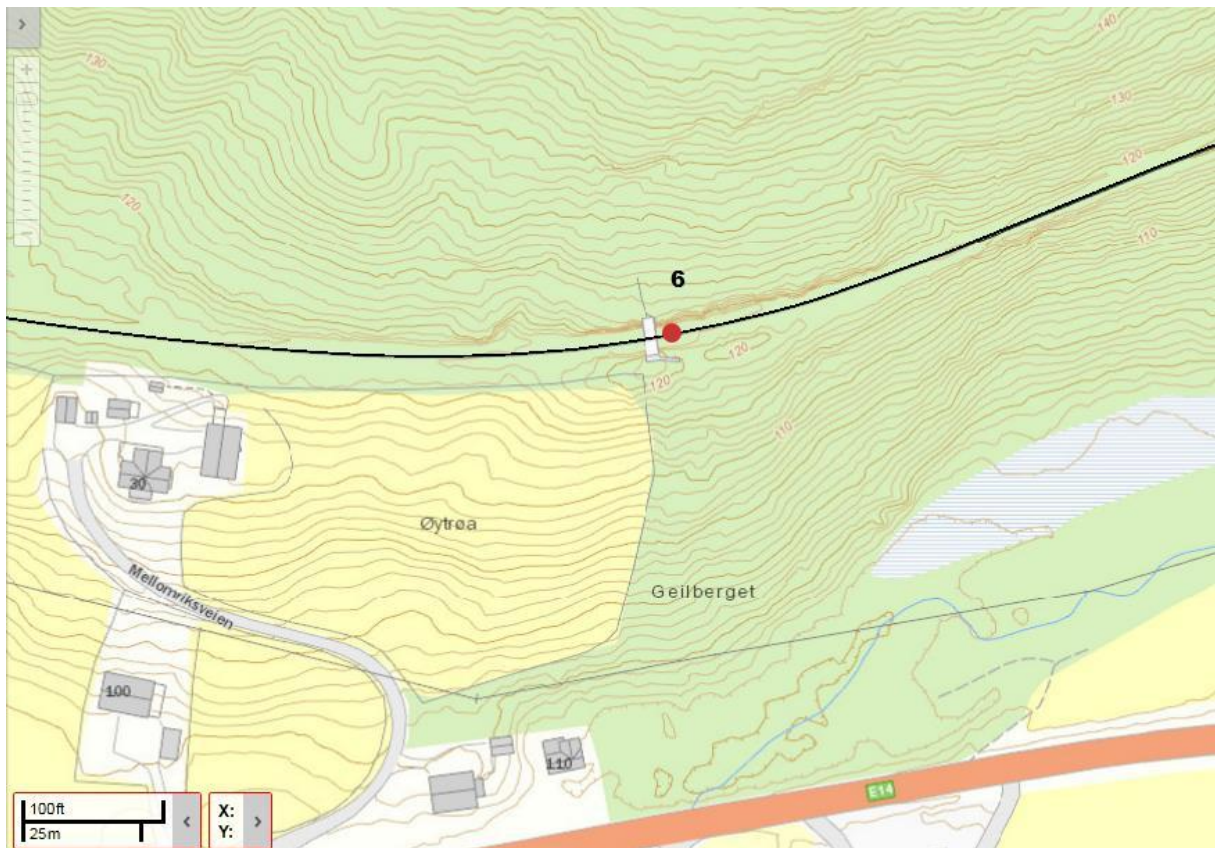


Figur V- 20. Anbefalte tiltak for grøft ved Langneset (Meråkerbanen 2)

Det beste forebyggende tiltaket vil nok være å drener grunnvannet ned i lukket drenering. Løsmassene i bunnen av skjæringen og under grøfta skiftes ut med drenerende materiale, for eksempel pukk eller grus. Over dette lages en vanlig overvannsgrøft med tett bunn. Grunnvannet kan da ledes ned under den åpne overvannsgrøfta og føres langs eller under jernbanen. Et rimeligere alternativ er å isolere grøfta i kalde perioder. Dersom det er snø tilgjengelig kan det være tilstrekkelig å fylle snø i grøfta, så hele den våte sonen er dekket. I perioder med barfrost kan det isoleres med granbar, isolasjonsmatten eller enkle tak over bunnen av skråningen.

Vedlegg 5F - Geilberget (Meråkerbanen 6)

Plassering: Meråkerbanen km 74,25, venstre side.



Figur V- 21) Detaljkart over Meråkerbanen 6 ved Geilberget. Det er iskjøving i en jordskråning og skjæring på venstre side av sporet (Jernbaneverket, 2016).

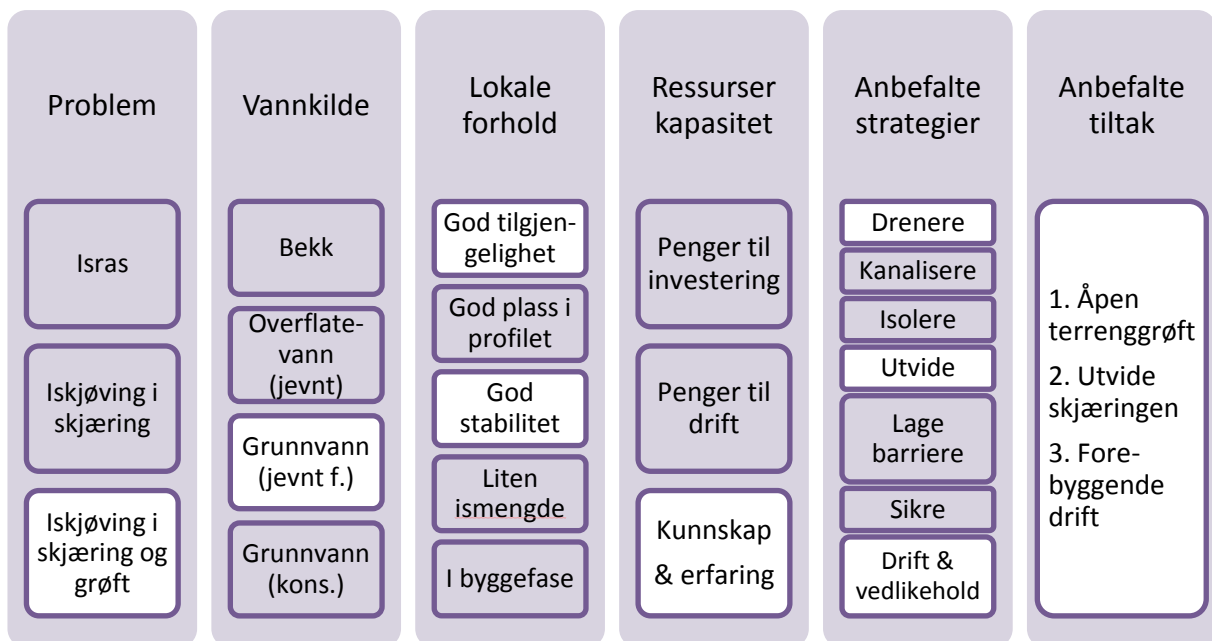
Skjæring øst for brua

Ved Geilberget er det en skjæring på venstre side av sporet. Det renner grunnvann i sjiktet mellom berg og løsmasser som eksponeres i skjæringen. Dette vises tydelig på Figur V-22a. Iskjøvingen begynner i toppen av skjæringen, der løsmassene er fjernet. Det kan også oppstå problemer med iskjøving i grøfta som kommer ut i sporet. Området ovenfor skjæringen er enkelt tilgjengelig for å gjøre tiltak.



Figur V-22a) Detaljbilde av toppen av skjæringen om høsten. Det renner ut grunnvann i laggrensa mellom berg og løsmasser. Skjæringen var tydelig våt selv i tørt vær. Foto: A. Liereng (5.11.16).
b) Iskjøving i skjæringen begynner der berget avdekkes. Foto: A. Liereng (15.1.16)

Anbefalte tiltak øst for brua



Figur V- 23) Anbefalte tiltak for skjæringen ved Geilberget (Meråkerbanen 6).

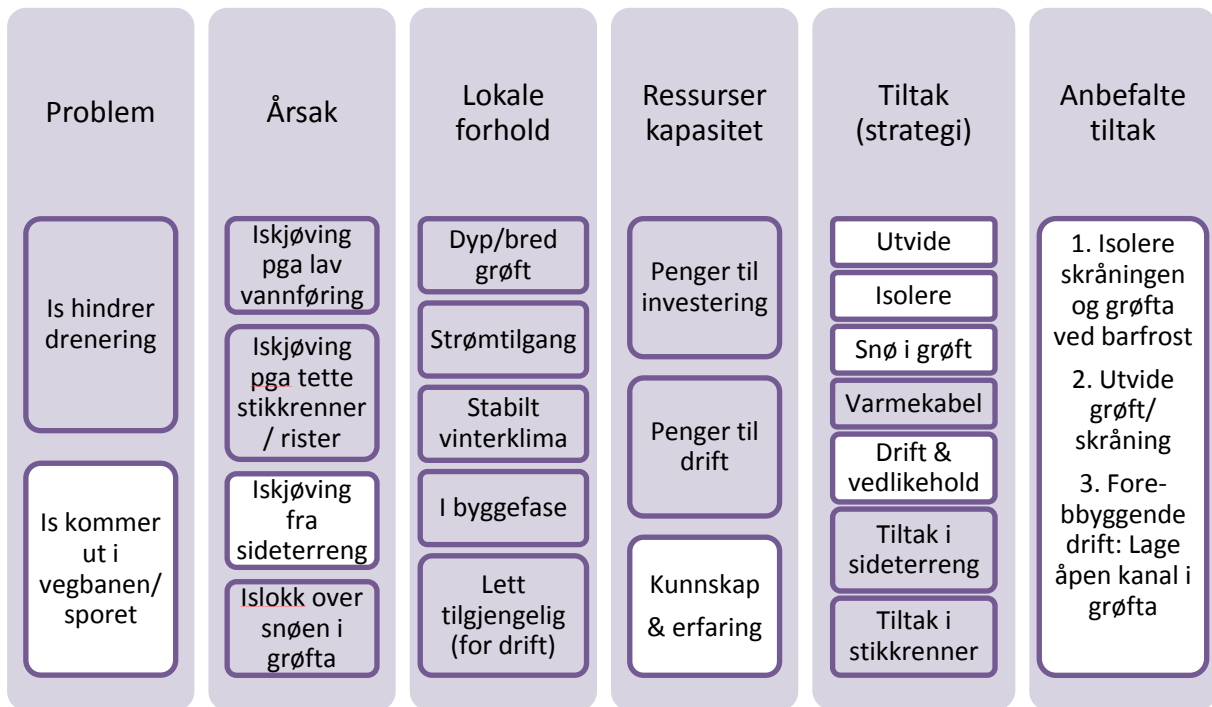
Iskjøvingen ved Geilverget skyldes grunnvannet som renner ut fra løsmassene, og drenering er dermed den beste strategien. Med begrensede ressurser vil en dyp, åpen terrenggrøft være det mest aktuelle alternativet. Grøfta kan gjerne pigges ned i berget for å samle mest mulig grunnvann. Et annet alternativ er å utvide skjæringen. Dette vil gi større lagringskapasitet i grøfta og større avstand mellom tog og is. Et tredje forslag er å fortsette som i dag med forebyggende drift.

Jordskråning vest for brua

Vest for brua er det også iskjøving langs sporet enkelte vintre. Isen dannes i en lav jordskråning, fyller grøfta og kommer ut mot sporet. På befarig 15.1.16 var isen på veg ut i sporet etter en periode med barfrost, se Figur V-24.



Figur V-24) Iskjøving i jordskråning har fylt grøfta og er på veg ut i sporet. Bildet er tatt vest for brua, sett mot vest. Isen har bygget seg opp i en periode med barfrost. Foto: A. Liereng (15.1.16)

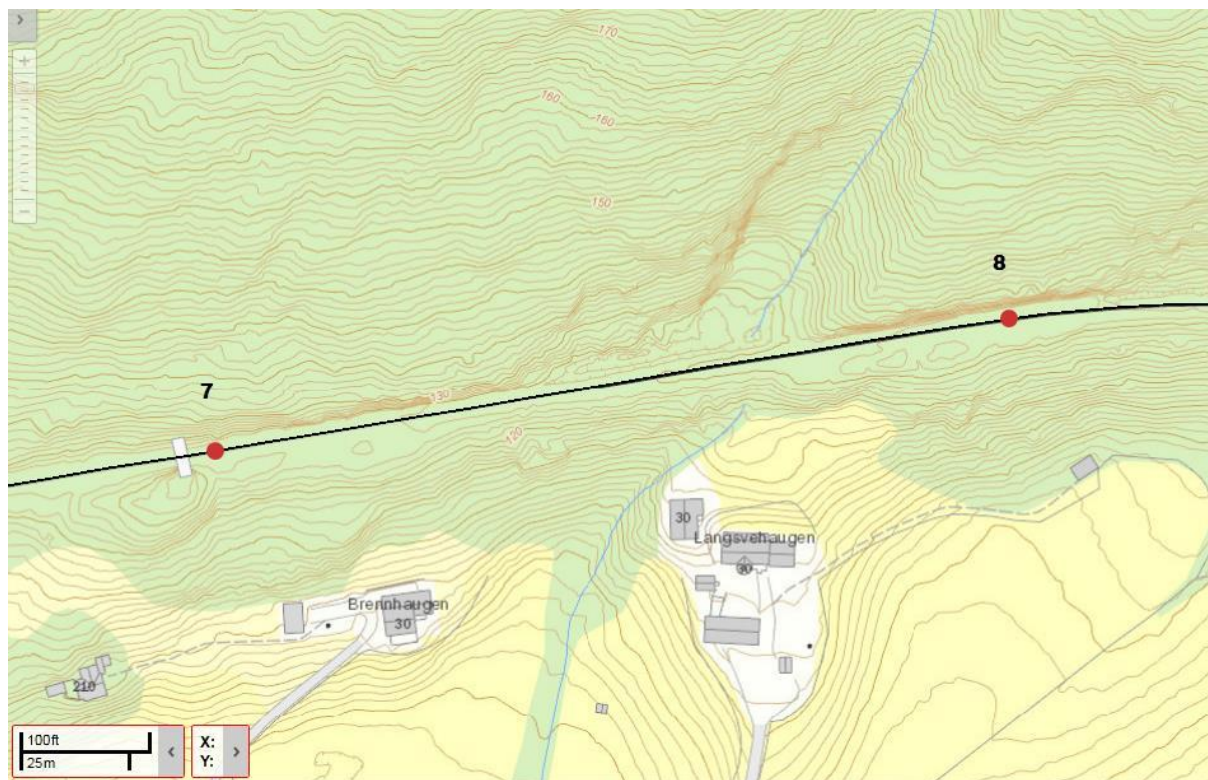
Anbefalte tiltak vest for brua

Figur V- 25) Anbefalte tiltak i grøfta vest for brua (Meråkerbanen 6).

I den lave jordskråningen er det to aktuelle løsninger. Den første er å isolere området i perioder med barfrost. Isolasjonsmatter, granbar eller andre isolerende materialer kan benyttes. Den andre løsningen er å utvide grøfta og skråningen akkurat i dette punktet, slik at det blir plass til mer is. På den måten vil det ta lenger tid før isen når sporet. Eventuelt kan man fortsette med forebyggende drift som i dag. Da er det viktig å lage en åpen kanal i grøfta, der vannet kan renne. Dette vil hindre isen i å komme ut i sporet.

Vedlegg 5G - Brennhaugen (Meråkerbanen 7)

Plassering: Meråkerbanen km 74,6, venstre side.

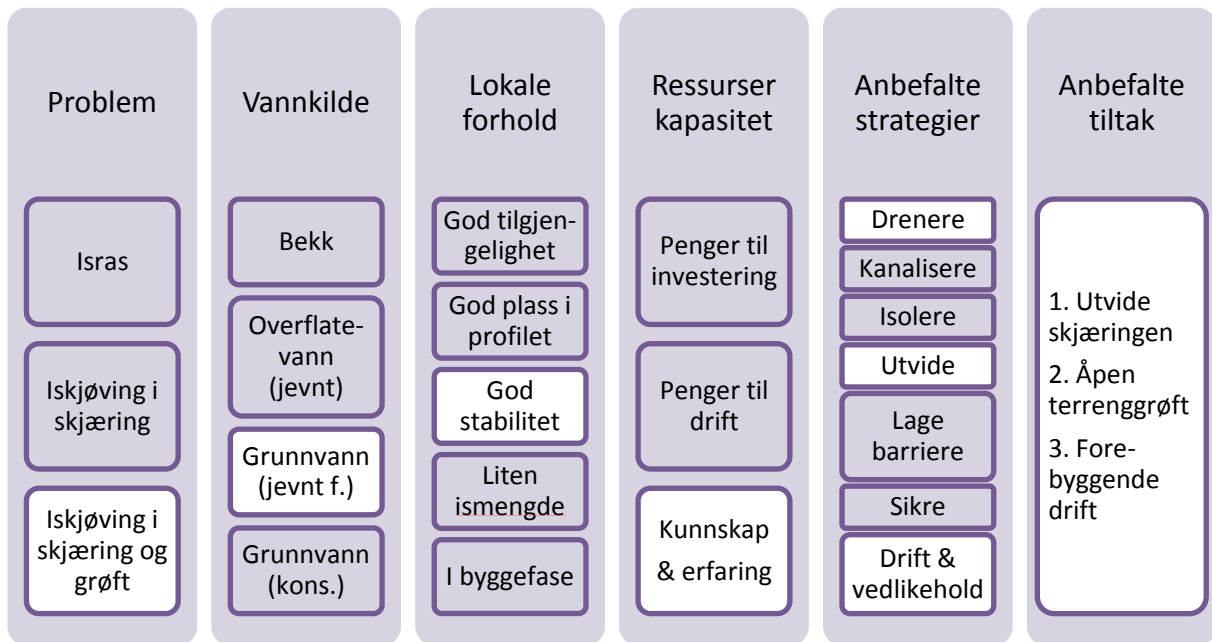


Figur V-26) Detaljkart over Meråkerbanen 7 og 8 ved Brennhaugen og Langsvehaugen. Begge steder har problemer med iskjøving i skjæringer på venstre side av sporet (Jernbaneverket, 2016).

Skjæringen ved Brennhaugen er av moderat høyde med smal og grunn grøft. Bergmassen er dekket av et tynt morenelag med mye silt. Det renner grunnvann i laggrensa mellom berg og løsmasser, og skjæringen er våt selv i tørt vær. Terrenget ovenfor skjæringen er skrånende og tilgjengeligheten er litt begrenset. Det bør være mulig å komme til med maskiner.



Figur V-27a) Skjæring ved Brennhaugen. Skjæringen er våt, selv i tørt vær. Foto: A. Liereng (5.11.15) b) Iskjøving langs skjæringen starter der løsmassedekket slutter. De røde ringene er plassert på samme sted i de to bildene. Foto: A. Liereng (15.1.16).

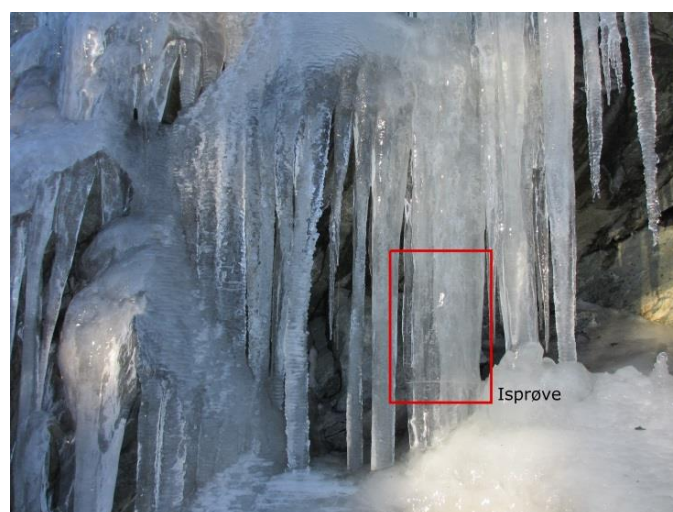
Anbefalte tiltak

Figur V- 28) Anbefalte tiltak for skjæringen ved Brennhaugen (Meråkerbanen 7).

Problemet med iskjøvingen er at den kommer i vegen for tog og fyller grøfta. Med litt begrenset tilgjengelighet ovenfor skjæringen kan den enkleste og beste løsningen være å utvide skjæringen, slik at avstanden mellom is og tog blir større. Det kan da lages en dypere sidegrøft også. Alternativ to er å drenere grunnvannet i en dyp, åpen terrenggrøft ovenfor skjæringen. Grøfta kan gjerne pigges ned i berget. Et tredje forslag er å fortsette som i dag med forebyggende drift.

Innsamling av isprøve

Det ble hentet en isprøve fra skjæringen ved Brennhaugen 19.2.16. Isprøven ble tatt fra en stor istapp med glatt overflate og spor etter bølgete is innenfor. Isen er vist i Figur V- 29.



Figur V- 29) Isprøve fra Brennhaugen. Glatt istapp. Foto: A. Liereng (19.2.16).

Vedlegg 5H - Langsvehaugen (Meråkerbanen 8)

Plassering: Meråkerbanen km 74,8, venstre side. Se Figur V- 26 for kart.



Figur V- 30) Iskjøving i skjæring og grøft. Foto: A. Liereng (15.1.16)

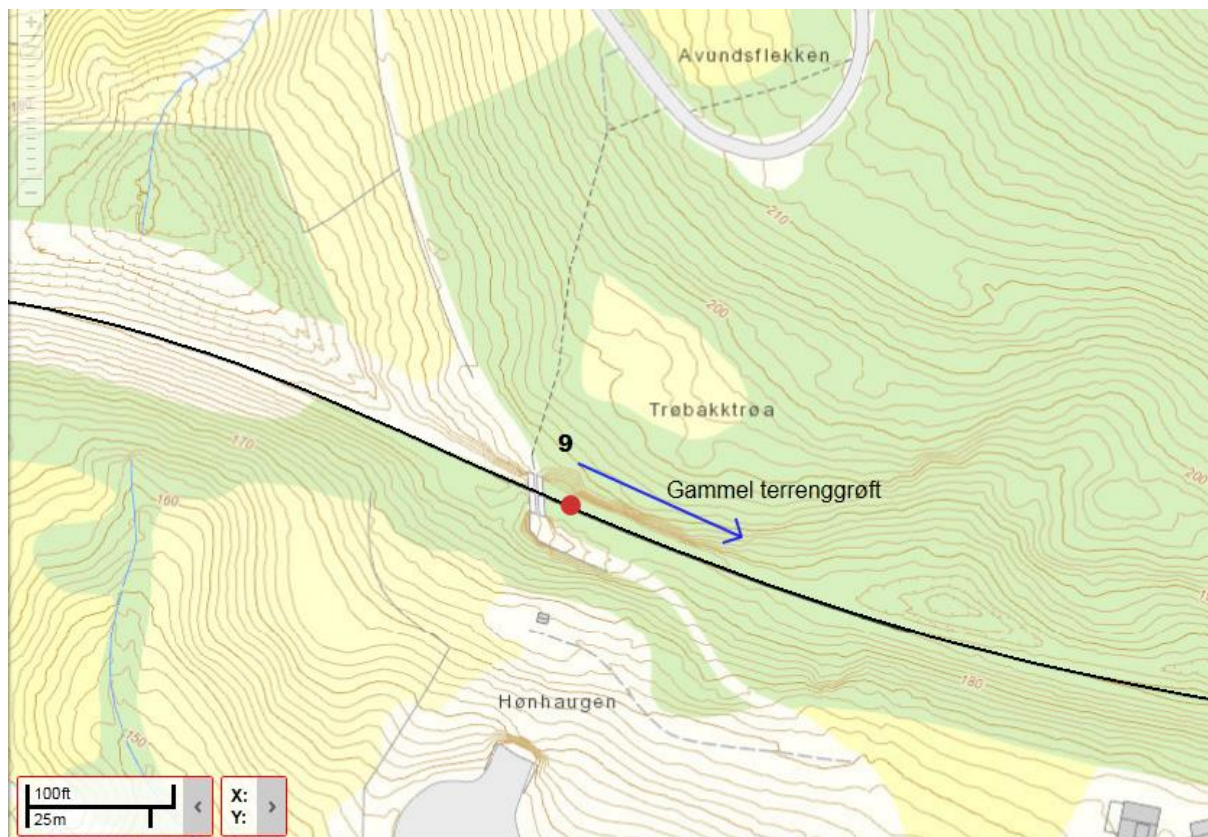
Ved Langsvehaugen er det en skjæring på venstre side av sporet. Skjæringen er av moderat høyde, med skrånende terreng ovenfor. Det er en del is i skjæringen og noe is i grøfta. Det ble hentet en isprøve fra dette stedet 19.2.16. Området prøves ble tatt fra er vist i Figur V- 31. Isen hadde glatt overflate, med spor av bølgete is innenfor. På grunn av begrenset tid i laboratoriet ble ikke prøven analysert.



Figur V- 31) Isprøven ble tatt fra området markert med rød firkant. Foto: A. Liereng (19.2.16)

Vedlegg 5I - Trøbakktrøa (Meråkerbanen 9)

Plassering: Meråkerbanen km 78,3, venstre side.



Figur V- 32) Detaljkart over Trøbakktrøa (Meråkerbanen 9). Iskjøving forekommer i en skjæring på venstre side av sporet. Det er en gammel terrenggrøft ovenfor skjæringen (Jernbaneverket, 2016).

I skjæringen ved Trøbakktrøa kjøver det i skjæringen og grøfta, og isen må fjernes før den kommer i vegen for togene. Bergmassen i området er skifrig og har i tillegg tydelige sprekkplan som faller ut av skjæringen. Se Figur V- 33a. Løsmassedekket ovenfor skjæringen er et siltig morenelag som kan lagre mye vann. En del av vannet som bidrar til iskjøvingen renner i laggrensa mellom bergmassen og løsmassedekket. I tillegg renner det mye vann i enkelte markerte sprekker, for eksempel sprekkplanet som er markert med turkis ring i Figur V- 34a. Til sammen bidrar dette til at bergmassen er veldig våt, selv i tørt vær. Figur V- 33b og Figur V- 34b viser iskjøvingen i skjæringen.

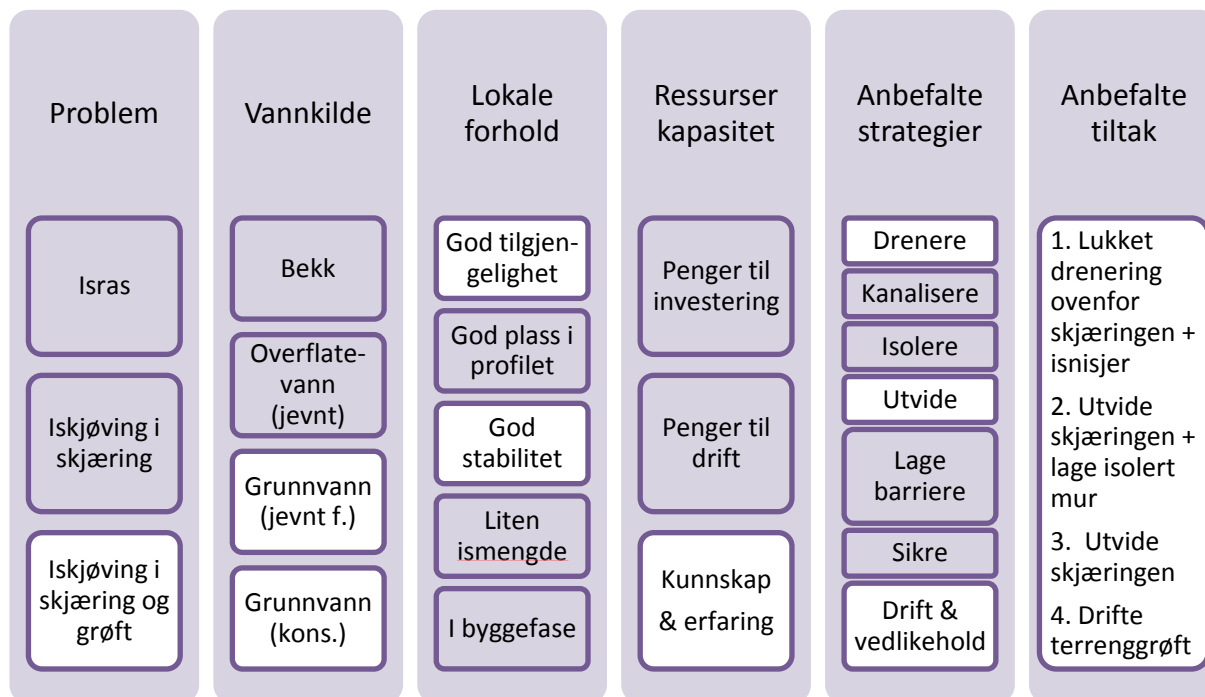
Tilgjengeligheten til området ovenfor er meget enkel med opparbeidet veg til gården ovenfor skjæringen. Det er en gammel terrenggrøft på oversiden av skjæringen, men denne er ikke vedlikeholdt. Effekten av terrenggrøfta begrenses av vannet som renner langs sprekkeplanet i bergmassen.



Figur V- 33a) Østre del av skjæringen. Bergmassen er skifrig og har tydelige sprekkeplan som faller ut av skjæringen. Berget er dryppende vått selv i tørt vær. Foto: A. Liereng (5.11.15) b) Iskjøvingen starter helt i toppen av skjæringen, der løsmassedekket slutter. En del issvuller starter også midt i skjæringen, ved markerte sprekkeplan. Foto: A. Liereng (15.1.16)



Figur V- 34a) Vestre del av skjæringen. Berget er dryppende vått. Turkis ring viser en åpen sprekk som leder vann ut i skjæringen. Hvite linjer viser plasseringen av iskjøvingene pr 15.1.16. Foto: A. Liereng (5.11.15) b) En del av isen starter i toppen av skjæringen, og en del is starter midt i skjæringen ved markerte sprekker. Foto: A. Liereng (15.1.16)

Anbefalte tiltak

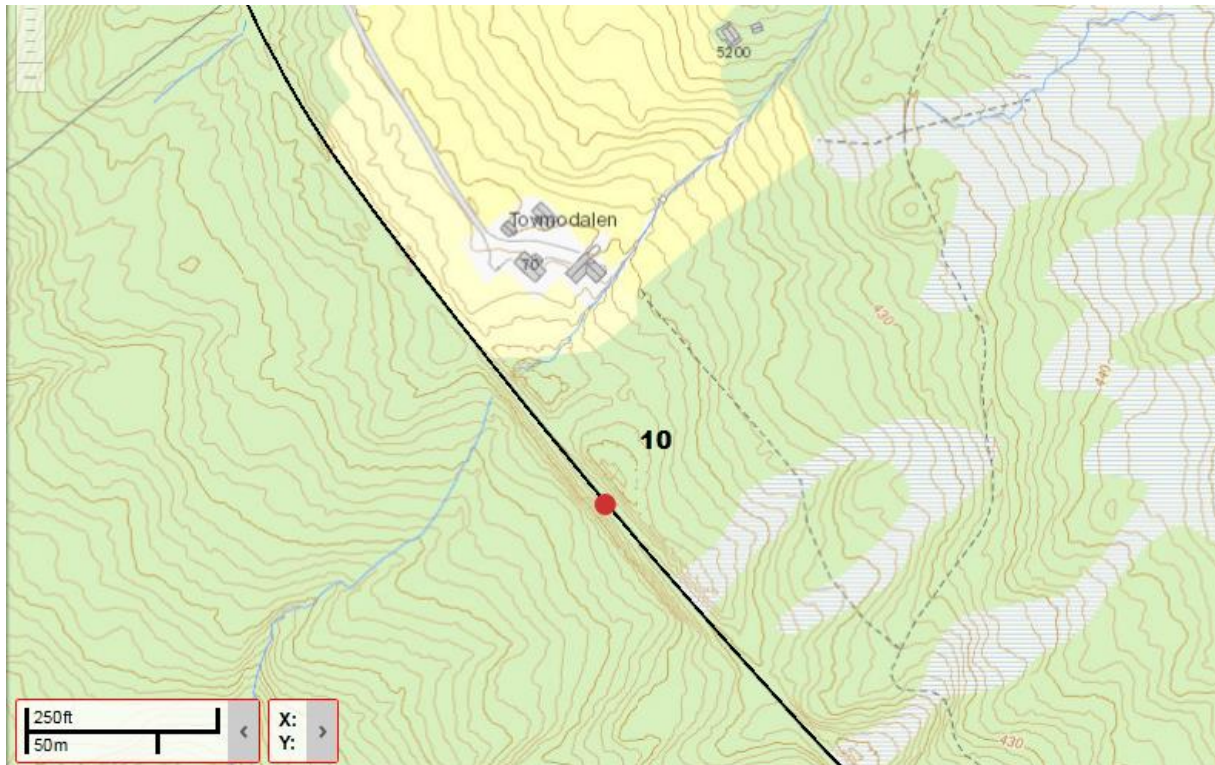
Figur V- 35) Anbefalte tiltak for skjæringen ved Trøbakktrøa.

Ved Trøbakktrøa er det mye grunnvann som kommer ut i skjæringen, og ideelt sett vil drenering være den beste løsningen. En nedgravd lukket drenering ovenfor skjæringen, gjerne pigget noe ned i berget, kan samle opp grunnvannet som renner i sjiktet mellom berg og løsmasser. Vannet som renner i markerte sprekkeplan vil kanskje renne under grøfta. Tiltaket kan dermed suppleres med isnisjer dersom det fortsatt kjøver ved sprekker. Dette kan bli en dyr løsning.

Forslag nummer to er å utvide hele skjæringen og lage en isolerende mur. Mellom muren og berget fylles det drenerende materiale og det lages lukket drenering i bunn av skjæringen. Løsningen krever en viss investering, men vil ha lang levetid og kreve lite vedlikehold. Dette er også et nokså kostbart tiltak. Alternativ tre er å utvide skjæringen og fortsette med forebyggende drift som i dag. Alternativ fire er å åpne den gamle terrenggrøfta igjen og drifte denne. Selv om effekten av grøfta er begrenset vil den uansett kunne redusere omfanget av iskjøvingen. Dette er et rimelig tiltak i forhold til de andre forslagene.

Vedlegg 5J - Tovmodalen (Meråkerbanen 10)

Plassering: Meråkerbanen km 94,6 venstre side.



Figur V- 36) Detaljkart over Meråkerbanen 10, ved Tovmodalen. Iskjøving i lav skråning på venstre side av sporet (Jernbaneverket, 2016).

Ved Tovmodalen er det en issvull på veg ut i sporet, se Figur V- 37. Isen har bygget seg opp med flate lag og er helt flat på toppen. Isen er kun våt på toppen, som vist i Figur V- 38. Siden svullen er så begrenset i utstrekning er vannkilden mest sannsynlig på samme sted hele tiden. Dersom jevnt fordelt grunnvann hadde vært kilden, ville vannet spredd seg mer utover. Mest sannsynlig er iskjøvingen et resultat av at dreneringssituasjonen i jorda har endret seg etter en lang periode med barfrost i januar. De vanlige kanalene for grunnvannet har nok frosset igjen slik at vannet må finne nye vegger.

Det pleier ikke å være problemer med iskjøving på dette stedet og det vil dermed ikke foreslås permanente tiltak. I slike situasjoner vil et midlertidig isgjerde egne seg godt. Dersom gjerdet settes opp mellom vannkilden og jernbanesporet, vil isen bygge seg opp på baksiden av gjerdet isteden for å komme ut i sporet.



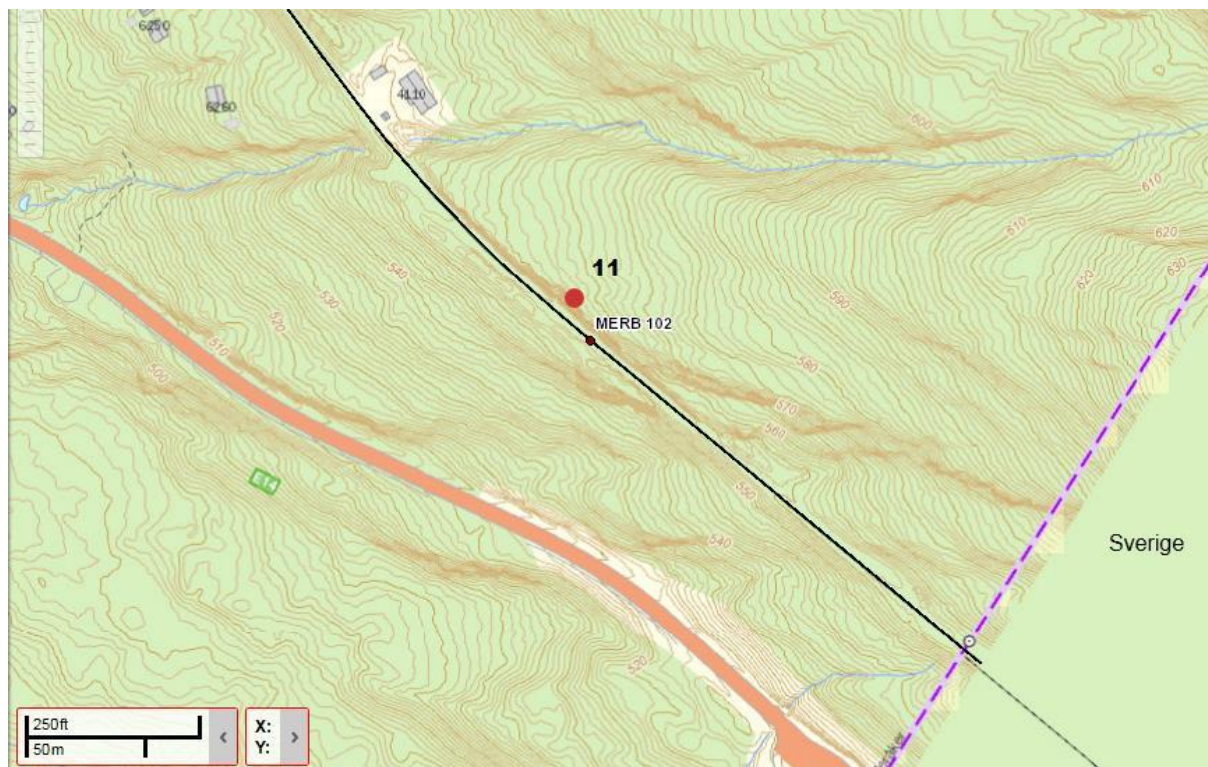
Figur V- 37) Iskjøvingen er på vei ut i sporet. Det pleier ikke være is her. Foto: A. Liereng (15.1.16).



Figur V- 38) Isen bygger seg opp som en konsentrert svull. Legg merke til hvordan isen lager nye flate lag oppå den eksisterende isen. Isen er tørr foran og nederst (grønn ring), men våt øverst (rød ring). Foto: A. Liereng (15.1.16).

Vedlegg 5K - Teveldalen (Meråkerbanen 11)

Plassering: Meråkerbanen km 102,0, venstre side.



Figur V- 39) Detaljkart over skjæringen i Teveldalen (Meråkerbanen 11). Det er en del is i skjæringen, men det er laget en isnisje for noe av isen (Jernbaneverket, 2016).

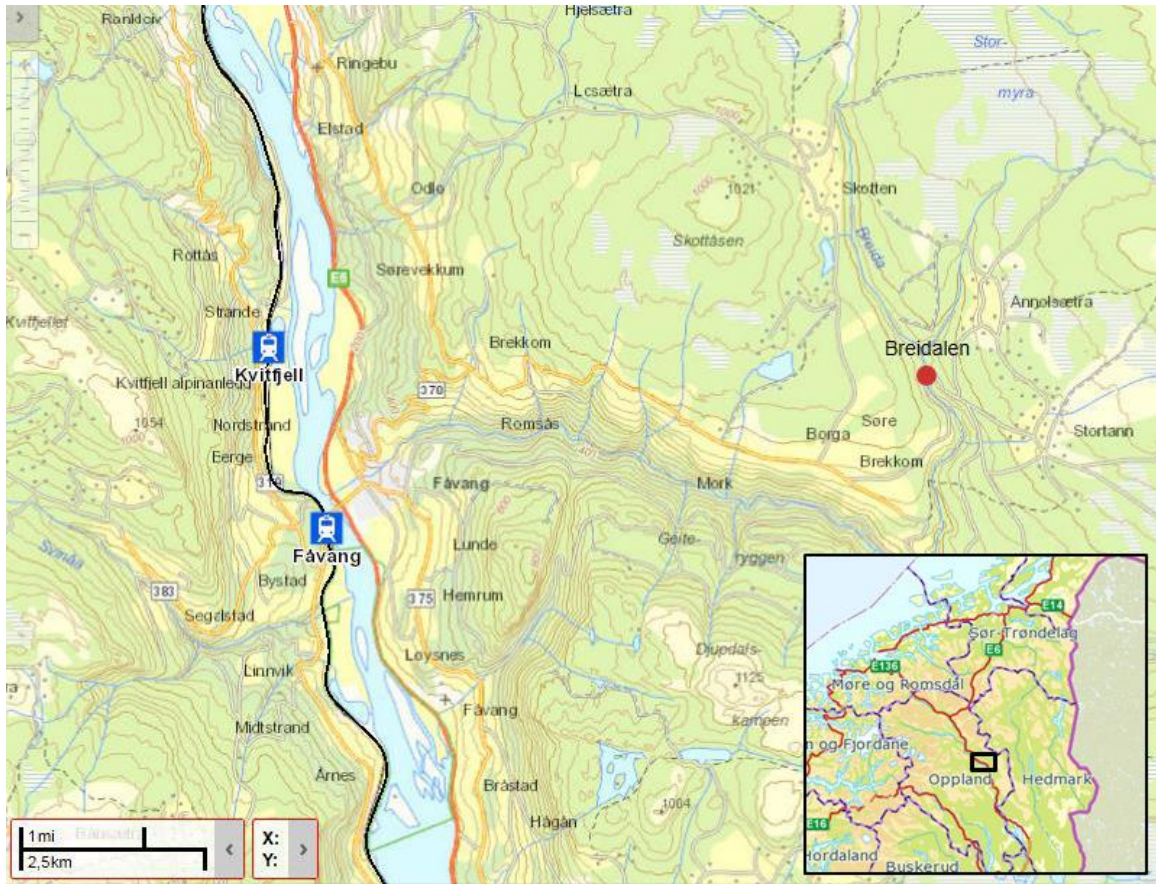
I skjæringen rett før grensa til Sverige er det ofte iskjøving. Det er laget en isnisje for isen midt i skjæringen, siden profilet er smalt. Bildene i Figur V- 40 viser hvordan isen i nisjen vokste gjennom vinteren. Isen vokste mye i starten av vinteren, men veksten stanset raskt opp på grunn av sterk kulde i januar. På befaringen 15.1.16 var isen inaktiv og tørr, dette betyr at vanntilgangen var stanset opp. Vannkilden til skjæringen er grunnvann, og dette kan ha blitt demt opp av dyp tele i bakken. I slutten av januar falt det mye snø i området, og isen har vokst lite etter dette. Siden isnisjen har god effekt, og problemene eller er under kontroll er det ikke foreslått videre tiltak i denne skjæringen.



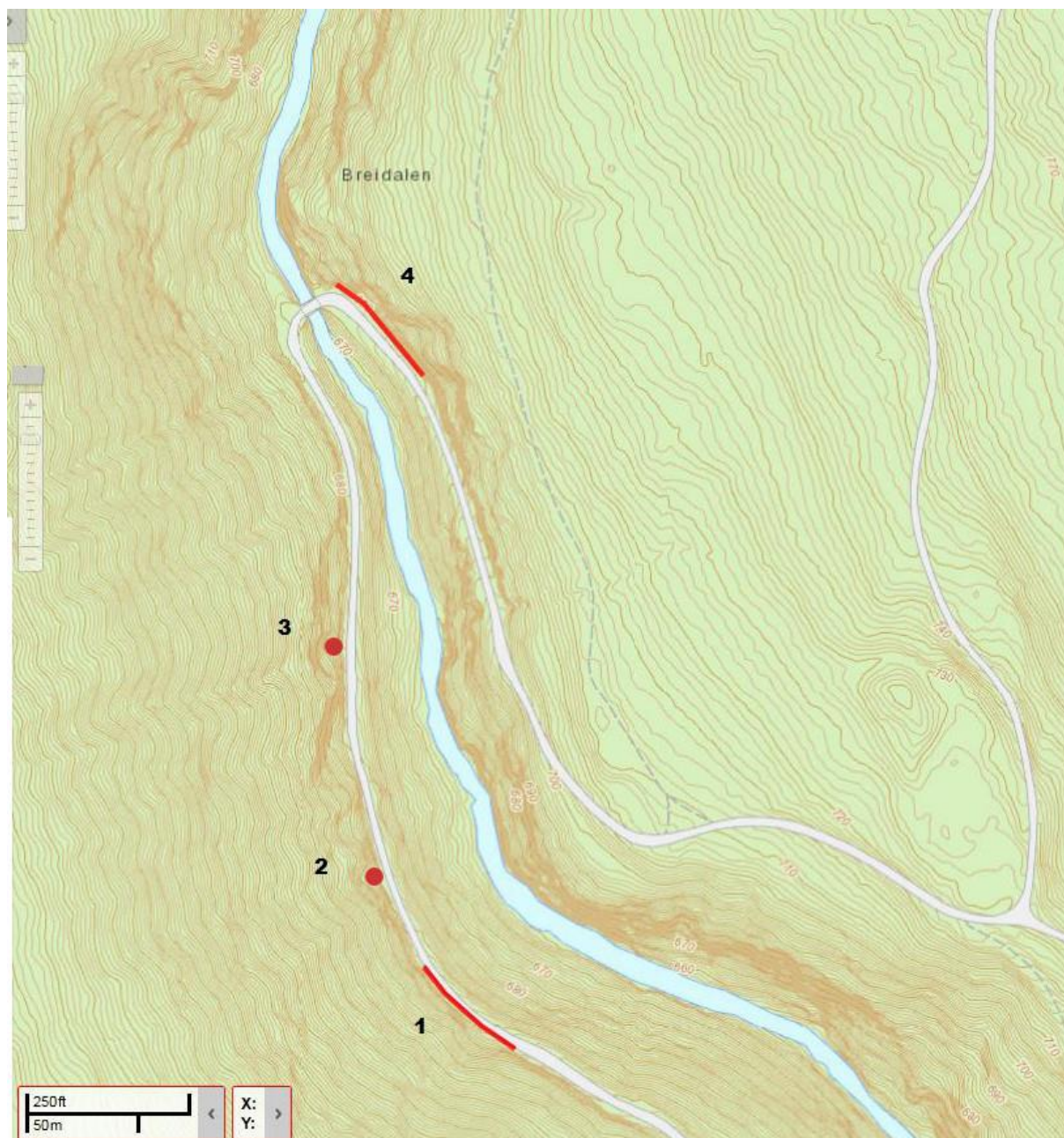
Figur V- 40) Bildene viser mengden is i isnisjen i januar og februar 2016. Foto: A. Liereng.

- a) Effekten av isnisjen er tydelig. Isen kommer lenger unna togene og skaper mindre problemer.
b) Etter en periode med barfrost og sterk kulde har det dannet seg mye is i isnisjen.
c) Mengden is er omtrent uendret fra forrige befaring på grunn av et isolerende snøfall.
d) Det er kommet litt ny is, men mengden is er fortsatt beskjeden. Der snøen er smeltet er isen aktiv.

Vedlegg 6 - Tann-Annolsetervegen



Figur V- 41) Oversiktskart over området. Det røde punktet viser plasseringen av Breidalen, der problemene med iskjøving oppstår (Jernbaneverket, 2016, Kartverket, 2015).



Figur V- 42) Detaljkart over Breidalen 1-4 (Jernbaneverket, 2016).

Vedlegg 6A - Breidalen (1)

Plassering: Tann-Annolsetervegen, 0520 SV 920 HP1 ca. m 1100.

For kart, se Figur V- 42. I august 2013 gikk det et jordskred i Breidalen som tok med seg deler av Tann-Annolsetervegen på vestsiden av elva Breia. Etter skredet ble gjenværende løsmasser og vegetasjon fjernet i området ovenfor vegen, se Figur V- 43. Siden berget ble eksponert har det begynt å dannes is i området. Isen er jevnt fordelt i terrenget, og vokser hele vinteren. Vannkilden er derfor jevnt fordelt grunnvann. Figur V- 44 viser situasjonen i mars 2016. Det dannes is oppover hele fjellsiden der berget er avdekket, men mest is nede langs vegen.



Figur V- 43) Fjellsiden ovenfor vegen er ryddet for løsmasser og vegetasjon etter et jordskred i august 2013. Foto: A. Liereng (20.9.15)



Figur V- 44) Tidligere var det ikke is her, men etter skredet har det vært mye is enkelte vintre. Foto: A. Liereng (26.3.16).

Isen skapte ingen problemer vinteren 2015/16. Det er mulig at isras kan bli et problem i vintre med mye is og plutselig mildvær. Grøfta langs vegen er bred og dyp i dette området, se Figur V- 45. Det kan likevel bli problemer med iskjøving i stikkrenna i vintre med mye is.



Figur V- 45) Stikkrenne under vegen nedenfor skredbanen. Grøfta er bred og dyp, og har god lagringskapasitet for is. Foto: A. Liereng (20.9.15)

Vedlegg 6B - Breidalen (2)

Plassering: Tann-Annolsetervegen, 0520 SV 920 HP1 m1213. For kart, se Figur V- 42. Isen dannes i en fjellside på venstre side av vegen som vist i Figur V- 46 og Figur V- 47.



Figur V- 46a) Berget er dryppende vått. Det er lagt stikkrenne under vegen for å ta unna vannet. Foto: A. Liereng (20.9.15). b) Iskjøving i bergveggen. Foto: A. Liereng (26.3.16).

Bildet fra høstbefaringen viser at den vertikale bergveggen er dryppende våt. Det er ikke noe markert bekkeløp og vannet ser ut til å renne ut fra løsmassene ovenfor bergveggen. Vannkilden er mest sannsynlig en grunnvannskilde. Bildet fra vinterbefaringen viser store issvuller. Dette er et eksempel på et sted som er naturlig utsatt for iskjøving. Jevn vanntilgang kombinert med eksponert berg gir gode forhold for is i kalde perioder. Avstanden mellom vegen og bergveggen er stor og det er en dyp og bred grøft nedenfor bergveggen. Se Figur V- 47.

Siden avstanden til bergveggen er stor er det ikke behov for ytterligere tiltak. Isen kan bygge seg opp uten at det skaper problemer for vegen eller trafikantene. Dersom avstanden hadde vært mindre, kunne isnett eller en utvidelse av skjæringen vært mulige alternativ. Dette ville redusert risikoen for isras.



Figur V- 47) Det er god plass for iskjøvingen og isen utgjør ingen fare for vegen. Foto: A. Liereng (29.3.16).

Isprøve 2 er hentet fra en mindre iskjøving litt sør for den store issvullen. Isen er her helt glatt, gjennomsiktig og homogen. Figur V- 48 viser den lille iskjøvingen langs vegen.



Figur V- 48) Sør for den store iskjøvingen er det is i en lav skjæring. Isen er helt glatt og homogen, og isprøve 2 er hentet herfra. Foto: A. Liereng (5.1.16).

Vedlegg 6C - Breidalen (3)

Plassering: Tann-Annolsetervegen, 0520 SV 920 HP1 m1326. For kart, se Figur V- 42. Isen dannes i fjellsiden på venstre side av vegen. Figur V- 49 viser et oversiktsbilde over stedet:



Figur V- 49) Oversiktsbilde over Breidalen (3), sett fra andre siden av elva. Foto: A. Liereng (29.3.16)

Iskjøvingen dekker et stort område, fra høyt opp i fjellsiden helt ned til vegen. Vannkilden til isen er en eller flere grunnvannskilder, siden isen er av så stor størrelse. Isen har vært aktiv hele vinteren fra de første befaringsene i starten av januar til siste befarings i slutten av mars. Årsaken til iskjøvingen er vanskelig å fastslå uten nærmere undersøkelser i terrenget. Isen kan både oppstå naturlig, eller som følge av at vegen endrer dreneringsforholdene i bakken.

Isen nede langs vegen var blant de mest aktive iskjøvingene i Breidalen. I starten av mars rant det mye vann utenpå isen, men det var også mye vann inni isen. Vannet var fanget i små lommer eller rant i indre kanaler. Overflaten var bølgete hele vinteren. Det er tydelig at den bølgete isen kan vokse svært raskt, også før isen innenfor er gjennomfryst. Det ble hentet en isprøve med bølgete overflate fra issvullen 9.3.16, se Figur V- 50. Isen la seg også som et lokk over snøen i grøfta som vist i Figur V- 51. Selve islokket var et par cm tykt, og under var snøen mett med vann. Denne effekten kan føre vann og is ut i vegbanen.



Figur V- 50) Rød ring viser hvor isprøve 1 er saget ut. Foto: A. Liereng (26.3.16).



Figur V- 51) Isen er meget aktiv, med mye vann inni og utenpå isen. Isen har lagt seg som et lokk over snøen i grøfta. Foto: A. Liereng (26.3.16).

Vedlegg 6D - Breidalen (4)

Plassering: Tann-Annolsetervegen, 0520 SV 920 HP1 ca. m1570. For kart, se Figur V- 42.

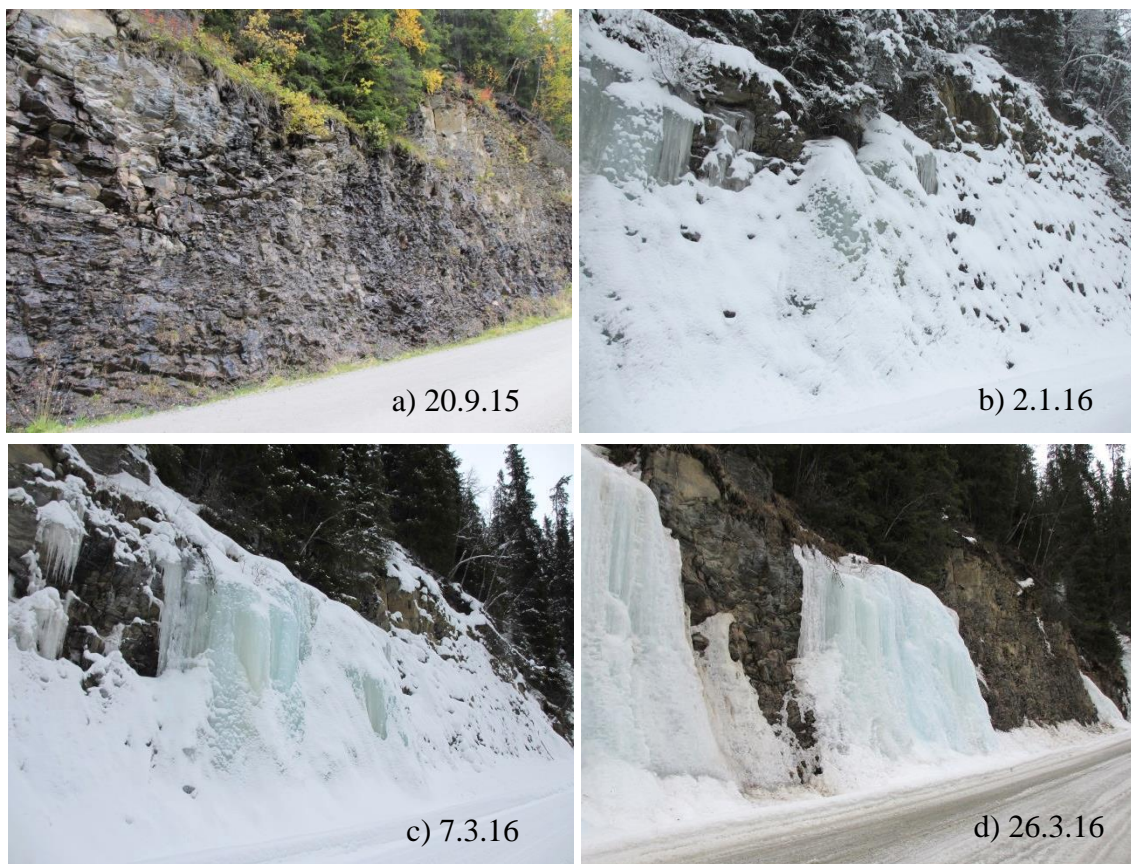


Figur V- 52a) Skjæringen øst for elva er våt i flere partier. Alt vannet kommer nedenfor et bestemt nivå, se den røde streken. Foto: A. Liereng (20.9.15). b) Iskjøving oppstår i de våte partiene av skjæringen. De største issvullene oppstår der det renner vann fra løsmassene. Foto: A. Liereng (26.3.16).

På østsiden av elva Breia er terrenget bratt, og det er en høy skjæring langs vegen. Bergmassen er skifrig og svært forvitret. Over berget er det et tynt morenelag. Skjæringen kutter gjennom grunnvannspeilet og det renner ut grunnvann i sprekker i berget og i grensa mellom berg og løsmasser. Figur V- 52a viser at berget er dryppende vått i flere partier selv i tørt vær. Grunnvannet fører til store issvuller i skjæringen om vinteren. Som Figur V- 52b

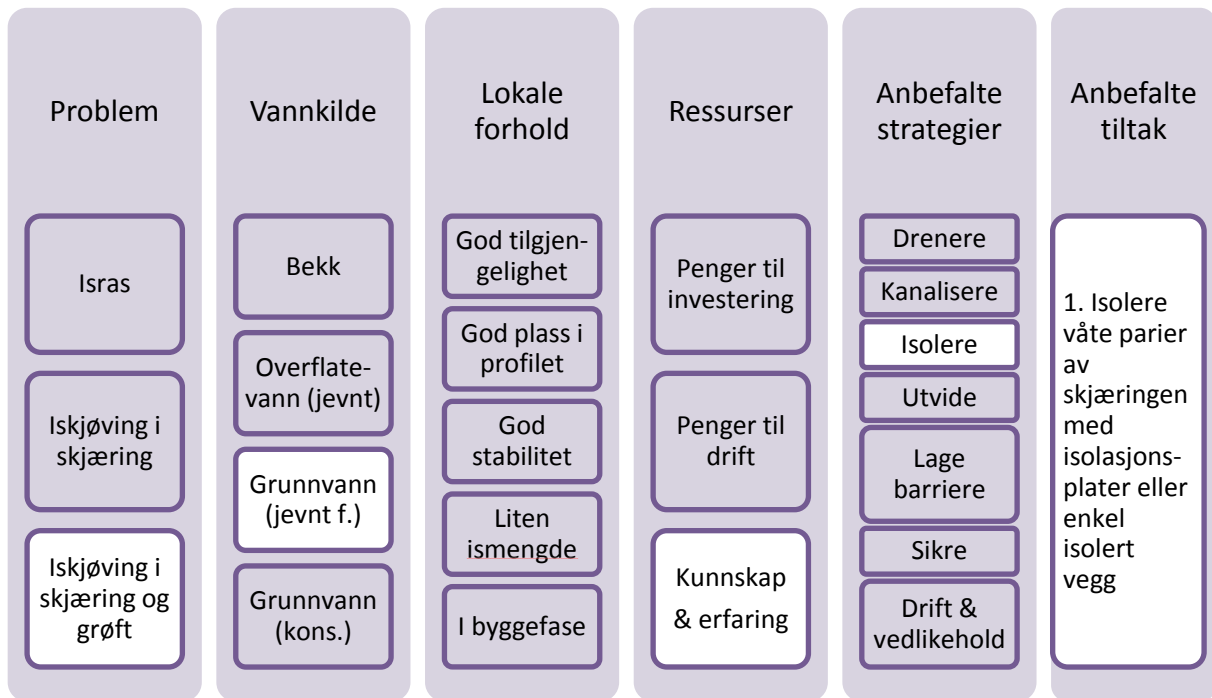
viser, oppstår de største iskjøvingene der vannet kommer fra grensa mellom berg og løsmasser.

Bildene i Figur V- 53 viser utviklingen av en av iskjøvingene i skjæringen gjennom vinteren. Bilde a viser at berget er tydelig vått av grunnvann. Bilde b viser at iskjøvingen begynner i det området som var vått om høsten. Isen bygger seg opp som enkle svuller. Utover vinteren vokser isen med nye svuller og brer seg utover langs skjæringen som vist i bilde c. Isen vokser også i tykkelse og blir mer blå. Siste bilde viser hvordan isen smelter. Når isen smelter skifter den farge, blå blank blå til matt hvit. Denne fargeendringen er et tegn på at isen kan løsne fra berget og at man må være på vakt for isras.



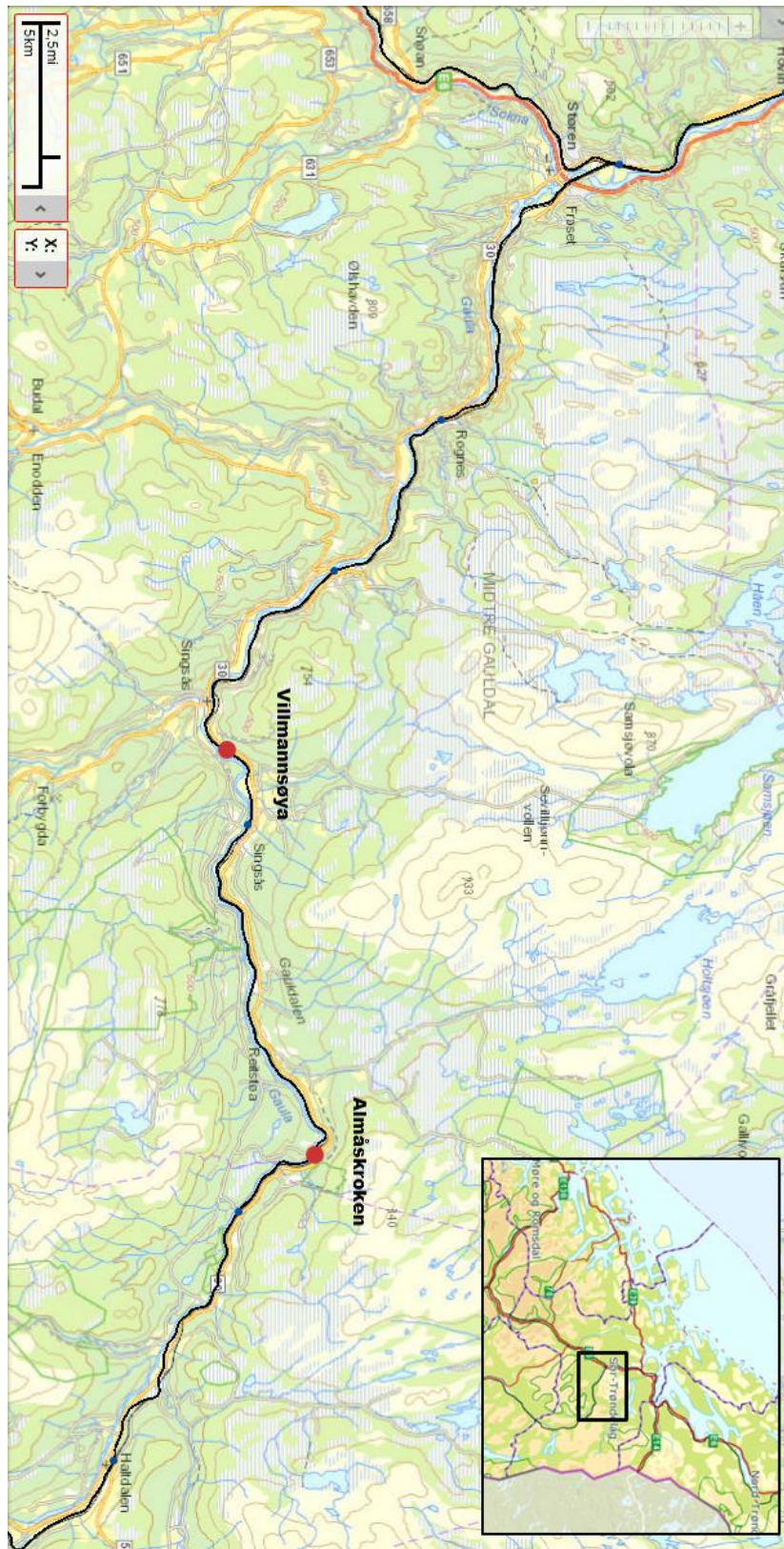
Figur V- 53) Bildene viser hvordan en av issvullene i skjæringen vokser gjennom vinteren. Foto: A. Liereng

Isen skapte tidligere store problemer i denne skjæringen. Isen vokste ut i vegbanen og gjorde vegen uframkommelig. For å bedre forholdene ble det laget en dypere og bredere grøft. Dette har redusert problemene betraktelig, men det er fortsatt mye is i skjæringen. Tilgjengeligheten overfor skjæringen er begrenset, og stabiliteten i området er dårlig. Det er vanskelig å drenere terrenget eller utvide skjæringen. Dersom man ønsker å redusere mengden iskjøving ytterligere, er det mulig å isolere berget i de områdene det renner mye grunnvann. Det kan benyttes isolasjonsplater eller lages enkle isolerte vegger. Valg av tiltak er oppsummert i Figur V- 54.

Anbefalte tiltak

Figur V- 54) Mulige tiltak for skjæringen på østsiden av Breia.

Vedlegg 7 – Fv 30, Rognes – Haltdalen



Figur V- 55) Kart over stedene som studeres langs Fv 30 mellom Rognes og Haltdalen, i Sør-Trøndelag. Fv 30 går fra Støren mot Røros (Jernbaneverket, 2016, Kartverket, 2015).

Vedlegg 7A - Villmannsøya

Plassering: FV 30 HP2 m 2223 – 2289, venstre side.



Figur V- 56) Detaljkart for punkt Villmannsøya, 3 km vest for Singsås. Iskjøvingen oppstår i en lav skjæring og grøft på venstre side av vegen, markert med rød linje (Jernbaneverket, 2016).

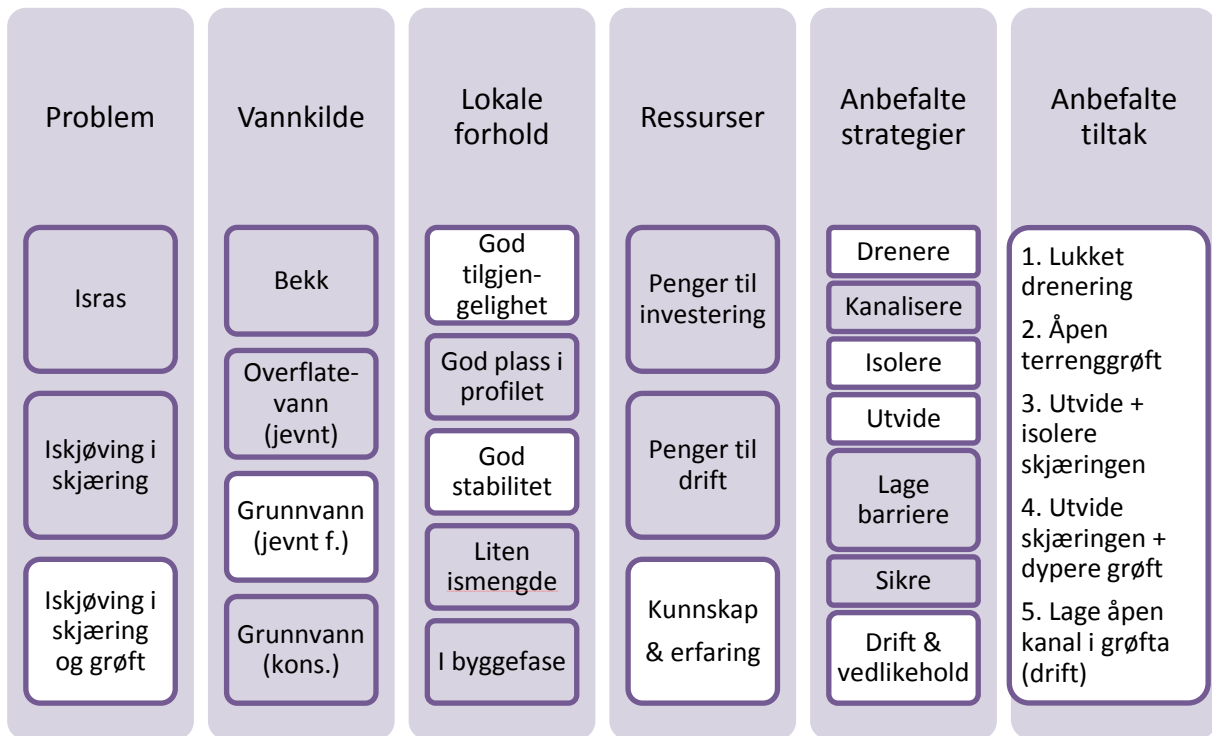
Iskjøvingen oppstår i en lav skjæring og grøft langs vegen som vist i Figur V- 57b. Terrenget ovenfor skjæringen er slakt og dekket av løsmasser og vegetasjon. Isen er jevnt fordelt langs hele strekningen og starter i toppen av skjæringen, der berget er avdekket. Årsaken til iskjøvingen er at skjæringen eksponerer jevnt fordelt grunnvannet for kald luft. Bildene i Figur V- 57a og Figur V- 58a viser at berget er vått selv om terrenget er tørt ellers. Grøfta er grunn og smal langs hele skjæringen og har liten lagringskapasitet for is. Noen steder legger isen seg som lokk over snøen i grøfta, som vist på Figur V- 58b. Dette fører vann og is raskt ut i vegbanen og skaper problemer for trafikken.



Figur V- 57a) Lav skjæring langs vegen avdekker berget. Foto: A. Liereng (6.11.15) b) Iskjøving langs hele skjæringen. Isen kommer ut i vegbanen. Det er ingen iskjøving i terrenget rundt skjæringen. Foto: A. Liereng (25.1.16).



Figur V- 58a) Grøfta er smal og grunn. Foto: A. Liereng (6.11.15) b) Isen legger seg som et lokk over snøen i grøfta. Dette fører vann og is ut i vegbanen, selv om grøfta ikke er fylt av is fra bunnen. Foto: A. Liereng (25.1.16).

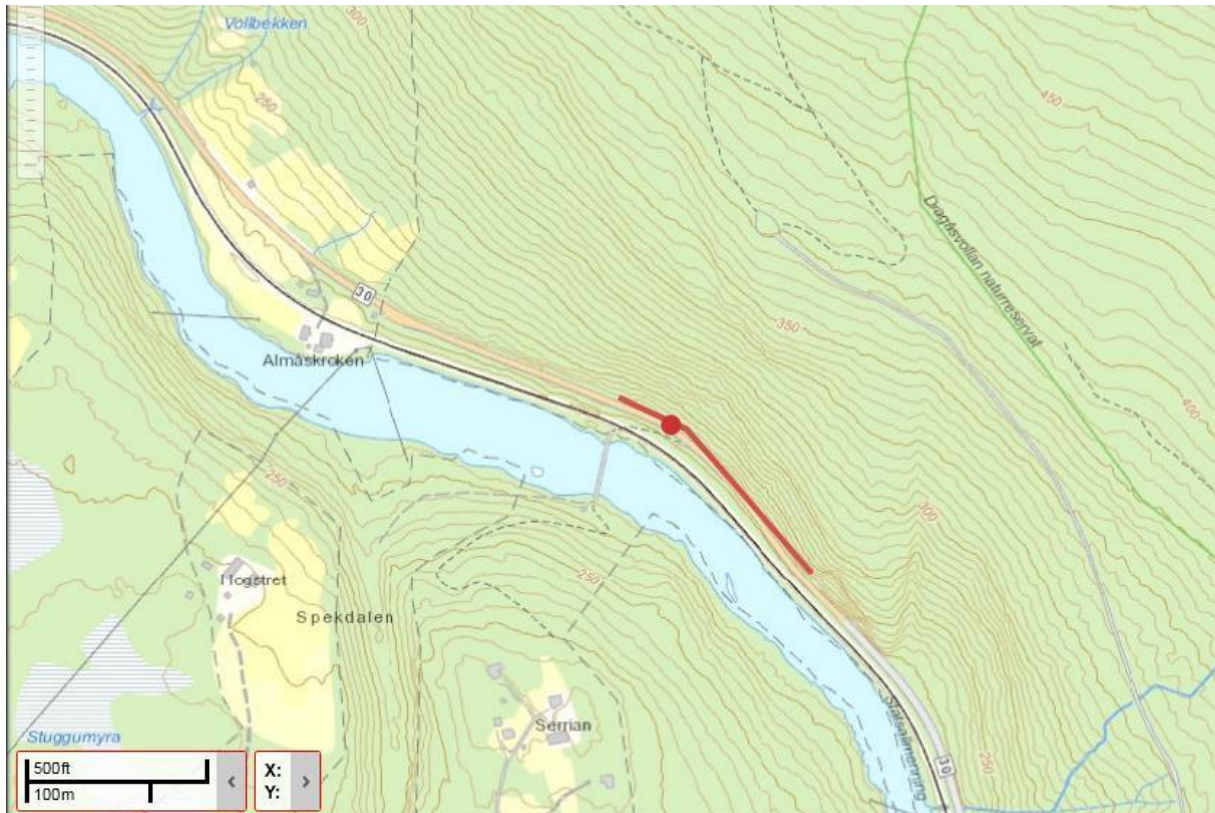
Anbefalte tiltak

Figur V- 59) Anbefalte tiltak for skjæringen ved Villmannsøya.

For å forebygge iskjøving i skjæringen ved Villmannsøya er det flere tiltak som kan ha god effekt. Den beste løsningen vil nok være å drenere terrenget ovenfor skjæringen med en lukket drenering. Dersom dette er for dyrt kan en dyp, åpen terrenggrøft også redusere problemene. Grøftene kan pigges ned i berget for å samle vannet som renner i sjiktet mellom berg og løsmasser. En annen løsning er å utvide skjæringen og isolere den. Dette kan gjøres ved å lage en mur foran berget og fylle drenerende materiale mellom muren og berget. Grunnvannet kan da renne frostfritt ned til lukket drenering langs vegen. Det kan også hjelpe å utvide skjæringen og lage en dypere grøft langs vegen. Da vil avstanden mellom isen og vegen bli større og grøfta vil kunne lagre mer is. Til slutt kan forebyggende drift redusere mye av problemene. Så lenge man klarer å lage en åpen kanal i grøfta, der vannet kan renne, vil isen ikke komme ut i vegbanen.

Vedlegg 7B – Almåskroken

Plassering: FV 30 HP2 m17592 – 17948, venstre side.



Figur V- 60) Detaljkart for Almåskroken, omtrent 4 km nordvest for Langlete. Iskjøvingen oppstår i en høy skjæring i bunnen av en bratt fjellskråning. Rødt punkt markerer spesielt stor issvull (Jernbaneverket, 2016).

Fv 30 ligger i bunnen av en bratt og høy fjellskråning ved Almåskroken. Skjæringen langs vegen er utsatt for omfattende iskjøving om vinteren, spesielt i området markert med rød ring i Figur V- 61. Som man ser av bilde a), er dette området tørt om høsten. Bilde b) viser at det likevel dannes is i dette området. Årsaken til iskjøvingen er mest sannsynlig grunnvann som finner nye vegger etter hvert som bakken fryser. Det kan hende at de vanlige dreneringsvegene er blokkert av tele, og at vannet dermed flyttes til dette området.

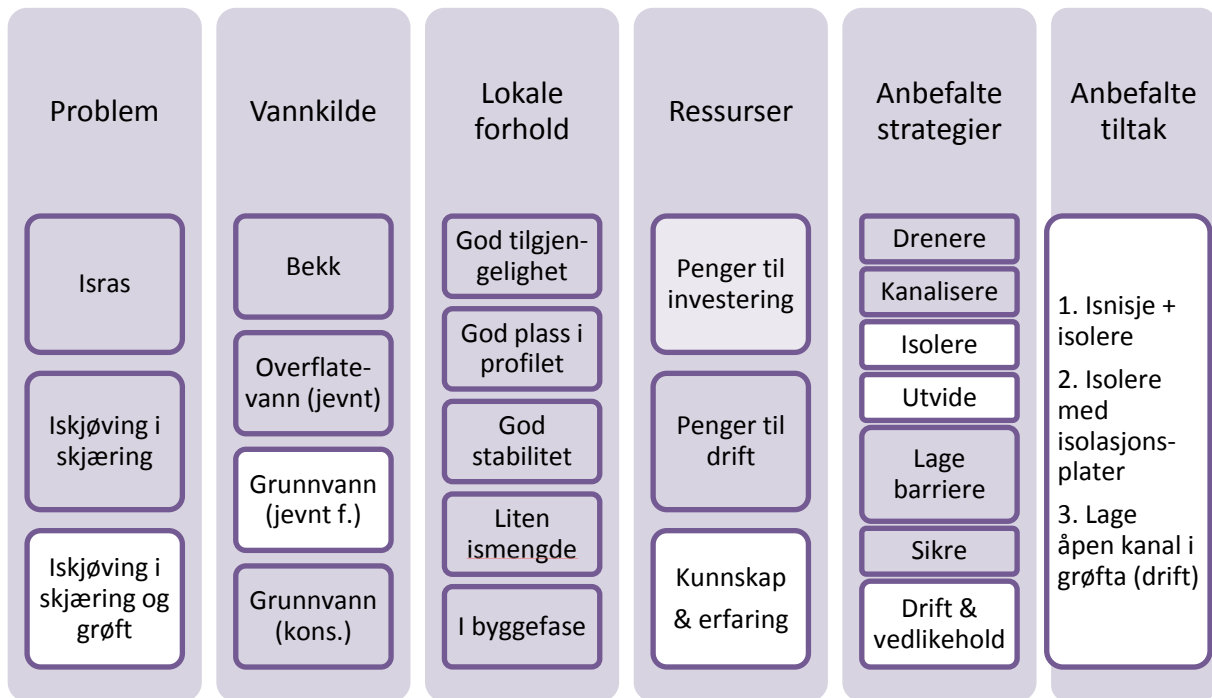


Figur V- 61a) Området markert med rød ring er tørt på høstbefaringen, men her dannes det ofte mye is om vinteren. Foto: A. Liereng (6.11.15). b) Iskjøving i samme område, markert med rød ring. Foto: A. Liereng (25.1.16).



Figur V- 62) Siden avstanden mellom skjæringen og veggen er liten, kommer isen raskt i veggen for bilene. Isen kan også redusere sikten i kurven. Foto: A. Liereng (25.1.16).

På befaringen i januar 2016 skapte isen ingen problemer på stedet. Enkelte vintre dannes det imidlertid en stor issvull som kommer ut i vegbanen og skaper store problemer. Som Figur V-62 viser, er avstanden mellom skjæringen og veggen veldig liten. Strekningen er også utsatt for både isras og steinsprang. Utfordringen er at det er vanskelig å komme til området ovenfor skjæringen for å gjøre tiltak. Veggen ligger trangt, med skjæringen på oversiden og jernbanelinja på nedsiden.

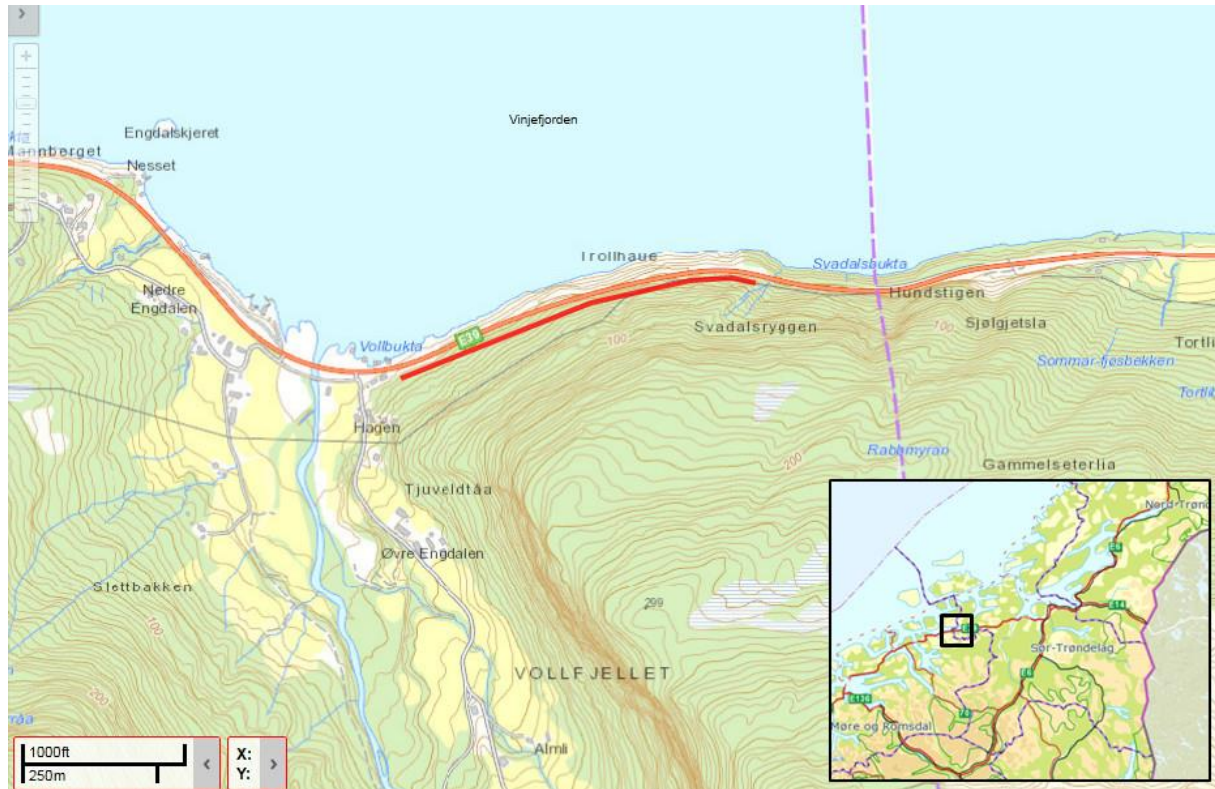
Anbefalte tiltak

Figur V- 63) Anbefalte tiltak for skjæringen ved Almåskroken.

I Almåskroken er mulighetene for forebyggende tiltak begrenset. En mulighet er å lage en isnisje der isen pleier å dannes, kombinert med isolering av berget. Det kan lages en enkelt isolert vegg eller en mur med drenerende materialer bak som fører vannet frostfritt ned til grøfta. Et enklere alternativ er å isolere det mest utsatt partiet med isolasjonsplater. Vannet må ledes bak isolasjonsplatene for at tiltaket skal ha noen effekt. En tredje løsning er å gjøre forebyggende driftstiltak. Dersom man klarer å lage en åpen kanal i grøfta hele vinteren kan vannet renne ned i grøfta istedenfor ut i vegbanen. Dette tiltaket vil kun ha effekt ved moderate ismengder, siden grøfta er så smal.

Vedlegg 8 - E 39, Engdalen ved Vinjefjorden, Møre- og Romsdal

Plassering: E39 HP37 m6877 til m7840, høyre side.



Figur V- 64) Kart over E39 ved Engdalen langs Vinjefjorden, i Møre og Romsdal. Iskjøving i skjæringen markert med rød linje (Jernbaneverket, 2016, Kartverket, 2015).

Langs E39 ved Engdalen er det en lang skjæring nedenfor en bratt fjellside. Fjellsiden er dekket av et tynt torvlag over glatt svaberg. Figur V- 65b viser hvordan skjæringen kutter gjennom torvlaget og eksponerer vannet. Dette er et godt eksempel på hvordan infrastruktur skaper iskjøving. Etter bygging av vegen oppsto det store problemer med iskjøving og isras i skjæringen. Store deler av skjæringen ble sikret med isnett, som vist i Figur V- 65a. I tillegg er det laget en bred grøft mellom skjæringen og vegen som vist i Figur V- 66. Disse skal fange opp eventuelle steinsprang eller isras, samt øke trafiksikkerheten ved utforkjøring.



Figur V- 65a) Ved Engdalen er det en lang og høy skjæring i bunnen av en fjellside. Skjæringen er sikret med isnett. Foto: A. Liereng (3.11.15) b) Skjæringen kutter gjennom de tynne løsmasse- og jordlagene over berget. Foto: A. Liereng (9.3.16).



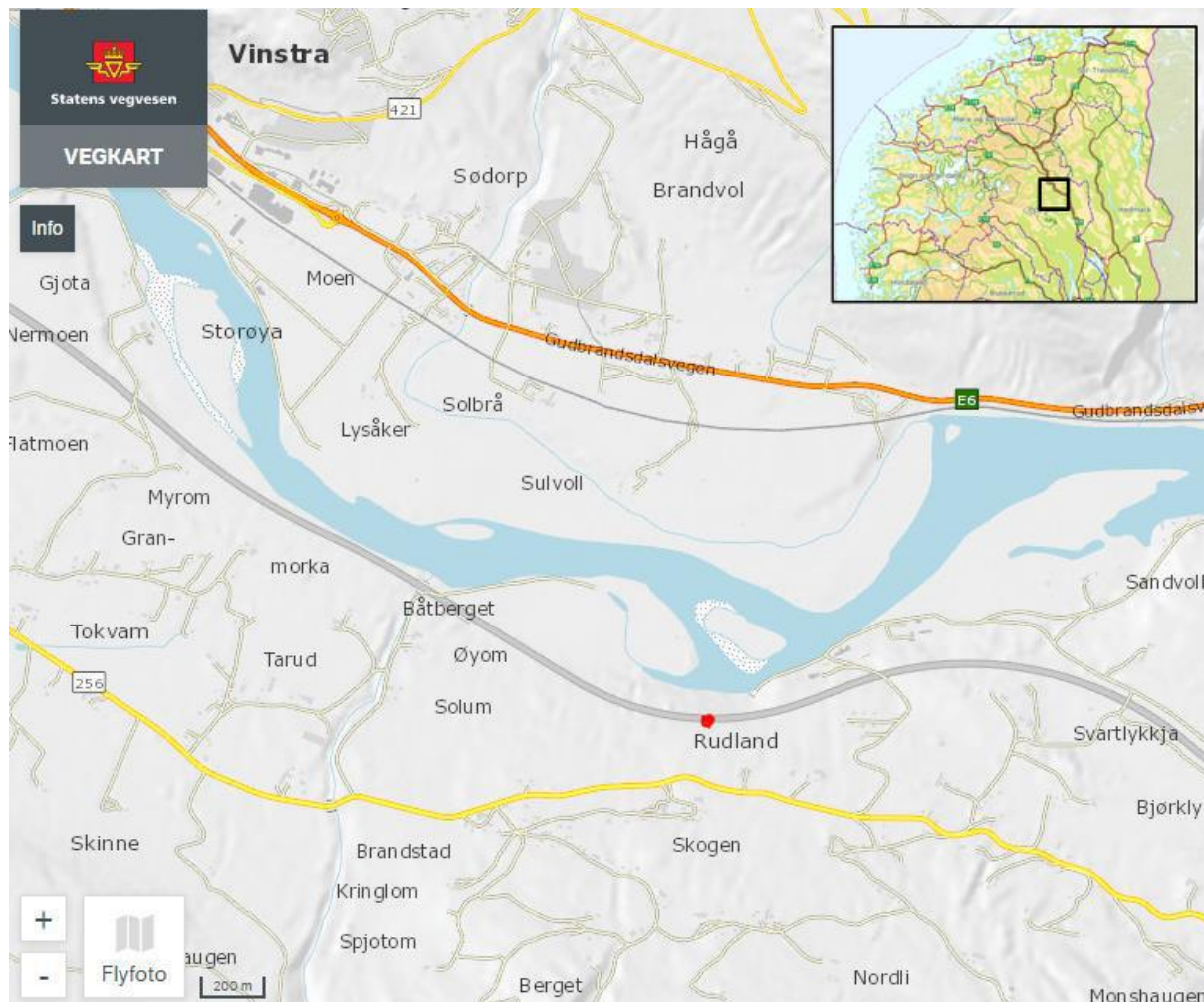
Figur V- 66a) Bred fanggrøft langs veien er gunstig for trafikksikkerhet. Foto: A Liereng (3.11.15). b) Fanggrøfta samler opp mindre isras, som ellers ville havnet i vegbanen. Foto: A. Liereng (9.3.16).

I utgangspunktet var grøfta nedenfor skjæringen veldig grunn. Den lille vannføringen om vinteren frøs ved ristene over kummene i grøfta. Dette forårsaket iskjøving i hele grøfta og mye is i vegbanen. For å redusere problemene ble grøfta gravd dypere og kummer og rister senket tilsvarende. Som bildene ovenfor viser, er grøfta fortsatt nokså grunn, men det er ikke lenger problemer med iskjøving.

Vedlegg 9 - Ny E 6, Frya – Sjoa, Oppland

Vedlegg 9A – Rudland

Plassering: Ny E6 ved Rudland, ca. 2,5 km sørøst for Vinstra (Oppland).



Figur V- 67) Skjæringen ved Rudland er markert med et rødt punkt. Den grå linja viser plasseringen av ny E6. Eksisterende E6 går på nordsiden av Lågen (Norgeskart, 2016, Statens vegvesen, 2016b).

Mellom Frya og Sjoa i Oppland fylke bygges det ny E6. Ved Rudland er det laget en ca. 200 m lang fjellskjæring. Terrenget ovenfor skjæringen er skrånende dyrket mark, se Figur V- 68. Første vinter i anleggsperioden dannet det seg veldig mye is i skjæringen som vist i Figur V- 69a. Isen var jevnt fordelt utover hele skjæringen og startet der berget ble blottlagt på toppen av skjæringen. Årsaken til iskjøvingen var grunnvann og det virket som mye av vannet rant i grensa mellom berg og løsmasser. Selv om grøfta nedenfor skjæringen var bred og dyp, ville man likevel redusere mengden is. Det ble laget to lukkede drengrofter i fjellet, rett ovenfor skjæringen. Effekten av tiltaket har vært god og iskjøvingen er betraktelig redusert. Figur V- 69b viser at det er lite is i skjæringen vinteren 2015/16.



*Figur V- 68) Oversiktsbilde over skjæringen ved Rudland. Ovenfor skjæringen er det dyrka mark.
Foto: Arild Solberg (Statens vegvesen, 2016a).*



*Figur V- 69a) Iskjøving i skjæringen ved Rudland før tiltak. Isen er jevnt fordelt langs skjæringen.
Foto: Roar Holten, Statens vegvesen (Januar 2015). b) Skjæringen etter tiltak. Iskjøvingen er betraktelig redusert. Foto: Roar Holten, Statens vegvesen (Januar 2016).*

Vedlegg 9B - Odenrud

Plassering: Ny E6, rett utenfor Odenrud tunnelportal (nordre portal til Hundorptunnelen). Ca. 800 m nordvest for Hundorp (Oppland).



Figur V- 70) Utenfor Odenrud tunnelportal er det en fjellskjæring og jordskråning. Det tekniske bygget for tunnelinstallasjonene er markert med et rødt punkt i kartet. Den grå linja viser plasseringen av ny E6. Eksisterende E6 går gjennom Hundorp sentrum (Norgeskart, 2016, Statens vegvesen, 2016b).

Utenfor Odenrud tunnelportal er det laget en jord- og fjellskjæring. Et teknisk bygg for tunnelinstallasjonene er plassert tett inntil fjellskjæringen som vist i Figur V- 71. Ovenfor skjæringen går Meierivegen, og på oversiden av denne er det store jorder. Det er et søkk i terrenget rett ovenfor Meierivegen, der det ofte samler seg mye vann. Jernbanen går nedenfor ny E6, og nedenfor jernbanen renner elva Lågen. Det er mye løsmasser i området.

Vinteren 2015/16 er det svært mye iskjøving bak det tekniske bygget. Se Figur V- 72b for bilde. På sikt kan isen ødelegge bakveggen på bygget, siden denne verken er dimensjonert for is eller vann. For å hindre skade er isen tint bort noen uker før bildene nedenfor er tatt. I tillegg til isen bak det tekniske bygget, er det også is i skjæringen mot veggen som vist i Figur V- 73. Grøfta er ganske bred, og isen skaper ingen spesielle problemer her.



Figur V- 71) Oversiktsbilde av tunnelportalen ved Odenrud. Det er laget en jordskjæring med en fjellskjæring nederst langs vegen. Det tekniske bygget er plassert helt inntil skjæringen. Foto: Arild Solberg (Statens vegvesen, 2016a).



Figur V- 72a) Det tekniske bygget, sett mot sørøst. Foto: A. Liereng (19.5.16). b) Iskjøving bak bygget. Foto: A. Liereng (11.3.16).



Figur V- 73a) Skjæringen rett utenfor tunnelportalen. Berget er litt vått i enkelte partier, av vann som kommer fra sprekker, Foto: A. Liereng (19.5.16) b) Iskjøving i skjæringen rett utenfor tunnelportalen. Foto: A. Liereng (11.3.16).

Vannet som forårsaker isen bak det tekniske bygget kommer mest sannsynlig fra flere grunnvannskilder i skjæringen. Disse er markert med svarte stjerner i Figur V- 74. Vannet renner i løsmassene ned til fjellskjæringen som vist med gule piler. Vannet renner i sprekker og på de flate berghyllene. Vannet samles i to nedløp bak teknisk bygg, som vist med gule piler i Figur V- 74 og Figur V- 75.



Figur V- 74) Vannet som forårsaker isen bak det tekniske bygget kommer mest sannsynlig fra flere grunnvannskilder i løsmassene. Foto: A. Liereng (19.5.16).

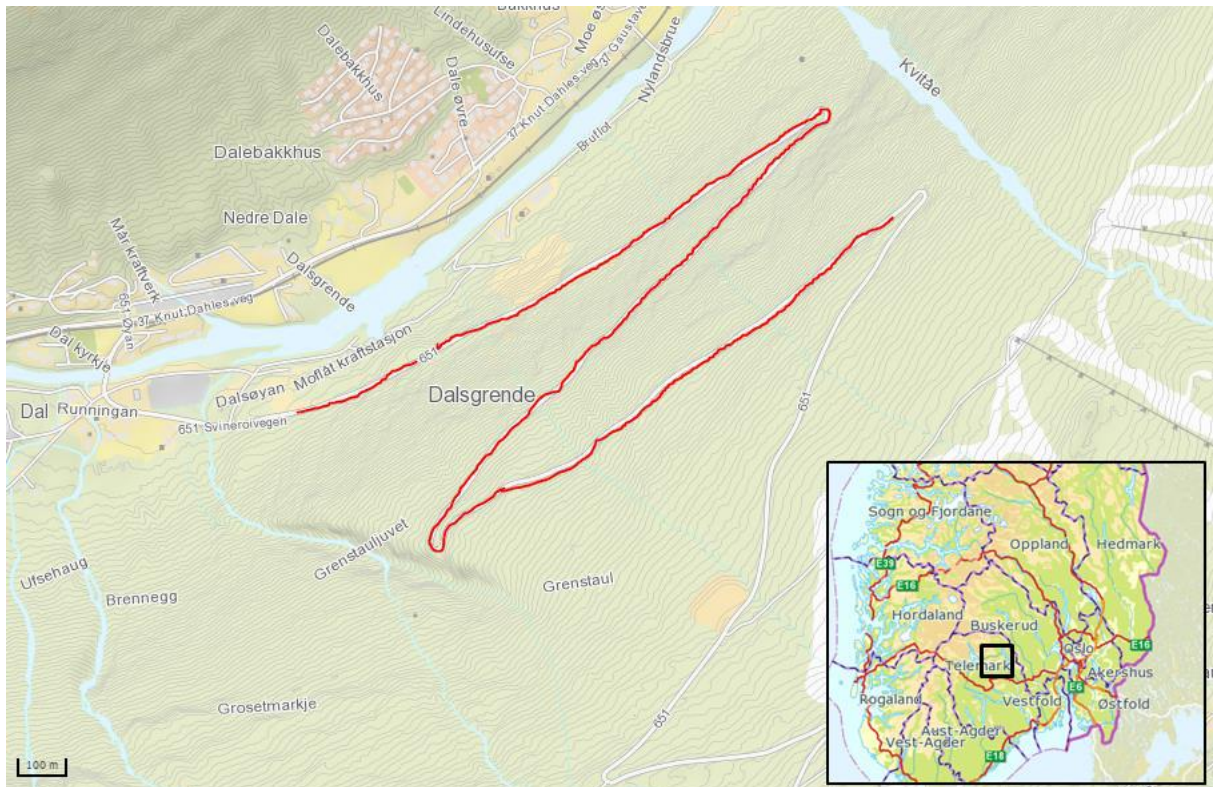
I tillegg til dette vannet renner det også vann i bergmassen. Vannet renner ut av et horisontalt, oppsprukket sjikt i berget markert med rød linje i Figur V- 75.



Figur V- 75) Det renner vann i to konsentrerte vannveger langs berget. En av dem er vist på bildet med gul pil. I tillegg renner det vann fra et horisontalt, oppsprukket lag midt i skjæringen, markert med rød linje. Foto: A. Liereng (19.5.16).

Vedlegg 10 - Fv 651 (Svineroivegen), Rjukan, Telemark

Plassering: 0826 FV 651 HP2 m8284 - m11928



Figur V- 76) Fv 651 mellom Rjukan og Gaustablikk har hatt store problemer med iskjøving og isras. Vegen går i tre slynger oppover en bratt fjellside. Det er mest is langs strekningen markert med rødt (Norgeskart, 2016).



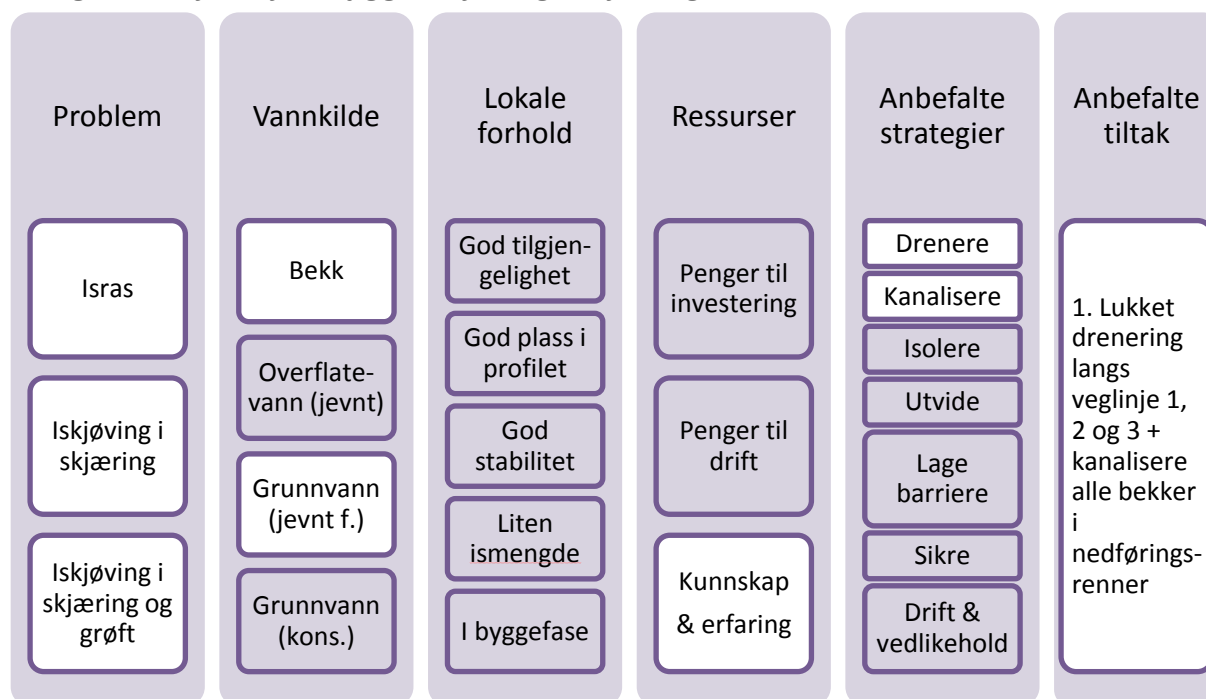
Figur V- 77a) Vegen er sikret med fanggjerder for å stanse isras som løsner høyere opp i terrenget.
b) Skjæringene er sikret med isnett som armerer isen fast til berget. Foto: A. Liereng (3.3.16).

Vegen mellom Rjukan og Gaustablikk Hotell er lagt i slynger oppover en bratt fjellside. Vegen har hatt store problemer med iskjøving og isras fra skjæringene og fjellsiden ovenfor

vegen. Problemene er størst for de to nederste veglinjene. Svingen mellom veglinje 1 og 2 er spesielt farlig, siden det ofte går isras fra terrenget ovenfor. Se Figur V- 77a. I tillegg har det vært problemer med steinsprang, utglidninger og erosjon i terrenget. Årsaken til iskjøvingen i fjellsiden har vært en kombinasjon av grunnvann og overflatevann. Det er spesielt mye iskjøving nedenfor stikkrennene som fører bekker og annet overflatevann under veglinjene.

For å øke trafikksikkerheten og sikkerheten til driftspersonell er det gjort omfattende sikringstiltak på strekningen. De fleste av skjæringene er sikret med isnett og det er satt opp 5 m høye fanggjerder der det er fare for isras fra fjellsiden ovenfor vegen. Se Figur V- 77a og b for bilder av sikringen. Effekten av tiltakene har vært god de fleste steder og det er mye mindre problemer med nedfall av is etter at nettene ble satt opp. Fanggjerdene er et effektivt vern mot steinsprang og isras langs svabergene mellom veglinjene. Ingen av disse tiltakene reduserer imidlertid mengden is.

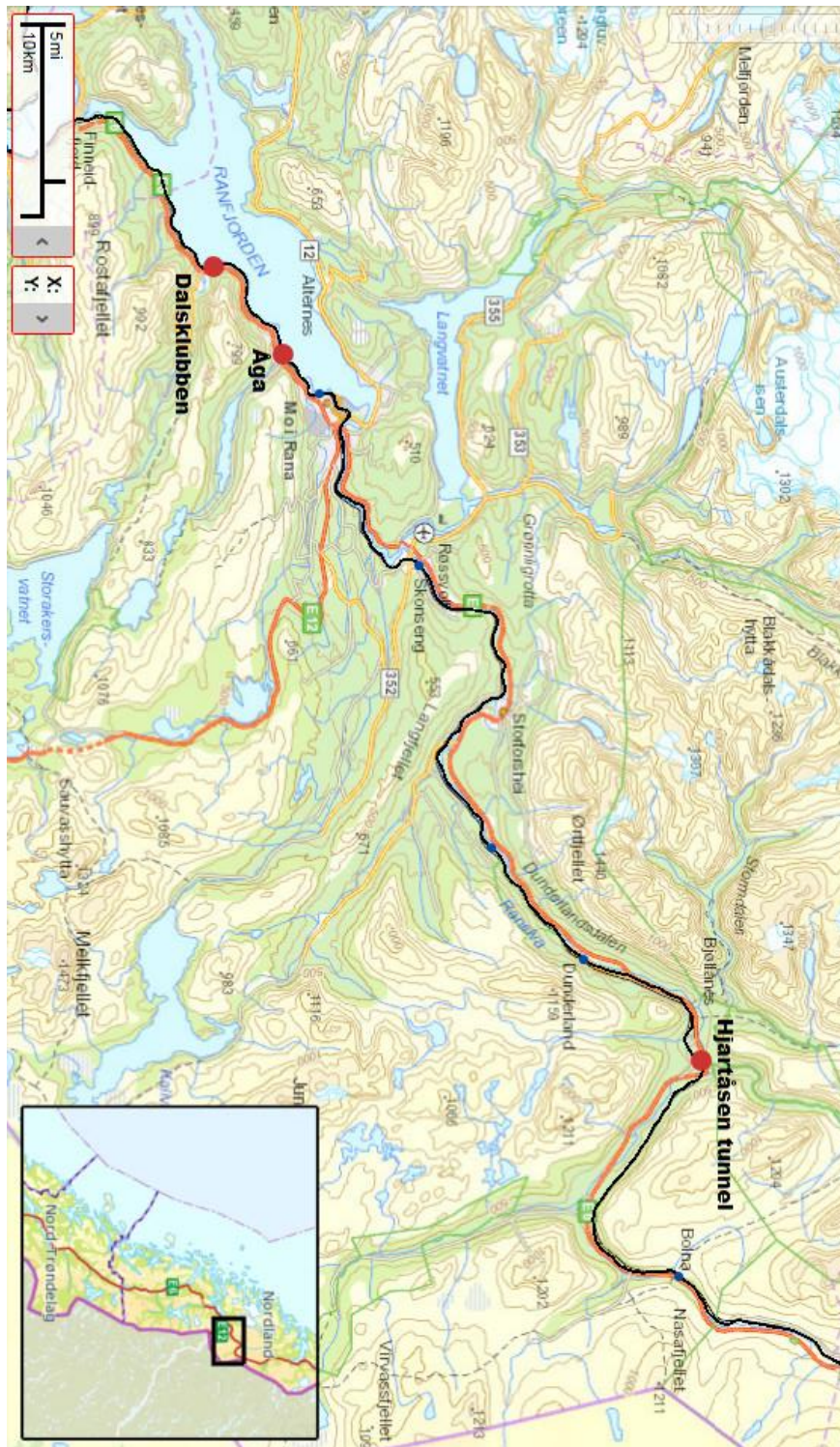
Mulige tiltak for å forebygge iskjøving i skjæringene



Figur V- 78) Tiltak som kan forebygge iskjøving langs Svinneroivegen.

Siden skjæringene er sikret med isnett og fanggjerder er problemene under kontroll. Dersom man ønsker å redusere mengden iskjøving, kan lukket drenering langs en eller flere av veglinjene være et alternativ. Grunnvannsnivået vil mest sannsynlig senkes og redusere vannmengden som er tilgjengelig for iskjøving lenger ned i fjellsiden. De større bekkene som føres under veglinjene bør kanaliseres i dype nedføringsrenner, slik at vannet ikke får spre seg utover.

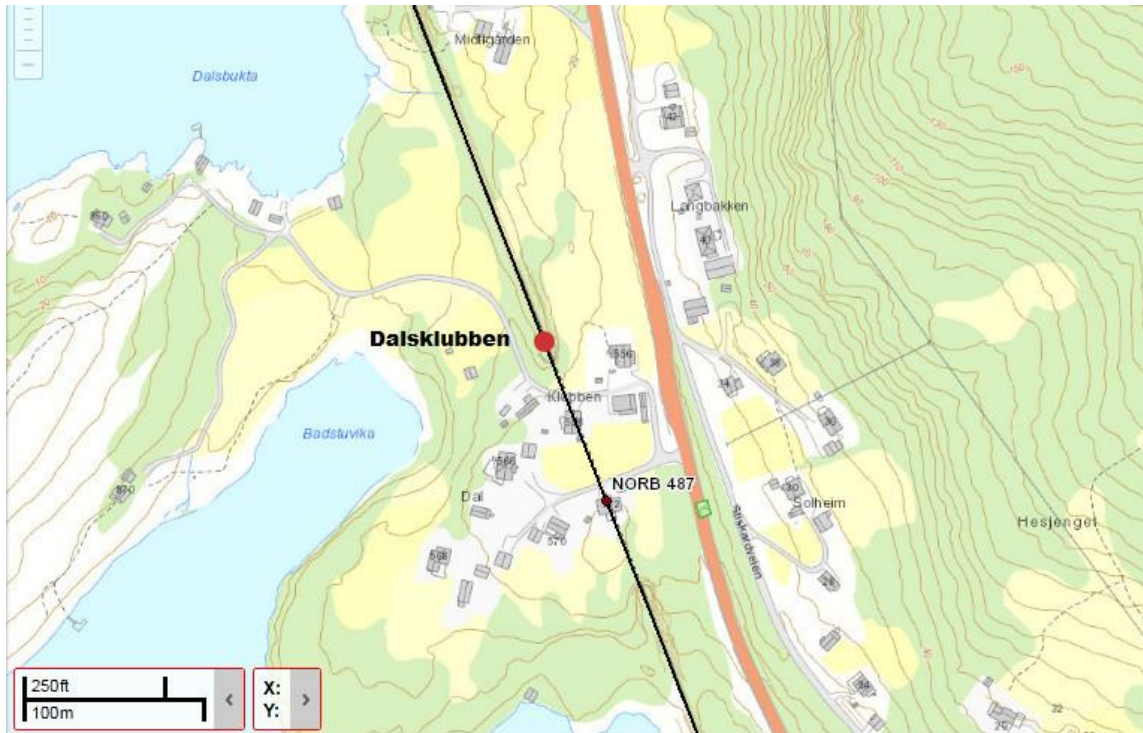
Vedlegg 11 - Nordlandsbanen, Dalsgrenda - Raudberget



Figur V- 79) Oversiktskart over punktene som er studert langs Nordlandsbanen (Jernbaneverket, 2016, Norgeskart, 2016).

Vedlegg 11A – Dalsklubben

Plassering: Nordlandsbanen km 487,1 (høyre side)



Figur V- 80) Detaljkart over Dalsklubben. Det er iskjøving i en skjæring utenfor den nordre portalen til Dalsklubben tunnel (Jernbaneverket, 2016).

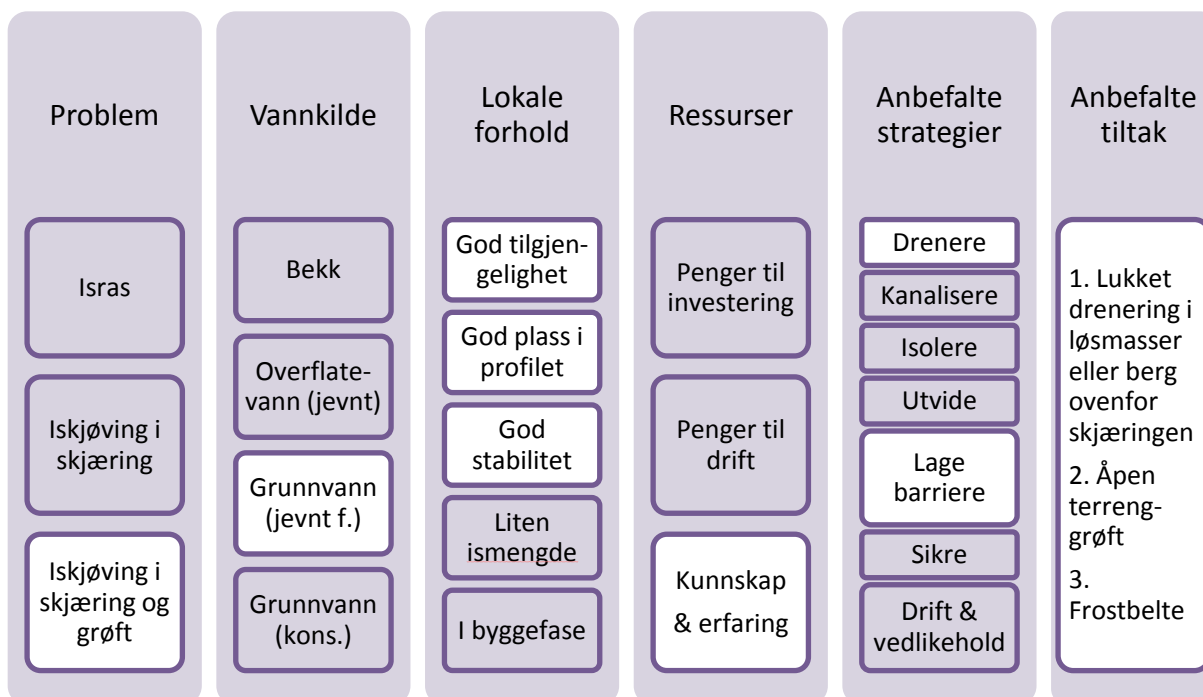
Nord for Dalsklubben tunnel er det en skjæring på høyre side av sporet. Tidligere var det store problemer med iskjøving i denne skjæringen. Isen kom i vegen for togene og kom ut i skinnegangen. Før det ble satt i verk tiltak var avstanden mellom berg og spor bare 1 m. For å bedre forholdene ble skjæringen utvidet med 3 m. Dermed kommer ikke isen så raskt inn i profilet for togene. I tillegg legges det ut varmekabel i grøfta ved behov. Denne smelter en åpen kanal i grøfta slik at isen ikke kommer inn i sporet. Ingen av disse tiltakene reduserer imidlertid mengden iskjøving i skjæringen.



Figur V- 81) Iskjøving i skjæringen utenfor tunnelen. Isen starter i toppen av skjæringen der løsmassene er fjernet. Det er lagt varmekabel i grøfta. Foto: A. Liereng (15.3.16)

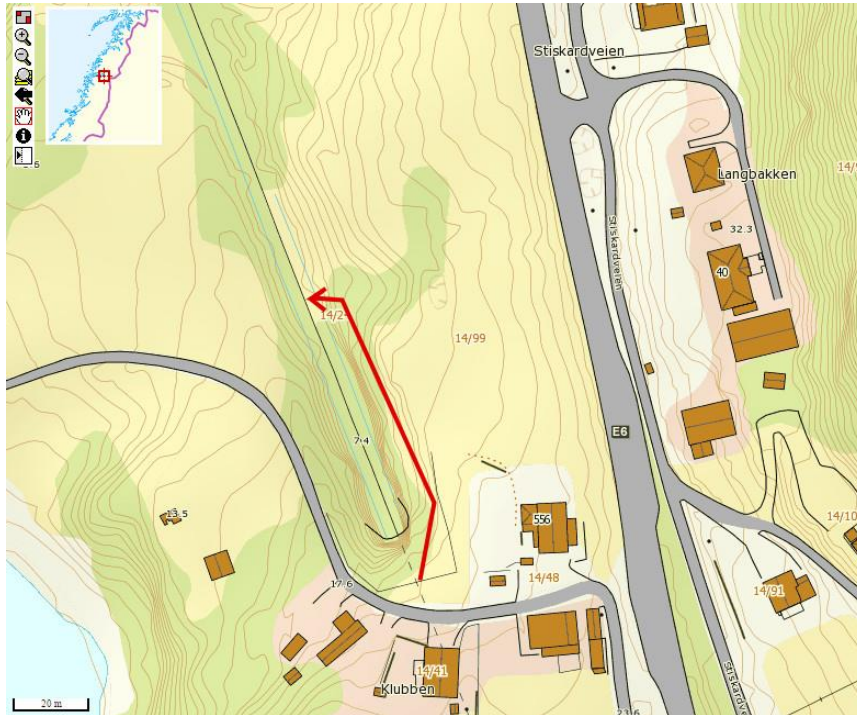
Årsaken til isen er mest sannsynlig vann som renner i grensa mellom berggrunn – løsmasser. Isen begynner der løsmassedekket slutter og er jevnt fordelt i skjæringen. Området ovenfor skjæringen er flatt og lett tilgjengelig. Det er dermed flere mulige tiltak som kan gjøres for å forebygge iskjøvingen, dersom det er ønskelig.

Forslag til nye tiltak for å forebygge iskjøving i skjæringen



Figur V- 82) Tiltak som kan forebygge iskjøving i skjæringen ved Dalsklubben tunnel.

Den beste løsningen for å forebygge iskjøving vil være å drenere terrenget ovenfor skjæringen. Avhengig av hvor vannet renner, kan det lages en lukket drenering i berget eller løsmassene, eller en åpen terrenggrøft. Et forslag til plassering av grøfta er vist i Figur V- 83. Et tredje alternativ er å lage et frostbelte i området ovenfor skjæringen. Frostbeltet kan lages ved å brøyte vekk snøen i starten av vinteren og få vannet til å kjøve ovenfor skjæringen.



Figur V- 83) Rød pil viser forslag til plassering av lukket drenering eller åpen terrenggrøft (Norges geologiske undersøkelse, 2016).

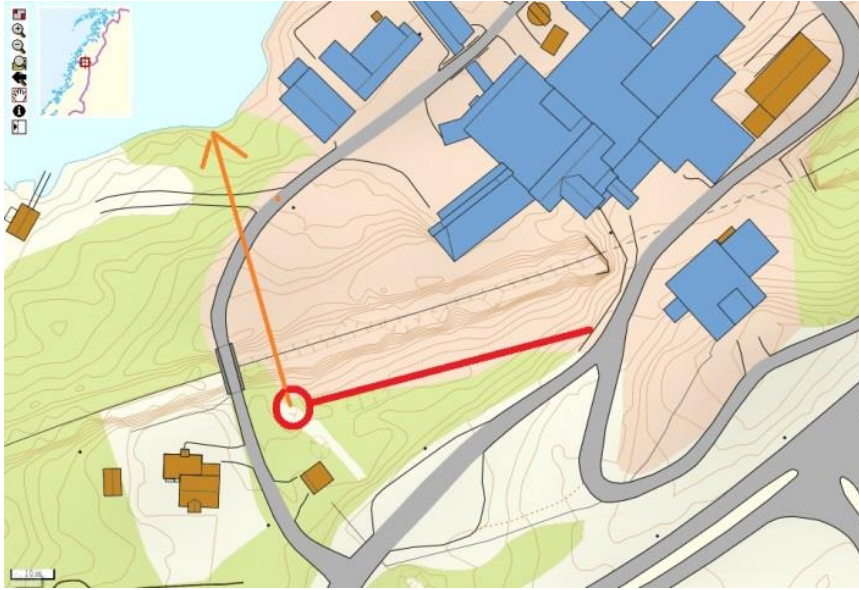
Vedlegg 11B – Åga

Plassering: Nordlandsbanen km 494,5 (høyre side)



Figur V- 84) Oversiktskart over Åga. Skjæringen med isproblemer ligger rett ved Bergverkselskapet, ytterst ved fjorden (Norges geologiske undersøkelse, 2016).

Ved Åga går jernbanen i en kort tunnel under Bergverkselskapet industriområde. Rett før denne tunnelen dannes det mye is i skjæringen på høyre side av sporet. Isen skaper problemer for togene, siden den fyller grøfta og kommer ut i sporet. For å redusere problemene er det laget en åpen terrenggrøft på oversiden av skjæringen. Grøfta har fall sørover til en vanntunnel under sporet, der vannet føres ned til fjorden. Plasseringen av grøfta er vist i Figur V- 85. Terrenggrøfta er bred og nokså grunn. For å hindre at grøfta fryser igjen på vinteren er det lagt ned en varmekabel i bunnen. Varmekabelen kobles til aggregat ved behov, siden det ikke er strømtilgang på stedet.

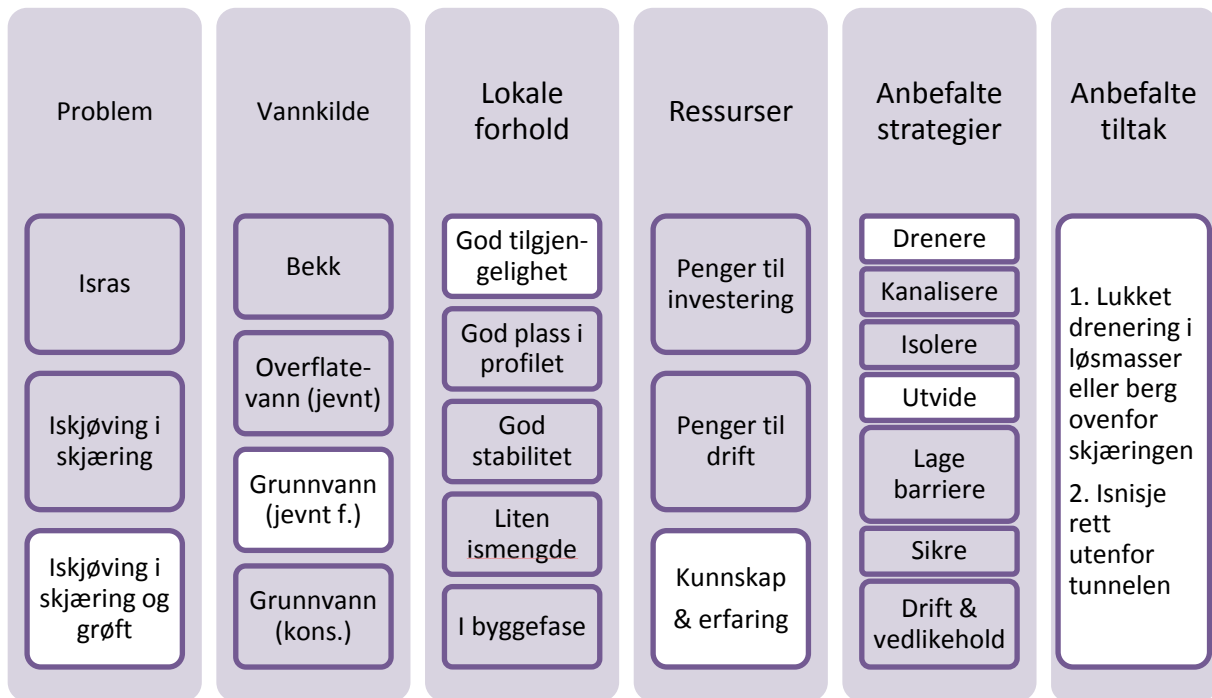


Figur V- 85) Svart tynn linje er jernbanesporet. Rød linje viser plassering av en åpen terrenggrøft, og rød ring viser inntak til vanntunnel. Oransje pil viser omtrentlig plassering av vanntunnel under sporet ned til fjorden (Norges geologiske undersøkelse, 2016).



Figur V- 86a) Det er laget en terrenggrøft for å samle vann på oversiden av skjæringen, vist med rød linje (pil i fallretningen). b) Vannet i terrenggrøfta ledes til dette inntaket. Vannet renner ned i en vanntunnel under sporet ut til fjorden. Foto: A. Liereng (15.3.16).

Effekten av terrenggrøfta er begrenset. Figur V- 86a viser at det fortsatt er en god del is i skjæringen, spesielt rett ved tunnelmunningen. Dette tyder på at grøfta ikke klarer å samle alt vannet som renner ut mot skjæringen. Forfatteren har ikke sett området uten snø, og kan dermed ikke fastslå med sikkerhet hvor vannet kommer fra. Mest sannsynlig er det grunnvann som renner i dype lag av løsmassene eller i sjiktet mellom berg og løsmasser som er vannkilden.

Mulige tiltak for å forebygge iskjøving i skjæringen

Figur V- 87) Tiltak som kan forebygge iskjøving i skjæringen ved Åga tunnel.

En mulighet er å drenere terrenget ovenfor skjæringen ytterligere. Avhengig av hvor vannet renner, kan det lages en lukket drenering i berget eller løsmassene. Denne dreneringen bør samle mer vann enn den åpne terrenggrøfta gjør i dag. Et annet alternativ er å lage en isnisje rett utenfor tunnelen, slik at isen her kommer lenger unna sporet.

Vedlegg 11C - Hjartåsen

Plassering: Nordlandsbanen km 553,0 (venstre side)



Figur V- 88) Hjartåsen tunnel. Rødt punkt viser plasseringen av isnisje utenfor den nordre tunnelportalen (Jernbaneverket, 2016).

Ved Hjartåsen tunnel har det vært problemer med iskjøving i tunnelen og i skjæringen utenfor tunnelen. I tunnelen er det benyttet isolasjonsplater av PE-skum flere steder for å isolere vann som renner ut i tak og vegger av tunnelen. Disse er brannfarlige, og skal dermed ikke lenger benyttes på denne måten i tunneler. Berget er også etter-injisert i enkelte områder for å tette igjen vannførende sprekker. Injeksjon er en vanlig tetningsmetode i tunneler, men effekten av injeksjon etter at tunnelen er drevet ut (etter-injeksjon) er veldig usikker. I Hjartåsen tunnel har tiltaket hatt god effekt.

Utenfor den nordre tunnelportalen dannet det seg mye is i skjæringen. Årsaken til iskjøvingen var en vannførende sprekk i berget. For å redusere problemene ble det laget en isnisje i dette området.

Kartreferanser:

Jernbaneverket (2016) *Jernbaneverkets kartvisning*. Tilgjengelig fra:

<http://customapps2.geodataonline.no/Jernbaneverket/kartinnsyn/> [Hentet 1.6.16].

Kartverket (2015) *Norgeskart*. Tilgjengelig fra: <http://www.norgeskart.no> [Hentet 16.12.15].

Norges Geologiske Undersøkelse (2016) *Nasjonal arealinformasjon*. Tilgjengelig fra:

<http://geo.ngu.no/kart/arealisNGU/> [Hentet 19.4.16].

Norgeskart (2016) *Kart*. Tilgjengelig fra: <http://www.norgeskart.no> [Hentet 1.6.16].

Statens Vegvesen (2016a) *E6 Frya-Sjoa i 360°*. Statens vegvesen. Tilgjengelig fra:

<http://www.geo360.net/e6fryasjoa/> [Hentet 18.5.16].

Statens Vegvesen (2016b) *Vegkart*. Tilgjengelig fra:

[https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/#kartlag:geodata/hva:\(~\)/hvor:\(\)/@224981,6838641,12](https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/#kartlag:geodata/hva:(~)/hvor:()/@224981,6838641,12) [Hentet 18.5.16].