

# Frosttekniske egenskaper for frostsikringsmaterialer og effekt av ulike frostsikringsmetoder

**Lars Andreas Solås**

Tekniske geofag

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Bjørge Brattli, IGB

Medveileder: Per Otto Aursand, Statens vegvesen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for geologi og bergteknikk



---

# Forord

Denne masteroppgaven er utført våren 2014 ved fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, institutt for geologi og bergteknikk, faggruppe ingeniørgeologi og i samarbeid med Statens vegvesen (SVV) Region nord. Oppgavens omfang er på 30 studiepoeng som tilsvarer ca. 20 uker, eller ca. 800 arbeidstimer. En god del av tiden har gått med til det praktiske felt- og labarbeidet.

Bakgrunnen for valget av problemstilling var todelt. SVV/Vegdirektoratet hadde et ønske om å se nærmere på effekt av og retningslinjer til ulike frostsikringstiltak, samt at jeg var interessert i å jobbe med veg. Prosjektet er definert av Per Otto Aursand, SVV, med innspill fra Jostein Aksnes, Vegdirektoratet, Inge Hoff, NTNU, og Nils Sigurd Uthus, Vegdirektoratet.

Jeg vil rette en stor takk til Bjørge Brattli, professor ved NTNU, som har vært hovedveilederen min og diskusjonspartner, Per Otto Aursand for utforming av oppgave, informasjon i form av byggeplan, ViaPPS- og GPR-data mm., konstruktiv kritikk underveis og hjelp under oppgraving av veg, Henri Giudici, masterstudent NTNU, for uvurderlig samarbeid under laboratoriearbeidet og Statens vegvesen for midler til gjennomføring av feltundersøkelser.

Ellers vil jeg takke for lånet av Geoteknisk laboratorium og Helene A. Kornbrekke for veiledning i laboratoriearbeidet og hjelp til tolkning av resultater. En takk rettes også for lånet av Vegteknisk laboratorium og introduksjon for bruk ved Lisbeth Johansen, seniortechniker SINTEF/NTNU. Takk til Laurentius Tjihuis, avdelingsingeniør NTNU, for tilgang til lab og bistand til tolkning av XRD-prøver. Takk også til Johan Anders Bongo, ingeniør SVV, for låne av GPS og overføring av rådata.

Takk til Veidekke Drift AS avd. Meløy og Arvid Thomassen AS for hjelp med oppgravingsarbeidene i henholdsvis Meløy og Alta. For å komme i mål med denne oppgaven har mange bidratt og selv om ikke alle nevnes her, er jeg veldig takknemlig for all hjelp og vil derfor rette en stor takk til dere alle.

Lars Andreas Solås

Trondheim 10.06.2014



---

# Sammendrag

Telehivskader er et kjent problem på norske veier og medfører forringet kjørekomfort og unødvendige ekstrakostnader i form av rehabilitering. På bakgrunn av dette ble det i 2011 satt ned en ekspertgruppe som skulle se på årsaker til telehiv på nybygde veier og foreslå mottiltak. Det ble i dette arbeidet avdekket mangler i dagens kunnskap om hvordan ulike materialparametre innvirker på bla. frostmotstand og telehiving. Med utgangspunkt i de nye retningslinjene fra ekspertgruppen er det i oppgaven sett nærmere på egenskaper knyttet til grenseverdiene for finstoffinnhold i et frostsikringslag av sand, grus og stein (hhv. pukk). Det er i tillegg vurdert frostsikringeffekt av skumglass, geonett, pukk og utkiling. For å kunne se nærmere på egenskaper til og effekten av frostsikring er det utført feltundersøkelser på fylkesveg 26 (Fv26) i Tverrelvdalen og Fv452 i Meløy. Begge veiene har tidligere hatt telehivproblemer før de ble utbedret i 2011/2012. Utbedringene har bare delvis vært vellykkete og for begge vegene er det rapport telehiving i etterkant.

I oppgaven gis det innledningsvis en bakgrunn for mekanismene til telehiv. Deretter følger en sammenligning av materialkravene til land med frost/teleproblemer. Det er så presentert generell info om vegene samt bakgrunnsdata for metoder benyttet i oppgaven. Til innsamling av data er det utført ViaPPS-, Georadar- (GPR), GPS-målinger og oppgraving av veg. Under oppgraving er det gjort prøvetaking, oppmåling og visuelle observasjoner. Prøvematerialet er transportert til laboratorium ved NTNU hvor kornfordeling, finstoffinnhold, mineralogi og vanninnhold er funnet. Data fra lab og feltarbeid er sammenstilt før resultatene er analysert. Til slutt er effekten av de ulike frostsikringiltakene vurdert.

For Fv26 er det utført GPS-målinger langs syv strekninger. Målingene er først gjort på sommeren, før de samme punktene er innhentet på slutten av vinteren og den vertikale høydeforskjellen kan avleses. Dette gir mulighet for å vurdere effekten av de ulike frostsikringiltakene. På Fv26 er det i tillegg gjort en oppgraving hvor vegen er frostsikret med pukk. Det var videre planlagt oppgraving ved utkiling av skumglass og stikkrenner, men det utgikk siden entreprenør hadde glemt å søke om gravemelding.

Ved Fv452 er det utført fire oppgravinger hvor det er frostsikret med pukk. Det er rapportert om telehiv for tre av oppgravings-lokalitene, mens den fjerde er et referanselag. For Fv452 var det i tillegg planlagt GPS-målinger langs tre strekninger som er frostsikret med skumglass og pukk, men pga. dårlige mottaksforhold var ikke det mulig å få nøyaktige nok målinger.

På bakgrunn av sammenstilt data er det konkludert med følgende: ●Geonett ser ikke ut til å ha effekt på telehiving. ●Prøver fra pukklagene er funnet til å tilfredsstillende kravene Håndbok 018 (Hb018) har til finstoffinnhold, men det er observert egenskaper som tilsier at kravene muligens bør strammes inn. ●For frostsikring med pukk er det ikke alltid slik at finstoffinnholdet korrelerer med vanninnholdet. Beregninger av tykkelse for frostsikringslag i Hb018 gis ved frostmengder, og det tas ikke hensyn til at frostdybden kan variere pga. ulikt vanninnhold. ●Kravene til tykkelse av skumglass i Hb018 er sammenlignet med telehiv-målinger i felt og vist seg å ha tilstrekkelig effekt mot frostnedtrengning.

---

---

# Abstract

Damages from frost heave are a problem on Norwegian roads and leads to degraded driving comfort and unnecessary extra costs from rehabilitation. In 2011 a group of experts were put together to look at reasons for frost heave on newly built roads and recommend enterprise to avoid these damages in the future. During this work it was revealed lack of knowledge on how different material parameters affect on inter alia frost resistance and frost heaving. Based on the new requirements from the expert group this thesis is looking closer on properties of the fines in an antifrost layer made of sand, gravel and rock (resp. crushed stone). And also frost effect of glass foam, geonet, crushed stone and wedge out. In order to be able to determine the properties and effect of the frost protection it's performed field investigations for county road 26 (Fv26) in Tverrelvdalen and Fv452 in Meløy. Both of the roads have suffered from frost heave problems before they were restored in 2011/2012. The restorations have only been partly successive and in posterity both of the roads have reports off frost heave.

In the thesis it is first given a background for the mechanism behind frost heave. Thereby there is a comparison of material requirements for different countries exposed to frost. Then there is general info about the roads and also background data for methods used in this thesis. ViaPPS-, Georadar- (GPR), GPS-measurements is used for acquisition of data and also excavation of road. During excavation samples and measurements have been taken and also visual observations. Sample material is transported to the laboratory at NTNU where grain distribution, amount of fines, mineralogy and water content is found. Data from lab and fieldwork is put together before the results are analysed. In the end the effect of the different frost protection methods is evaluated.

For Fv26 it's carried out GPS-measurements for seven distances. The measurements are first done in the summer, before the same points are gathered in the end of winter and the vertical height difference can be found. This gives the opportunity to consider the effect of different frost protection methods. On Fv26 it's also done one excavation where the frost protection is crushed stone. It was planned to do more excavations of wedge-out in foam glass and crushed stone, but the contractor forgot to apply for excavation notice.

On Fv452 it's four excavations for road frost protected with crushed stone. It has been reported frost heave for three of the excavation points, while the fourth is a reference layer. For Fv452 it was also planned to do GPS-measurements for three distances with glass foam and crushed stone, but the satellite connection was not good enough to get accurate results.

Given all the data it's concluded:

- Geonet does not seem to have an effect on frost heave.
- Samples from the crushed stone fits the requirements given for fines in Handbook018 (Hb108), but it's observed properties that may would lead to change in the requirements.
- For crushed stone it's not always a fit between fines and water content. For thickness of crushed stone in frost protection Hb018 only requires frost index, and water content is not considered may giving error in frostfree depth.
- Requirements for thickness of glass foam in Hb018 is tested in field and seems to be sufficient for frost protection.





# Innhold

<b>Forord</b>	<b>i</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b>	<b>viii</b>
<b>Tabelliste</b>	<b>x</b>
<b>Figurliste</b>	<b>xiv</b>
<b>Begrepsliste</b>	<b>xv</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
<b>2 Frosttekniske egenskaper</b>	<b>3</b>
2.1 Telehiv . . . . .	3
2.2 Effekt av finstoffinnhold . . . . .	4
2.3 Effekt av mineralogi . . . . .	7
2.4 Vannoppsug . . . . .	8
2.5 Frostnedtrengning . . . . .	11
<b>3 Materialkrav til frostsikringslag</b>	<b>15</b>
3.1 Norge . . . . .	15
3.2 Sverige . . . . .	17
3.3 Finland . . . . .	19
3.4 Alaska . . . . .	20
3.5 USA (Minnesota) . . . . .	21
3.6 Sammendrag av krav til finstoffinnhold . . . . .	22
<b>4 Generell info om strekningene</b>	<b>23</b>
4.1 Geografisk plassering . . . . .	23
4.2 Klima . . . . .	24
4.3 Geologiske forhold . . . . .	26
4.4 ÅDT . . . . .	28
<b>5 Bakgrunnsdata</b>	<b>29</b>
5.1 Data fra feltmålinger . . . . .	29
5.1.1 ViaPPS-måling . . . . .	29
5.1.2 Georadar-målinger . . . . .	30
5.1.3 GPS-målinger . . . . .	31

---

5.2	Laboratorieundersøkelser . . . . .	32
5.2.1	Kornfordeling, vann- og finstoffinnhold . . . . .	32
5.2.2	XRD-analyser . . . . .	33
5.3	Andre data . . . . .	34
5.3.1	Vegtekniske utbedringer . . . . .	34
5.3.2	Klima . . . . .	38
5.3.3	Frostmengde . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Sammenstilling av relevante data</b>	<b>41</b>
6.1	Telehiv etter utbedringer (vinteråret 2012/13) . . . . .	41
6.2	Frostmengde . . . . .	42
6.3	Undersøkelser av vegprofil og undergrunn . . . . .	43
6.3.1	Oppgraving av veg . . . . .	43
6.3.2	Oppgravingsprofiler . . . . .	46
6.3.3	Feltobservasjoner . . . . .	49
6.4	Resultater fra laboratoriearbeid . . . . .	56
6.4.1	Vann- og finstoffinnhold . . . . .	58
6.4.2	XRD . . . . .	59
6.5	GPS-målinger . . . . .	59
<b>7</b>	<b>Vurdering av effekt for de ulike frostsikringsmetoder</b>	<b>73</b>
7.1	Krav til frostsikring ved Hb018 . . . . .	73
7.2	Beregning av frostdybde . . . . .	74
7.2.1	Frostdybder - teoretiske verdier og feltmålinger . . . . .	76
7.3	Effekt av finstoffinnhold . . . . .	77
7.4	Effekt av ulike frostsikringstiltak . . . . .	79
7.4.1	Frostsikring med pukk . . . . .	79
7.4.2	Frostsikring med skumglass . . . . .	79
7.4.3	Frostsikring med geonett . . . . .	80
7.4.4	Forsterkning av undergrunn (ikke frostsikret) . . . . .	80
7.4.5	Utkiling . . . . .	80
7.5	Effekt av mineralogi . . . . .	81
7.6	Svakheter ved tolkningen . . . . .	82
<b>8</b>	<b>Konklusjoner</b>	<b>83</b>
<b>9</b>	<b>Forslag til videre arbeider</b>	<b>85</b>
	<b>Bibliografi</b>	<b>85</b>
	<b>Vedlegg</b>	<b>91</b>

# Tabeller

2.1	Telefarlighetsklassifisering etter kornfordeling (Statens vegvesen, 2010). . . . .	6
2.2	Varmeledningsevne for jord- og isolasjonsmaterialer. (Statens vegvesen, 2010). . . . .	12
3.1	Dimensjonerende frostmengder og tykkelser* av frostsikringsmaterialer for veg (Aksnes et al., 2013). . . . .	16
3.2	Krav til kornfordeling for pukk (Aksnes et al., 2013). . . . .	17
3.3	Krav til kornfordeling for sortert sprengstein. (Vägverket, 2005). . . . .	17
3.4	Krav til kornfordeling for knust sprengstein. (Vägverket, 2005). . . . .	18
3.5	Krav til varmemotstand ( $m^2K/W$ ) for isoleringsmateriale i frostsikringslaget ved telefarlighetsklasse 4 (Vägverket, 2005). . . . .	18
3.6	Krav til tykkelse for frostsikringslag ved 20-yr ESAL (MDT, 2004). . . . .	21
3.7	Kornfordelingskrav for alkaliske tilslagsmaterialer brukt som frostsikring (MDT, 2014). . . . .	21
3.8	Krav til finstoffinnhold i frostsikringslag for Norge, Sverige, Finland, Alaska og Minnesota(USA). . . . .	22
4.1	ÅDT for Fv26 og Fv452. Data er hentet fra NVDB. . . . .	28
5.1	Beregnet frostmengde for Alta (målestasjon - Alta lufthavn) og Meløy (målestasjon - Glomfjord) vinterårene 1979-2009/2010. Klimadata fra Meteorologisk Institutt, 2014. . . . .	39
6.1	Frostmengder for Alta og Meløy vinteråret 2012/13, 2013/14 og et normalt vinterår (måleperiode 1979-2009). Klimadata er hentet fra Meteorologisk Institutt (2014). . . . .	42
6.2	Laboratorieanalyser for de ulike prøvetakingene. . . . .	48
6.3	Klassifisering av prøvemateriale.* . . . . .	58
6.4	Vann og finstoffinnhold for de ulike prøvene. (f=finstoffinnhold, v=vanninnhold) . . . . .	58
6.5	Kvantifisering av mineralogisk sammensetning til de ulike prøvene. Alle tall er i prosent av total andel mineraler. . . . .	59
6.6	Gjennomsnitt av GPS-målinger ved Fv26. Antall målinger står i parentes. . . . .	60
7.1	Krav til dimensjonering av frostsikringslag i henhold til Hb018. Det er i tillegg sammenlignet med krav til frostsikringslag gitt frostmengder for vinter 2013/14. . . . .	73
7.2	Teoretiske og målte frostdyber for ulike vegtiltak i sammenheng med telefarlighet og obsevert telehiv. . . . .	76
7.3	Krav til helning på utkilingen (Statens vegvesen, 2011). . . . .	81

---

7.4	Målt helning på utkilinger ved Fv26. . . . .	81
9.1	Beskrivelse av løsmasser for figur 4.3 og 4.5 (NGU, 2014). . . . .	100

# Figurer

2.1	Dannelse av islinser. Modifisert etter ADPTF (2004)	3
2.2	Langsgående oppsprekking på grunn av ujevnt tversgående telehiv. Gjengitt etter Doré (2002).	4
2.3	Kapillæritet og permeabilitet som funksjon av jordarters kornstørrelse (Aksnes et al., 2013).	5
2.4	Eksempler på telefarlighetsklassifisering (Statens vegvesen, 2010).	6
2.5	Eksempel på is som trenger seg ned i porene til jordmaterialet (Woo, 2012).	7
2.6	Transport av vann til frysesonen og utfrysing (Aksnes et al., 2013).	7
2.7	a) Kapillær stigning i hårrør. Retningen på meniskens krumning indikerer at vannet fukter glasset. b) og c) Kapillær stigning i jordart (henholdsvis nedre og øvre kapillærsoner). Kanalene mellom kornene fungerer som hårrør (Brattli, 2009).	9
2.8	Varmestrøm gjennom et jordelement. (Andersland and Ladanyi, 2004)	12
2.9	Ikke-frossent vanninnhold for saltfrie jordarter ved ulike temperaturer (Z. A. Nerseova, 1963).	13
2.10	Ved frost i jord dannes det en frysesone for temperaturer under $0^{\circ}C$ , mens det i frysefronten dannes islinser. Den hydrauliske konduktiviteten til vann dropper kraftig ved frysefronten (Woo, 2012).	14
3.1	Krav til tykkelse for frostsikring av vegger med sand, grus og stein (pukk). Til høyre vises en skisse av overbygningen (Statens vegvesen, 2011).	16
3.2	Krav til tykkelse for frostsikring med isolasjonsmaterialer (Statens vegvesen, 2011).	16
3.3	Illustrasjon av kornfordelingskurve for sortert sprengstein (Vägverket, 2005).	17
3.4	Illustrasjon av kornfordelingskurve for knust sprengstein (Vägverket, 2005).	18
3.5	Krav til gradering for naturlig grus eller sand i frostsikringslaget.	19
3.6	Krav til gradering for bruk av knust stein i frostsikringslaget.	19
3.7	Kritisk og maksimalt finstoffinnhold som funksjon av dybden. 1 inch tilsvarer 2.54 cm. (ADPTF, 2004)	20
4.1	Geografisk plassering av Meløy, og et oversiktsbilde av Bjærangsfjorden. Rektangel 1-4 markerer lokaliteter for prøvetaking av veg. (Kartverket, 2014)	23
4.2	Geografisk plassering av Alta, og et oversiktsbilde av Tverrelvdalen. Rektangel 1-7 er strekninger målt inn med GPS. (Kartverket, 2014)	24

4.3	Gjennomsnittlig klima for Meløy i perioden 1964-2010. Klimadata er fra Glomfjord målestasjon (Meteorologisk Institutt, 2014). . . . .	25
4.4	Gjennomsnittlig klima for Alta i perioden 1964-2010. Klimadata er fra Alta lufthavn (Meteorologisk Institutt, 2014). . . . .	25
4.5	Løsmassekart for Tverrelvdalen (NGU, 2014). Rektangel 1-7 er strekninger målt inn med GPS. . . . .	26
4.6	Løsmassekart for Bjarangsfjorden (NGU, 2014). Rektangel 1-4 markerer lokaliteter for prøvetaking av veg. . . . .	27
5.1	IRI-fordeling over året (Aursand, 2005). . . . .	30
5.2	GPR-måling Fv26 Alta. . . . .	31
5.3	Leica RTK GPS Viva (Surveyequipment, 2014). . . . .	31
5.4	Illustrasjon av GPS-målinger langs veg. Målinger er tatt for omtrent hver 5. m. . . . .	32
5.5	Frakt av prøver med hurtigruta fra Bodø. . . . .	32
5.6	XRD-analyse av prøvemateriale. Prøvekopp ligger omtrent midt i bildet. . . . .	34
5.7	Frostsikring med pukk for Fv452. Hentet fra byggeplan (Statens vegvesen, 2011). . . . .	35
5.8	Frostsikring med pukk for Fv26. Hentet fra byggeplan (Statens vegvesen, 2012). . . . .	35
5.9	Frostsikring med skumglass for Fv26. Hentet fra byggeplan (Statens vegvesen, 2012). . . . .	36
5.10	Frostsikring med geonett på Fv26. Hentet fra byggeplan (Statens vegvesen, 2012). . . . .	37
5.11	Forsterkningstiltak ved Fv26. Hentet fra byggeplan (Statens vegvesen, 2012). . . . .	37
5.12	Prinsipp for stikkrenner ved kryssing av vei hentet fra Statens vegvesen (2011). . . . .	38
6.1	$\delta$ -IRI for Fv452, HP1 - km. 5650 - 6100. . . . .	41
6.2	$\delta$ -IRI for Fv452, HP1 - km. 10000 - 115000. . . . .	42
6.3	Oppbrekking av asfalt før oppgraving. . . . .	43
6.4	Utgraving av masser. . . . .	44
6.5	Prøvetaking i felt. . . . .	44
6.6	Oppbevaring av prøvemateriale. . . . .	45
6.7	Til venstre vises et eksempel på måling av strukturer i overbygningen samt dybde til undergrunn. Til høyre vises apparatur brukt til måling av temperatur.* . . . . .	45
6.8	Tilbakelagte masser etter endt oppgraving. . . . .	46
6.9	Til venstre vises profil og prøvetaking for Meløy 1, mens til høyre finnes Meløy 2. . . . .	47
6.10	Til venstre vises profil og prøvetaking for Meløy 3, mens til høyre finnes Meløy 4. . . . .	47
6.11	Profil Alta med prøvetaking. . . . .	48
6.12	Til venstre vises skråning i bakgrunn av profil Meløy 1. Til høyres vises stikkrenne like ved profil Meløy 1. . . . .	49
6.13	Tverrsnitt av profil 1 Meløy. Det er tydelig forskjell i finstoffordelingen til pukklaget. . . . .	50

6.14	Islinser i profil Meløy 1. Islinsene befinner seg like over morenen som er klassifisert T3. . . . .	50
6.15	Langsgående sprekker dannet ved telehiv. Oppgraving av profil Meløy 1 er lokalisert der den nærmeste bilen befinner seg. . . . .	51
6.16	Ved oppgraving var undergrunnen overraskende tørr, og i søken etter islinser ble det gravd i bredden. . . . .	52
6.17	Til venstre sees isdannelse. Til høyre vises vannlaget i skillet mellom frostsikringslag/undergrunn. . . . .	52
6.18	Isdannelse i bunn av pukklaget. . . . .	53
6.19	Oppgraving av profil Meløy 3 er lokalisert der mannen i bildet står. Like til venstre, på midten av vegen kan en se langsgående telesprekk. . . . .	53
6.20	Oversiktsbilde av tverrsnitt for profil Meløy 4. Her var de tydelig vann i skille mellom undergrunn og pukklag. . . . .	54
6.21	Tverrsnitt av profil Alta. Her ble frostfronten aldri funnet. . . . .	55
6.22	Isdannelse i pukklaget for profil Alta. . . . .	56
6.23	Kornfordelingskurve for pukklaget Meløy 1-4 og Pukk Alta. Det gjøres oppmerksom at kornfordelingen gjelder for total andel materiale < 22.4 mm. . . . .	57
6.24	Kornfordelingskurve for morene Meløy 1-3 og leire Alta. . . . .	57
6.25	På bildet vises strekning 1 som er forsterket, men ikke frostsikret. . . . .	61
6.26	Oversiktsbilde over første halvdel av strekning 1. . . . .	61
6.27	Oversiktsbilde over siste del av strekning 1. . . . .	62
6.28	På bildet vises strekning 2 som er frostsikret med skumglass. Avslutningen av skumglasset er merket med 1 og 2. . . . .	62
6.29	Ujevnheter på veg ved avslutning av skumglass-fylling (km. 2105). . . . .	63
6.30	Avslutning av skumglass-fylling (km. 2105) avbildet fra høyre side av veg. . . . .	63
6.31	Telehiv sett fra motsatt side (i økende hp-retning).Sprekken i forkant er antatt å stamme fra det ujevne telehivet ved avslutning av skumglass-fylling. . . . .	64
6.32	Mindre ujevnheter i vegbanen ved avslutning av skumglass-fylling (km. 2155). . . . .	64
6.33	På bildet vises strekning 3 som er frostsikret med plastnett. . . . .	65
6.34	Oversikt over strekning 3. Bildet er tatt fra startpunkt for GPS-målingene og ser i retning av økende kilometrering . . . . .	65
6.35	Oppsprekking av veg langs strekning 3. Sprekkene strekker seg fra km. 2810 -2820. . . . .	66
6.36	På bildet vises strekning 4 som er frostsikret med pukklag. . . . .	66
6.37	Til venstre sees strekning 4 sett fra km. 3300 og i retning økende kilometrering. Rett bak 50 skiltet på venstre side av veg ble oppgravingen utført. Bildet til høyre viser en oversikt over det topografiske landskapet øst for vegbanen. . . . .	67
6.38	På bildet vises strekning 5 som ikke er frostsikret. . . . .	67
6.39	Telesprekk like før stikkrenne. Sprekken ligger ved km 4500. . . . .	68
6.40	Telesprekk imellom to stikkrenner. Sprekken ligger ved km 4560. . . . .	69
6.41	På bildet vises strekning 6 som verken er frostsikret eller forsterket. . . . .	69
6.42	Telesprekk i front av stikkrenne. Sprekken ligger ved km 5315. . . . .	70
6.43	På bildet vises strekning 7 som er frostsikret med plastnett. . . . .	71
6.44	Oversiktsbilde for strekning 7. Sprekker finnes ved første avkjørsel, like etter vanddammen. . . . .	71

---

6.45	Tverrgående sprekk 1 går fra km 5885-5590. Langsgående sprekk 2 går fra km 5590-5595. . . . .	72
7.1	Til venstre vises frysemotstand for en lagdelt konstruksjon. Til høyre vises grafisk løsning av frostdybden. . . . .	75
7.2	Vanninnhold som funksjon av finstoffinnhold for pukk Meløy 1, pukk Meløy 3 og pukk Alta. . . . .	78
7.3	Frostdybder sand, grus og stein for årsmiddeltemp. 4 °C (Aksnes et al., 2013). . . . .	78



---

# Begrepsliste

Finstoff	=	Materiale mindre enn 0.063 mm
Frostdybde	=	Maksimal dybde som frosten trenger ned til i løpet av en vinter
Frostmengde	=	Angivelse på frostbelastningen i løpet av en vinter. Angis i timegrader [h°C].
IRI	=	International Roughness Index: Ujevnhet i vegens lengderetning [mm/m]
Georadar	=	Måleutstyr som tar i bruk radiobølger for å kartlegge undergrunnen
GPR	=	Ground Penetrating Radar (Georadar)
Hb018	=	Håndbok018
NGU	=	Norges Geologiske Undersøkelser
Overbygning	=	Vegkropp over traubunn. Består av forsterkningslag, bærelag, vegdekke, fiberduk og frostsikringslag.
Pukk	=	Knust/sortert materiale bestående av sand, grus og stein
SVV	=	Statens vegvesen
ÅDT	=	Årsdøgnstrafikk: Det totale antall kjøretøy som passerer i snitt (i begge retninger) i løpet av et år, dividert på 365.



# Kapittel 1

## Innledning

Telehiv er problematisk i form av ujevnheter i vegbanen som fører til en forringet kjørekomfort og større dynamisk belastning på veien. Dette gir økte kostnader i form av mer slitasje på bil og veg. I etterkant av registrerte telehiv på nybygde veier vinteren 2009/10 og 2010/11 ble det nedsatt en ekspertgruppe for å finne årsaken til problemene samt revidere/endre retningslinjene i Håndbok018 (Hb018). Det ble under dette arbeidet avdekket mangler i dagens kunnskap om hvordan ulike materialparameter innvirker på blant annet frostmotstand og telehiving. Det ble derfor funnet behov for å se nærmere på finstoffets betydning for telehiv og effekt av ulike isolasjonsmaterialer, hvilket denne oppgaven gjør.

Som plattform for oppgaven er det i tillegg til det teoretiske utført felt- og labarbeid. Det er gjort undersøkelser ved Fv26 i Tverrelvdalen og Fv452 i Meløy, og det som gjør de interessante er vidt forskjellige klimatiske forhold og utbedringer i 2011/2012. pga. problemer med telehiv. I oppgaven er det kombinert resultater fra observasjon av veg, materialprøver og bakgrunnsdata, noe som gir en større helhetlig forståelse rundt årsaken til telehiv. En økt kunnskap om de frosttekniske egenskapene og effekten av frostsikringstiltakene vil være med på å gi en større sikkerhet ved planlegging av frostsikker veg.

*Oppgaven omfatter følgende deler:*

1. Gjøre et litteraturstudium som omfatter:
  - i. Mekanismene bak telehiving
  - ii. Frostsikringskrav for andre land med frost/teleproblemer
  - iii. Generell info om strekningene
  - iv. Beskrivelse av bakgrunnsdata for felt- og labarbeid
2. Gjennomføre felt- og laboratoriearbeid
  - i. Framstille data for videre analyser
3. Med basis i felt- og laboratorieresultater analysere effekten av frostsikring med puk, skumglass og geonett samt virkning av utkilinger
4. Vurdere frosttekniske egenskaper og effekt til frostsikringstiltak
  - i. Formidle eventuelle behov for revisjoner i retningslinjene til Hb018

Opgaven skal gjennomføres i samarbeid med Statens Vegvesen Vegdirektoratet med Per Otto Aursand som kontaktperson, og Bjørge Brattli som veileder ved NTNU.



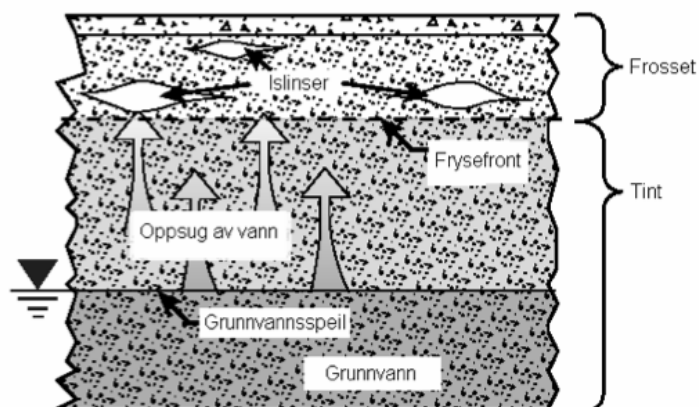
## Frosttekniske egenskaper

### 2.1 Telehiv

Telehiv er den fysiske forflyttingen av jorda som forekommer ved frost. I forbindelse med vegbygging er ujevn telehiv noe en vil unngå for å beholde jevnheten i vegbanen.

For at telehiv skal oppstå må tre faktorer være oppfylt. Disse er: tilgjengelighet på vann, telefarlige materialer og temperaturer under frysepunktet.

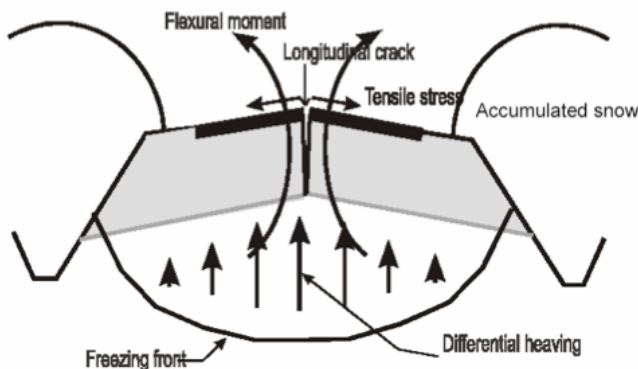
I jord som er mettet på vann og utsettes for frost vil det dannes en temperaturgradient som innebærer en vertikal varmefluks. Når varme blir ledet bort fra frostfronten vil temperaturen synke, og vannet i jorda vil krystalliseres ut til is (Aksnes et al., 2013). Ved overgang fra vann til is vil det være en volumøkning på 9+ %. Prosessen med frysing av porevann vil derimot ikke skape store hiv. Porerommet vil ikke utvides tilsvarende, siden noe av vannet blir fortrent under frysing. Vanntilgangen reguleres ved oppsug av vann som bl.a. kapillært sug. Det vil og være et undertrykk i frostfronten som skyldes ulik overflatespenning mellom de lavere ufrosne lag og de øvre frosne lag i jorda (Woo, 2012). I frostfronten vil en stor del av det frosne vannet samles som lagvise islinser parallellt med overflaten (Andersland and Ladanyi, 2004). Dette vises i figur 2.1.



Figur 2.1: Dannelse av islinser. Modifisert etter ADPTF (2004)

Problemene med telehiv er knyttet til det vertikale hivet som oppstår ved dannelse av islinser. Det er ikke unormalt med hiv på opp mot 150 mm. i regioner med vinterklima (Andersland and Ladanyi, 2004). Varighet og intensitet av frosten avgjør dannelsen av islinnene. Milde vintre vil føre til dannelse av islinser langt oppe i vegkroppen, mens kalde vintre vil danne islinser lengre ned. Antallet islinser og størrelse avgjøres av varighet og grad av frost, slik at i en vinter kan det dannes islinser i flere lag nedover i dypet. I tilfelle med kalde vintre vil frostnedtrengningshastigheten øke med utslag i hyppigere, dypere og mindre islinser. Når frostfronten nærmer seg sitt maksimum kan store islinser dannes i nedre deler av konstruksjonen på grunn av at fronten står her over lengre tid (Simonsen, 1997).

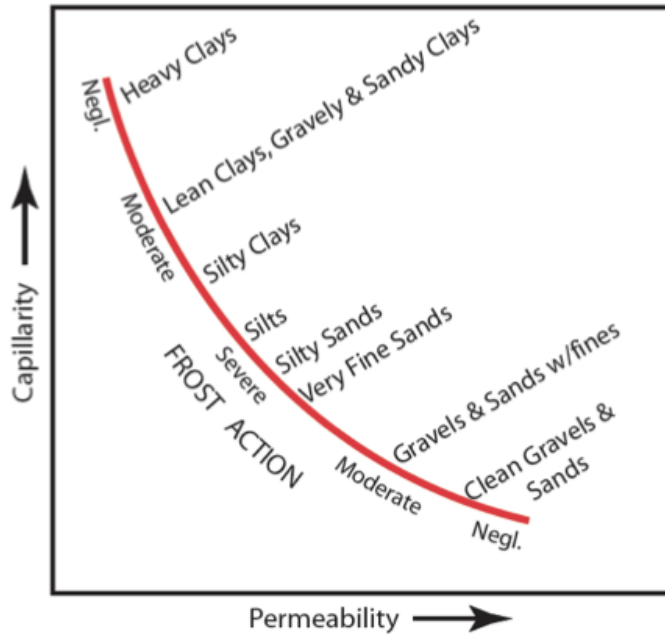
Telehiv relaterte problemer får en hovedsaklig når det oppstår ujevne telehiv. Dvs. variasjon i størrelsen til telehiv enten på langs eller tvers av vegbanen. Ujevnhetene i vegbanen fører til en forringet kjørek komfort, og større dynamisk belastning på vegen. Dette gir økte kostnader i form av større slitasje på bil og veg. Mest vanlig er langsgående telesprekker i midten av vegen, mens krakelering kan oppstå som følge av redusert bæreevne om våren (Aksnes et al., 2013). For veger som vinterbrøytes vil det samles snø på siden av vegen. Denne snøen vil virke som et isolerende lag mot kulda, og fra påfølgende ujevn frostnedtrengning kan det oppstå ujevne telehiv. Dette er vist i figur 2.2 .



**Figur 2.2:** Langsgående oppsprekking på grunn av ujevnt tversgående telehiv. Gjengitt etter Doré (2002).

## 2.2 Effekt av finstoffinnhold

Finstoffinnhold har stor betydning for vannoppsug og er dermed en viktig faktor i dannelsen av islinser. Effekten av finstoffinnhold på telefarlighet er illustrert i figur 2.3. Leire består av små partikler noe som gir den teoretisk sett høy kapillaritet men den har samtidig lav permeabilitet. Siden det er fysisk vanskelig å transportere vannet, er leire ikke telefarlig. I motsatt hjørne av figur 2.3 finnes sand og grus med lav kapillaritet og høy permeabilitet. Mangelen på vannoppsug gjør sand og grus lite/ikke telefarlig. Midt i figur 2.3 finnes silt og siltige jordarter som med sin kapillaritet og permeabilitet oppnår et maksimalt vannoppsug. Dette danner et gunstig grunnlag for dannelse av islinser og jordartene kan være meget telefarlig.



**Figur 2.3:** Kapillærhet og permeabilitet som funksjon av jordarters kornstørrelse (Aksnes et al., 2013).

For et frostsikringslag er det viktig å ha riktig mengde finstoff. Frostmotstanden til et frostsikringslag av steinmaterialer er i stor grad bestemt av den energi som kreves til frysing av vann (Aksnes et al., 2013). Det er derfor viktig å ha en andel finstoff som bidrar til fuktighet, samtidig som denne andelen finstoff ikke er så høy at det medfører fare for dannelse av telelinser pga. kapillært oppsug.

For å ha en mulighet til å vurdere telefarligheten av et materiale er det utarbeidet flere klassifiseringstabeller. Et eksempel er telefarlighetsklassifiseringer av ISSMFE (1989), hvor et jordmateriale ikke er sensitiv for frost hvis finstoffinnholdet kan kategoriseres innenfor en følgende kriterier:

- 1) Inneholder materiale  $\leq 1$  % med  $< 0.002$  mm kornstørrelse
- 2) Inneholder materiale  $\leq 3$  % med  $< 0.02$  mm kornstørrelse
- 3) Inneholder materiale  $\leq 8$  % med  $< 0.074$  mm kornstørrelse

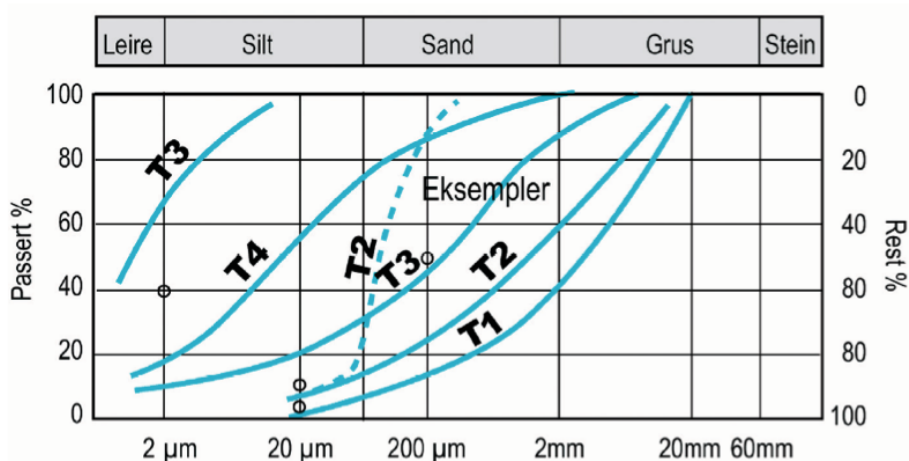
Det er utarbeidet flere ulike telekriterium med bakgrunn i materialets telefarlighet. Statens vegvesen benytter seg av et klassifiseringssystem hvor andel finstoff avgjør telefarligheten til et materiale. Klassifiseringen deles inn fire ulike grupper etter andel masseprosent av materiale mindre enn  $2 \mu\text{m}$  (leire),  $20 \mu\text{m}$  (silt) og  $200 \mu\text{m}$  (silt til fin sand), og er vist i tabell 2.1. Det gjøres oppmerksom på at for gruppe T4 som er meget telefarlig, er det angitt en maks andel av leire. Dette er siden en høyere andel leire gir lavere permeabilitet.

**Tabell 2.1:** Telefarlighetsklassifisering etter kornfordeling (Statens vegvesen, 2010).

Telefarlighetsklassifisering		Av materiale < 20 mm		
Telefarlighetsgruppe		Masse-%		
		< 2 $\mu\text{m}$	< 20 $\mu\text{m}$	< 200 $\mu\text{m}$
Ikke telefarlig	T1		< 3	
Litt telefarlig	T2		3 - 12	
Middels telefarlig	T3	1)	> 12	< 50
Meget telefarlig	T4	< 40	> 12	> 50

1) Også jordarter med mer enn 40 % < 2  $\mu\text{m}$  regnes som middels telefarlig T3.

Telefarlighetsgruppene fra tabell 2.1 er illustrert i form av kornfordelingskurver ved figur 2.4.

**Figur 2.4:** Eksempler på telefarlighetsklassifisering (Statens vegvesen, 2010).

Når frysefronten er i frammarsj og trenger seg videre ned i porene til jordmaterialet, vil isoverflaten få en krumning som gir en reduksjon av frysepunktet. <sup>1</sup> Frysepunktnedsettelsen skyldes overflatespenninger mellom is- og vannfasen og krumningen på isoverflaten. Krumningen på isoverflaten er avhengig av størrelsen på porene i jordarten. Når temperaturen reduseres til under  $0^{\circ}\text{C}$  vil det oppstå to muligheter for frysefronten (Woo, 2012):

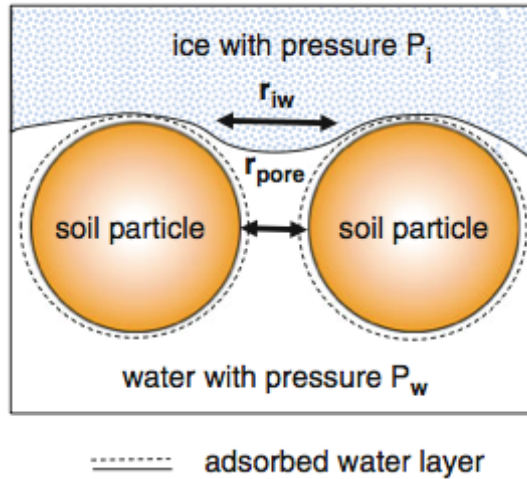
1) Hvis  $r_{iw} < r_{pore}$  <sup>2</sup> vil isen kunne trenge seg videre ned i porene. Vannet krystalliseres til is i porene og frysefronten rykker fram.

2) Hvis  $r_{iw} > r_{pore}$  er jordmaterialets porer for små til at isen kan rykke fram, og frysefronten blir stående. For at frysefronten skal rykke videre fram kreves et temperaturfall under frysepunktet som gir reduksjon i  $r_{iw}$ . Desto lenger frysefronten står på stedet hvil jo større kan islinsene vokse. (Aksnes et al., 2013)

<sup>1</sup>Mekanismen beskrives ved Gibbs-Thomson ligning, men vil ikke bli gjennomgått her.

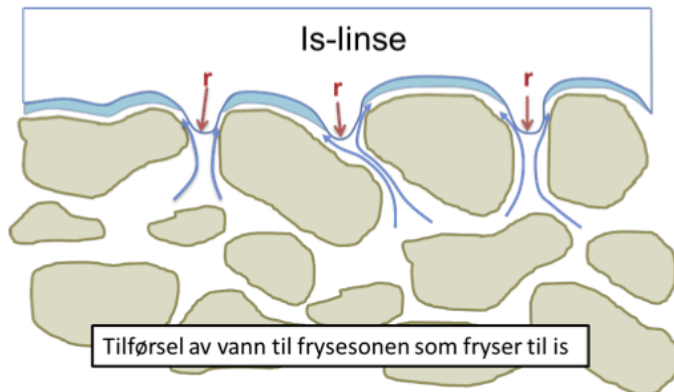
<sup>2</sup> $r_{iw}$  er krumningsradius mellom to flater i iskrystallet.  $r_{pore}$  er det punktet for porene i jorda der krumningsradiusen er minst.





**Figur 2.5:** Eksempel på is som trengs seg ned i porene til jordmaterialet (Woo, 2012).

I det frysepunktet nedsettes oppstår et poresug, i tillegg til at frysing av absorptivt bundet vann gir poresug. Dette fører til at vann transporteres fra undersiden, til oversiden av mineral-kornene. Det transportet vannet fryser da til islinser. Siden den kaldere isfronten skaper et sug, vil vannet alltid strømme fra undersiden til oversiden av mineral-kornene (Aksnes et al., 2013).



**Figur 2.6:** Transport av vann til frysesonen og utfrysing (Aksnes et al., 2013).

## 2.3 Effekt av mineralogi

Effekten av mineralogi på telehiv er tydelig som en indirekte faktor ved kapasiteten til å holde på vann. Spesifikk overflateareal avgjør mengden vann som adsorberes til mineral-kornene, og dermed mengde vann som fryser under  $0^{\circ}\text{C}$ . Spesifikt overflateareal har vist seg å ha stor påvirkning på forskjellige egenskaper til finkornet jord (Nurmikolu, 2005).

Ved å variere innhold av finstoff og kornstørrelse utførte Lambe et al. (1969) forsøk hvor de studerte effekten av ulike mineral på frostømfintligheten til sand. Som et resultat av 375 telehiv tester ble frostømfintligheten funnet til å variere vesentlig avhengig av mineraltype. Av mineraler som viste seg å skape relativt store frosthiv, listet Lambe et al. (1969) følgende i stigende rekkefølge for frostømfintlighet:

muskovitt, kalsitt, smektitt, illitt og kaolonitt.

Fra laboratorieforsøk på glimmermineraler av Arm et al. (2004) blir det konkludert med følgende: innhold av aktive mineraler (fyllosilikater) i finfraksjonen til steinmaterialet fører til høyere vanninnhold på grunn av vannfølsomheten til denne mineraltypen. Aktive mineraler er for eksempel kaolinitt, smektitt og kloritt.

Basert på 15 år med feltobservasjoner og labtester la Brandl (1980) fram et kriterium for frostømfintlighet knyttet til mineralogisk innhold i frostsikringslag. Bakgrunn for kriteriet er mineralinnholdet til fraksjonen  $<0.02$  mm i et materiale med maksimal kornstørrelse på 45 mm og minimum graderingstall  $\frac{d_{60}}{d_{10}} = 15$ . Hvis andelen av fraksjonen  $<0.02$  mm ikke er større enn 3 % vurderer Brandl (1980) det som unødvendig å vurdere den mineralogiske sammensetningen. Hvis derimot fraksjonen  $<0.02$  mm er mellom 3 og 5% gjelder følgende grenseverdier:

-10 % kaolinitt

-30 % kloritt

-30 % vermikulitt

-40 % montmorillonitt

-50 % glimmermineraler

Dette viser at for samme andel finstoff vil ulike mineraler ha forskjellig påvirkning på frostømfintligheten. En teori for frostømfintlighet er at når montmorillonitt, som har høyt spesifikt overflateareal, binder vann, frigjøres det mindre vann til frostfronten. Kaolinitt som har lavere spesifikt overflateareal, vil binde mindre vann og ergo frigjøres det mer vann til frysefronten (Brattli, 2014).

En annen forklaring lagt fram av Behr (1981) og Rieke et al. (1983) er at en sterkere adhesjonskraft for vannet tilknyttet montmorillonitt enn kaolinitt, resulterer i en høyere viskositet i det absorptivt bundne laget og dermed lavere permeabilitet.

## 2.4 Vannoppsug

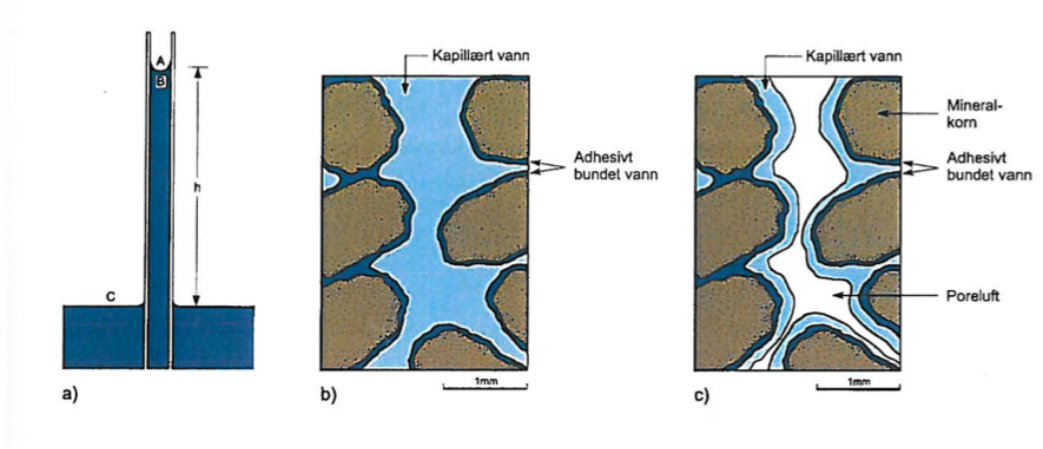
For å danne islinser er det nødvendig med transport av vann til frysesonen. Av betydning for denne oppadstrømmende vanttørførselen er primært kapillær stigning, med mulighet for ytterlige bidrag fra damptrykk og osmose.

**Kapillæreffekten** - den kapillære sonen finnes i overgangen fra grunnvannssonen og oppstår som en konsekvens av vannoppsug. Høyden til den kapillære sonen avhenger av pore-diameteren i jorda og øker med avtakende diameter, samt av overflatespenningen til væsken som suges opp. For sand og grus er kapillær høyde kun noen få centimeter, mens for finsilt kan den teoretisk sett bli opptil 15 m. I leire er den hypotetiske stigehøyden flere titalls meter, men grunnet den lave permeabiliteten vil vannet fordampe raskere enn det trekker opp (Brattli, 2009).

Kapillæreffekten i en jordart kan illustreres med hårrørsteorien. Når et glassrør settes ned

i vann vil adhesjonskrefter virke mellom vannet og glassveggene. Størrelsen av disse kreftene er større enn mellom vannmolekyler og medfører at vannet vil trekkes opp langs glassveggene. I oppsuget dannes det en krum overflate - også kalt menisk. Når grensen mellom en væske og en gassfase (i dette tilfellet mellom vann og luft) danner et kurvet forløp, er trykket på den konkave siden av vannhinnen større enn trykket på den konvekse siden (Brattli, 2009).

I figur 2.7 er det et eksperiment som beskriver den kapillære sugeevnen. I eksperimentet er ett glassrør ført ned i vann. For punktene A og C vil trykket være lik atmosfæretrykket. Siden A er lokalisert på den konkave siden av menisken og B på den konvekse siden, er trykket ved B mindre enn trykket ved A og C. For å kompensere for trykkforskjellen vil vannet stige opp i røret til høyden (og dermed vekten) på vannsøylen har utlignet trykkforskjellen.



**Figur 2.7:** a) Kapillær stigning i hårrør. Retningen på meniskenes krumning indikerer at vannet fukter glasset. b) og c) Kapillær stigning i jordart (henholdsvis nedre og øvre kapillærsone). Kanalene mellom kornene fungerer som hårrør (Brattli, 2009).

Stigningen til vannsøylen i et sylindrisk rør med høyde  $h$ , kan finnes ved å benytte kraftlikevekt (Torsæter, 2011).

Nedadrettet kraft, gitt tyngden av vannet, er lik:

$$F_g = \rho g \pi r^2 h \quad (2.1)$$

Oppadrettet kraft er gitt ved overflatespenningen og lengden kraften virker på:

$$F_s = 2\pi r \sigma \cos \theta \quad (2.2)$$

Gitt kraftlikevekt,  $F_g = F_s$ :

$$\rho g \pi r^2 h = 2\pi r \sigma \cos \theta \quad (2.3)$$

Stigningshøyden,  $h$ , er dermed gitt ved:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r} \quad (2.4)$$

hvor:

$\sigma$  = overflatespenningen mellom luft/vann ( $N/m$ ).

$r$  = radius i røret ( $m$ )

$\theta$  = vinkelen mellom menisk og glassveggen. ( $^\circ$ )

$\rho$  = densitet vann ( $kg/m^3$ ) =  $996.5$  ( $kg/m^3$ ) (vann ved  $5^\circ C$ )

$g$  = tyngdekraft ( $m/s^2$ ) =  $9.81 m/s^2$

Overflatespenningen er avtagende med økende temperatur. For kapillært sug vil det være lavest temperatur ved isfronten og en stigende temperatur nedover i grunnen. For den kapillære sonen finnes derfor et gj.snitt fra følgende resultater: ved  $0.01^\circ C$  -  $\sigma = 75.64 * 10^{-3}$ ,  $5^\circ C$  -  $\sigma = 74.95 * 10^{-3}$ . (Vargaftik et al., 1983). Det gir  $\sigma = 75.297 * 10^{-3} N/m$ .

Fuktvinkelen avhenger av fuktingsgraden. For et fuktet poresystem, benyttes  $\theta = 0$ , som gir  $\cos(\theta) = 1$  (Torsæter, 2011).

Disse verdiene innsatt i ligning 2.4 gir følgende stighøyde i meter for en vannsøyle i et sylindrisk rør:

$$h = \frac{15.4}{r} \quad (2.5)$$

I jordarter kan kanalene mellom porene sammenlignes med hårrør. I mettet sone vil det hydrostatiske poretrykket være større enn atmosfæretrykket, mens i umettet/kapillær sone vil trykket være lavere enn atmosfæretrykket. Det vil derfor avhengig av diameter på porekanalen være en stighøyde,  $h$ .

Et eksempel på kapillær stighøyde i jordarter er gitt ved følgende empirisk formel (Brattli, 2009)):

$$h = \frac{3(mm)^2}{d_{15}} \quad (2.6)$$

hvor:

$d_{15}$  antas å representere den gjennomsnittlige porediameteren i jordarten (i mm).

Stigningen til den kapillære sonen er altså avhengig av porediameteren som er direkte relatert til kornfordelingen av materialet.

**Damptrykk** har en langt mindre effekt på vanntilgang, men vil fortsatt bidra. Damptrykket øker med økende temperatur. Dette fører til at det vil være høyere damptrykk lenger ned i vegkroppen enn ved frostfronten. Dampen vil prøve å utjevne denne trykkforskjellen ved å gå fra høyere til lavere trykk. Når dampen ankommer frostfronten kjøles den ned, kondenserer til vann og bidrar til dannelse av islinser ved frysefronten.

## 2.5 Frostnedtrengning

Intensitet og størrelse på varmeoverføring og varmetransport er med på å påvirke mengde av og tykkelse til islinser. Materialparametrene som påvirker frostnedtrengningen er i hovedsak varmeledningsevnen, vanninnholdet, varmekapasiteten og densiteten. Av klimatiske parametere er de viktigste faktorene for frostnedtrengning i undergrunnen lufttemperatur, stråling fra sola, vind og nedbør (Øiseth et al., 2007).

I faseovergangen fra vann til is frigjøres det energi i form av varme. Dette bidrar til at frostnedtrengningen foregår langsommere ved høyere vanninnhold. Dette gir utslag i form av at frosten går dypere i grove, tørre masser enn i fine og våte masser. Leiras evne til å binde større mengder vann enn silt og sand, bidrar til lavere grad av frostnedtrengning (Statens vegvesen, 2010). For å få en kontinuerlig utkrystallisering av is er frostfronten samtidig avhengig av at den frigjorte varmen blir transportet vekk fra frysefronten.

Varmetransport i jord foregår ved overføring av kinetisk energi fra varmere til kaldere deler av jorda. Siden det er varmere lenger ned i jorda vil det være en oppadstigende varmestrøm med en økende frostfront mot dybden. For et prismatisk jordelement med tversnitt areal  $A$ , er graden av varmetransport gitt ved (Johansen et al., 1976):

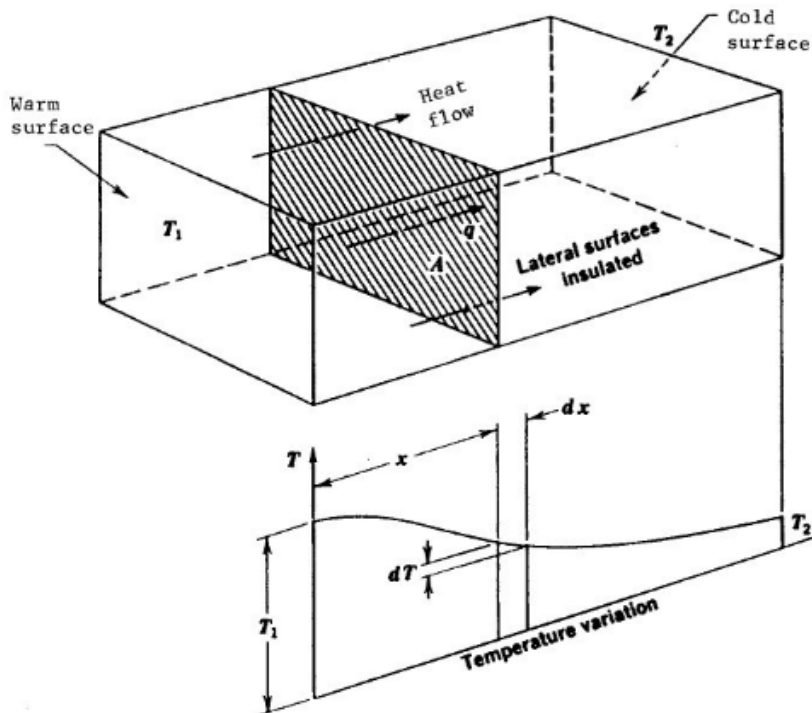
$$Q = -\lambda \times A \times \frac{dT}{dx} \quad (2.7)$$

$$q = \frac{Q}{A} = -\lambda \times \frac{dT}{dx} = \lambda \times i \quad (2.8)$$

hvor  $\frac{Q}{A} = q$  er graden av varmetransport per flateenhet ( $J/m^2 * s$ ),  $\lambda$  er den ufrosne termiske konduktiviteten ( $J/s * m$  eller  $W/m * K$ ),  $\frac{dT}{dx} = i$  er den termiske gradienten ( $^{\circ}C/m$ ) og  $A$  er arealet ( $m^2$ ).

Fra formel 2.8 ser en at varmetransporten avhenger av den termiske konduktiviteten (varmeledningsevnen)  $\lambda$ . Varmeledningsevnen forteller hvilken varmemengde ( $W/mK$ ) som kan overføres gjennom et materiale med tykkelse 1 m og temperaturgradient 1 grad. Varmeledningsevne for ulike jordmaterialer er avhengig av porøsitet, tørr densitet, metningsgrad, mineralogi, materialtype (kornfordeling) og temperatur i luften og nedover i grunnen (Fri-vik, 1980).

Varmetransport og variasjon i temperatur for et homogent jordelement vises på neste side ved figur 2.8.



**Figur 2.8:** Varmestrøm gjennom et jordelement. (Andersland and Ladanyi, 2004)

I tabell 2.2 er det angitt varmeledningsevnen for ulike materialer. Siden det er flere parametre enn kornfordeling som påvirker varmeledningsevne, så må verdiene for jordartene sees på som et grovt anslag. Men tabellen gir en fornuftig pekepinn på størrelsen til varmeledningsevnen og det gir en mulighet for å sammenligne de ulike materialene.

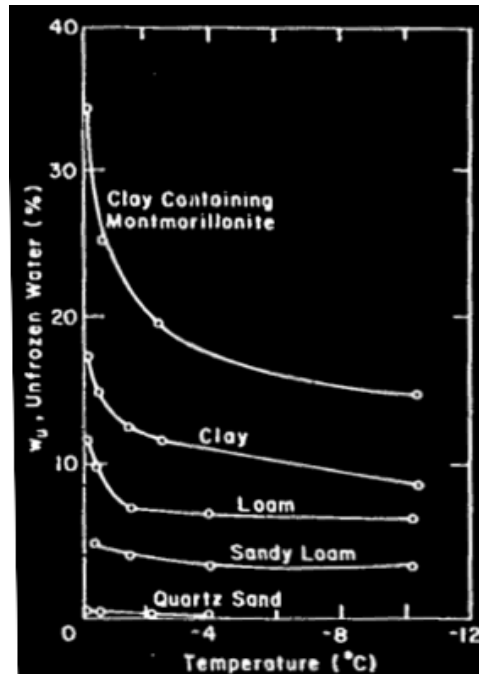
**Tabell 2.2:** Varmeledningsevne for jord- og isolasjonsmaterialer. (Statens vegvesen, 2010).

MATERIALE	VARMELEDNINGSEVNE $\frac{W}{mK}$	
	Frosset ( $\lambda_F$ )	Ufrosset ( $\lambda_U$ )
Grov pukkk, kult	0,6 - 1,3	0,7 - 1,5
Grus	0,7 - 1,8	1,0 - 2,0
Sand på fylling	0,9 - 1,8	1,0 - 2,0
Sand under grunnvannstand	2,4 - 4,2	1,5 - 2,7
Silt	1,7 - 2,8	1,0 - 1,7
Leire	1,6 - 2,4	0,9 - 1,4
Ekstrudert polystyren, XPS		0,035
Lettklinker og skumglass		0,12

For isolasjonsmaterialene ekstrudert polystyren (XPS), lettklinker og skumglass vil verdien for varmeledningsevnen i tabell 2.2 derimot være korrekt. Disse er samtidig velegnet

til isolasjon på grunn av den lave varmeledningsevnen, som sammenlignet med frostsikringslag av pukkk og grus vil ha et mye lavere tykkelse-behov.

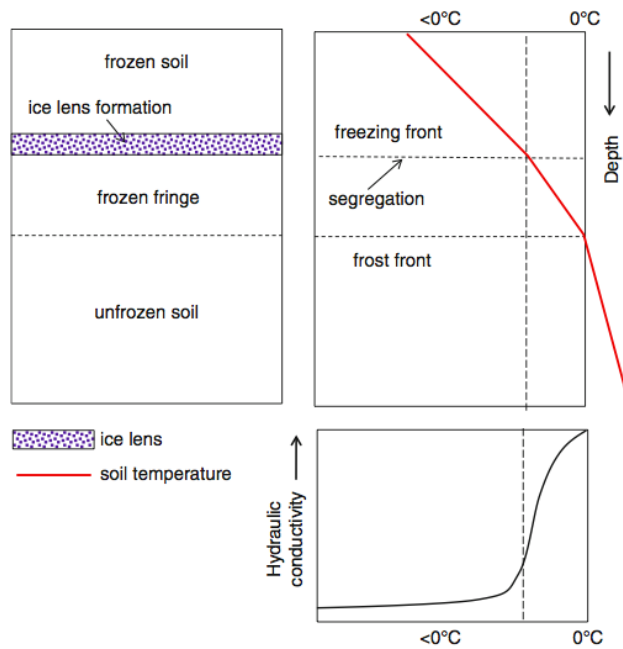
Når frosten trenger ned i grunnen vil ikke alt vann fryse til is ved frostfronten. Mineralkornene vil fortsatt ha adsorptivt bundet vann. Dette vannet kan fryse ved temperaturer under  $0^{\circ}\text{C}$ , og er med på å bidra til at vann blir effektivt transportert fram til frysefronten. I figur 2.9 vises et eksempel på ikke-frossent vanninnhold ved ulike temperaturer for forskjellige jordarter. Fra figuren kan vi se at jordarter med høyere andel fine korn har mindre prosent utfroset vann, noe som er med på å bidra til frostnedtrengning enn vanninnholdet skulle tilsi.



**Figur 2.9:** Ikke-frossent vanninnhold for saltfrie jordarter ved ulike temperaturer (Z. A. Nerseova, 1963).

I frysefronten derimot oppstår det segregasjon, noe som innebærer at alt det adsorberte vannet fryser (Woo, 2012). Dette gir en endring i den hydrauliske konduktiviteten<sup>3</sup> som reduseres vesentlig når temperaturen faller. Dette bidrar til høyere tilførsel av vann enn det som kan bli transportert videre, og islinser kan utvikles. Smith (1985) foreslo at sonen for isdannelse korresponderer med det punktet hvor temperaturfallet forårsaker en maksimal endring i den hydrauliske konduktiviteten. Det hele er illustrert på neste side i figur 2.10.

<sup>3</sup>Hydraulisk konduktivitet - en væskes strømningssevne i et porøst medium



**Figur 2.10:** Ved frost i jord dannes det en frysesone for temperaturer under  $0^{\circ}\text{C}$ , mens det i frysefronten dannes islinser. Den hydrauliske konduktiviteten til vann dropper kraftig ved frysefronten (Woo, 2012).



# Materialkrav til frostsikringslag

Flere land har utfordringer med telehiv tilknyttet veg, men det er ingen felles retningslinjer for materialkrav til frostsikringslag. Det er derfor av interesse å sammenligne kravene for de ulike landene, og da spesielt se på krav til finstoffinnhold. I oppgaven er det innhentet frostsikringskrav for Norge, Sverige, Finland, Alaska og Minnesota (USA).

## 3.1 Norge

Statens vegvesen (SVV) er det organet i Norge som stiller kravene til praktisk gjennomføring av vegbygging i Norge. De vegtekniske kravene er utgitt i såkalte "håndbøker", og krav til frostsikring vil bli beskrevet her.

På grunn av registrerte telehiv på nybygde veier ble det nedsatt en ekspertgruppe (Øvstedal et al., 2011) med fokus på å kartlegge årsakene til problemene. Med bakgrunn fra undersøkelser og anbefalinger fra ekspertgruppen ble det oppnevnt en hurtigarbeidende arbeidsgruppe (Aksnes et al., 2013) som i 2013 framla nødvendig revisjon av de eksisterende krav. Det gjøres derfor oppmerksom på at frostsikringskravene i håndbøkene ikke er oppdatert, men at det som er gjengitt i dette avsnittet er i tråd med nye, gjeldende kriterier.

Fra håndbok018 (Statens vegvesen, 2011) stilles det følgende krav til frostsikring: Stamveger med skiltet hastighet større enn 60 km/t skal frostsikres etter bestemmelsene gitt i tabell 3.1. Stamveger med skiltet hastighet  $\leq 60$  km/t og øvrige riksveger bør frostsikres etter de samme bestemmelsene.

For undergrunn med telefarlighetsklasse T1 og T2, stilles det ingen krav til frostsikring. Ved bygging av 4-felts motorveger skal det benyttes F100 som dimensjonerende frostmengde<sup>1</sup>.

I figur 3.1 vises krav til overbygningstykkelse ved bruk av pukk<sup>2</sup> til frostsikring. For å unngå unødig stor lagtykkelse ved store frostmengder, er det foreslått å erstatte nedre del av frostsikringslaget med lettklinker, skumglass eller ekstrudert polystren (XPS)(Aksnes et al., 2013).

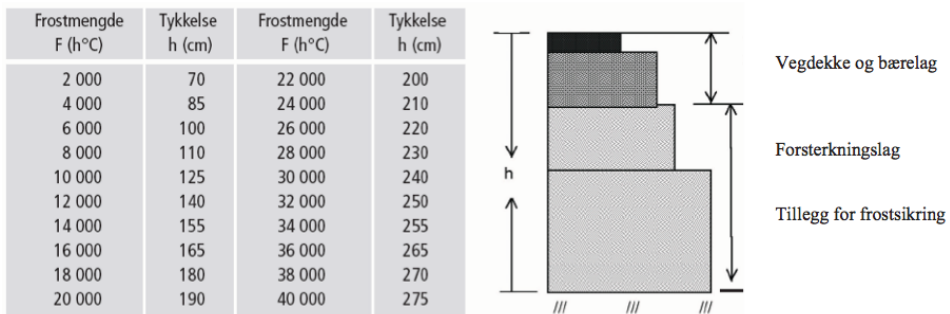
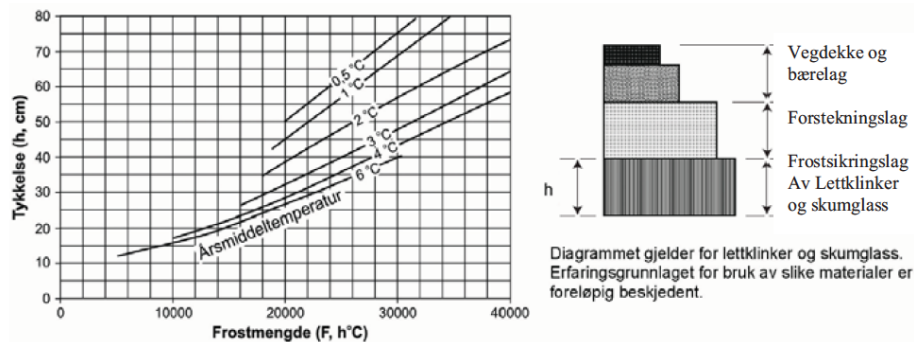
<sup>1</sup>Frostmengde - tidsintegralet av lufttemperatur lavere enn  $0\ 0^{\circ}C$  gjennom vintersesongen. Angis i timegrader ( $h^{\circ}C$ ).

<sup>2</sup>Pukk - knust/sortert materiale bestående av sand, grus og stein

**Tabell 3.1:** Dimensjonerende frostmengder og tykkelser\* av frostsikringsmaterialer for veg (Aksnes et al., 2013).

ÅDT	Telefarlig- hetsgruppe	Frostsikring		
		Sand, grus og stein	Lettklinker og skumglass	Isolasjonsplater (XPS)
1500-8000	T3/T4	$h_5$ (maks. 1.8 m)	$h_5$	$h_{10}$
>8000	T3/T4	$h_{10}$	$h_{10}$	$h_{10}$

\*Ved frostsikring med sand, grus og stein er  $h_2$ ,  $h_5$ ,  $h_{10}$  total tykkelse av overbygningen ved en middels, 5 års og 10 års vinter (dimensjonerende frostmengde  $F_2$ ,  $F_5$  og  $F_{10}$ ).


**Figur 3.1:** Krav til tykkelse for frostsikring av vegger med sand, grus og stein (pukk). Til høyre vises en skisse av overbygningen (Statens vegvesen, 2011).

**Figur 3.2:** Krav til tykkelse for frostsikring med isolasjonsmaterialer (Statens vegvesen, 2011).

For bruk av pukk i frostsikringslag stilles følgende materialkrav (Aksnes et al., 2013): Største steinstørrelse, målt som største sidekant, skal ikke overstige halvparten av lagtykkelsen og det tillates ikke steiner med større sidekant enn 500 mm. I tillegg skal alt materiale kunne passere gjennom en kvadratisk sikt med sidekant 360 mm. Minimum 30 % skal passere 90 mm sikt. Avregnet materiale som passerer 22.4 mm sikt skal minimum 2 %, og maksimalt 15 % passere 0.063 mm sikt. Kornfordeling er vist i tabell 3.2. For bruk av sand skal graderingstall  $C_u$  ( $d_{60}/d_{10}$ ) være minimum 5.

**Tabell 3.2:** Krav til kornfordeling for pukk (Aksnes et al., 2013).

Sikt (mm)	0.063	22.4	90	360
Maks. %	2-15	100	100	100
Min. %	0.6-4.5	30	30	100

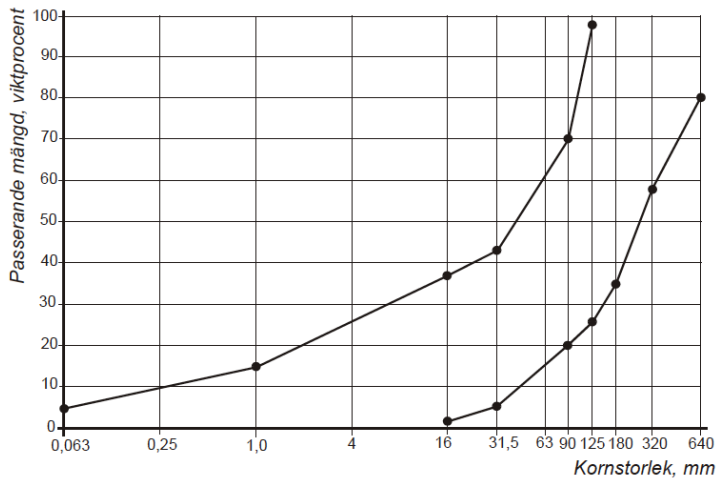
## 3.2 Sverige

I Sverige er det Vägverket som stiller byggekrav til vegkonstruksjon. Det foregår på samme måte som i Norge med håndbøker for vegbygging. Den siste publikasjonen for dimensjonering av vegbygging i Sverige er Vägverket (2005). Til frostsikringslaget benyttes enten varmeisolerende materialer eller sprengt stein.

Materialkravet til sortert sprengt stein tar utgangspunkt i om materialet er videre nedknust. For sortert sprengstein er krav til kornfordeling vist i tabell 3.3 mens kravene til knust sprengstein vises i tabell 3.4. Største steinstørrelse er uavhengig av om sprengt stein er nedknust eller ikke, og har følgende krav: For vegfylling med sprengt stein dypere enn 150 cm under vegbanen skal største steinstørrelse ( $D_{98}^3$ ) være mindre enn  $2/3$  av lagtykkelsen, mens for nivå over 150 cm skal  $D_{98}$  være mindre enn  $1/2$  av lagtykkelsen.

**Tabell 3.3:** Krav til kornfordeling for sortert sprengstein. (Vägverket, 2005).

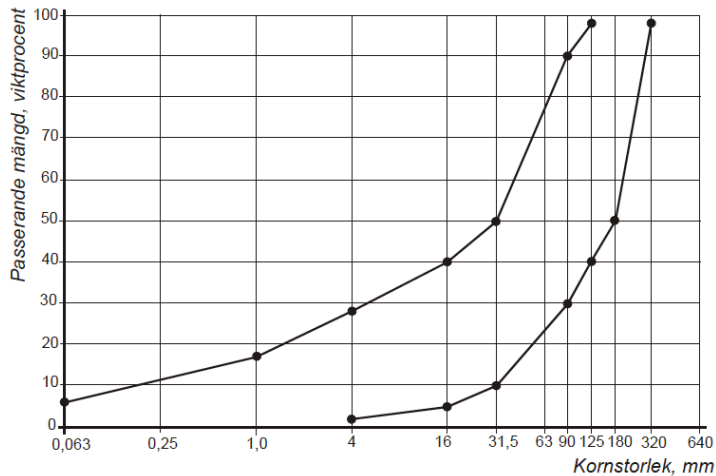
Sikt mm	0,063	1	16	31,5	90	125	180	320	640
Max %	5	15	37	43	70	98	-	-	-
Min %	-	-	2	6	20	26	35	58	80

**Figur 3.3:** Illustrasjon av kornfordelingskurve for sortert sprengstein (Vägverket, 2005).

<sup>3</sup> $D_{98}$  - kornstørrelse hvor 98 % av materialet passerer

**Tabell 3.4:** Krav til kornfordeling for knust sprengstein. (Vägverket, 2005).

Sikt mm	0,063	1	4	16	31,5	90	125	180	320
Max %	6	17	28	40	50	90	98	-	-
Min %	-	-	2	5	10	30	40	50	98


**Figur 3.4:** Illustrasjon av kornfordelingskurve for knust sprengstein (Vägverket, 2005).

Ved bruk av varmeisolerende materialer som lettklinker og skumglass stilles det krav til varmemotstand<sup>4</sup>. Varmemotstanden er praktisk til dimensjonering siden den forholder seg til både tykkelse og varmeledningsevnen. F.eks vil varmemotstanden øke med tykkelsen og for lavere  $\lambda$ -verdi. Hvis undergrunnen består av telefarlighetsklasse 4 skal isolasjonsmaterialet tilfredsstillende krav til varmemotstand gitt i tabell 3.5. Består derimot undergrunn av telefarlighetsklasse 2 eller 3 kan varmemotstanden i tabell reduseres med  $0,45 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  (Vägverket, 2005).

**Tabell 3.5:** Krav til varmemotstand ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ ) for isoleringsmateriale i frostsikringslaget ved telefarlighetsklasse 4 (Vägverket, 2005).

Klimatzon	1	2	3	4	5
Referenshastighet VR $\leq$ 50 km/h	0,45	0,90	1,35	1,80	2,40
Referenshastighet VR $\geq$ 70 km/h	0,90	1,35	1,80	2,25	2,85

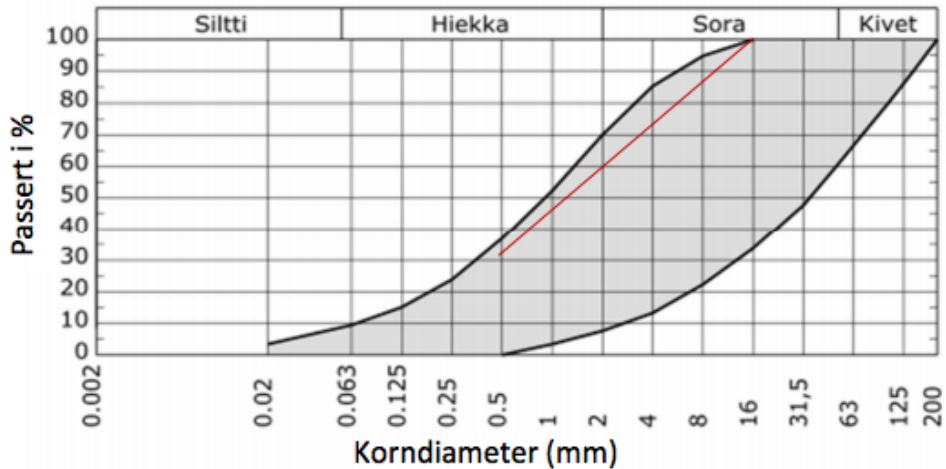
For klassifisering av jordarter, beskrivelse av telefarlighetsklasser og inndeling av klimasoner i Sverige henvises det til vedlegg 2.

<sup>4</sup>Varmemotstand  $\text{m}^2 \text{ K/W}$  - angir hvor effektivt et materiale er som isolasjon. Varmemotstanden er lik tykkelsen på isolasjonen i meter dividert med varmeledningsevnen,  $\lambda$ .

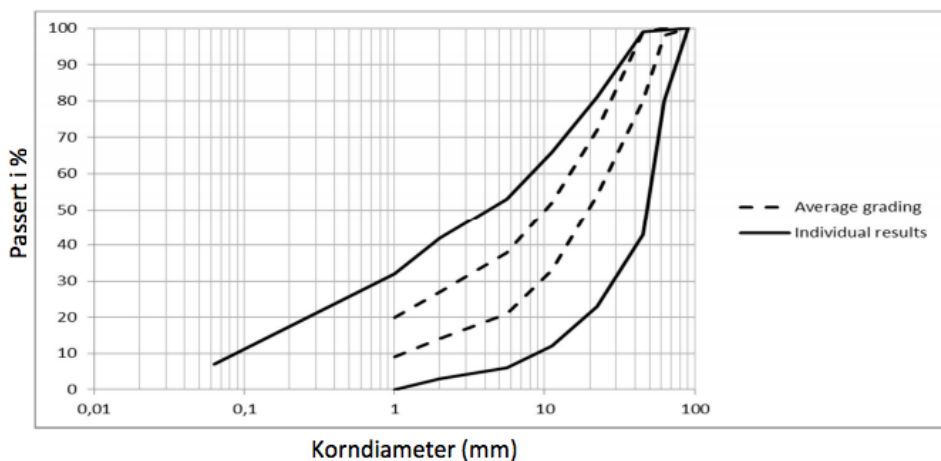
### 3.3 Finland

Retningslinjene for frostsikringslag i Finland er hovedsaklig basert på de Europeiske standardene (EN 13285) med noen nasjonale endringer. Det gjøres oppmerksom på at de nasjonale retningslinjene er per dags dato oppe til vurdering og det er forventet endringer i 2015.

For bruk av sand eller grus i frostsikringslaget er krav til kornfordeling vist i figur 3.5, mens krav til knust stein vises i figur 3.6. Maksimal tillatt finstoffinnhold er 7% for knust stein og 9% for knust grus. Kravene for knust stein og grus er basert på EN 13285, mens naturlig grus eller sand følger nasjonale krav. Dersom vannoppsuget for massene brukt i frostsikringslaget er større enn 1% er det krav om laboratorieanalyser. Det blir da utført mineralogisk analyse og test av vannoppsug eller telehiv-test.



**Figur 3.5:** Krav til gradering for naturlig grus eller sand i frostsikringslaget.



**Figur 3.6:** Krav til gradering for bruk av knust stein i frostsikringslaget.

### 3.4 Alaska

Alaska Department of Transportation & Public Facilities (ADTPF) definerer kravene til vegbygging i Alaska. ADTPF har utledet et forhold mellom mengde frossent vann og andel  $P_{200}$ <sup>5</sup> i finkornete masser. Dette resultatet er brukt til å definere kravene for finstoffinnhold til lagene under asfaltdekket. Retningslinjer for frostsikring er definert med hensyn på at kritisk periode vil oppstå under smelting, hvor det oppstår overskudd av vann og dermed svekkelse av bæreevnen til overbygningen.

ADTPF klassifiserer de fleste jordarter og fabrikkerte aggregater med  $P_{200} \leq 6\%$  som ikke frostmfintlig. I figur 3.7 er kravene til finstoffinnhold angitt som funksjon av dybden. Dybden starter fra bunnen av asfaltdekket og finstoffinnholdet skal klassifiseres for toppen av hvert lag.  $P_{200}$  må aldri overstige  $P_{max}$ .

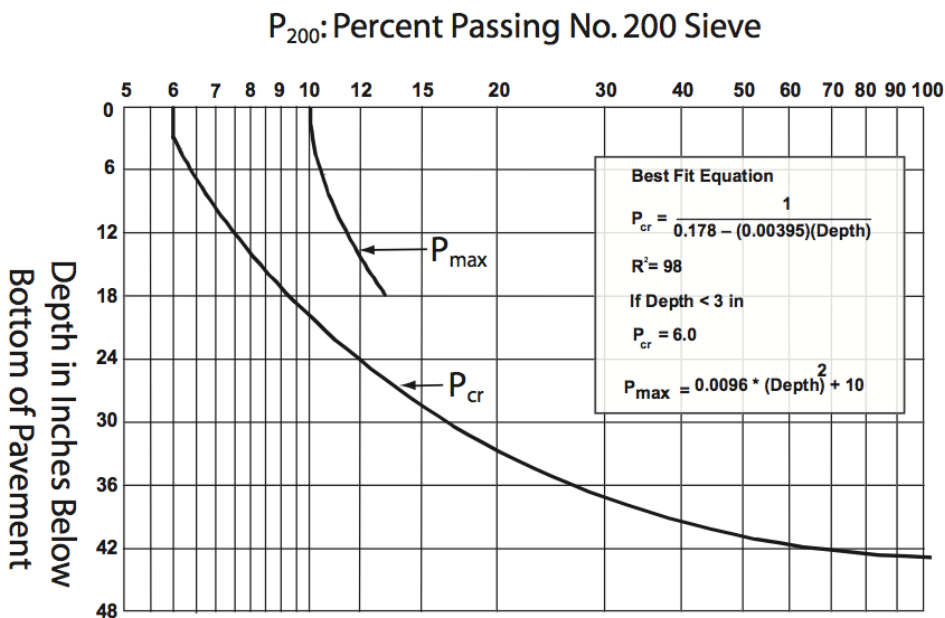


Figure 3-4. Critical and Maximum Fines Versus Depth

**Figur 3.7:** Kritisk og maksimalt finstoffinnhold som funksjon av dybden. 1 inch tilsvarer 2.54 cm. (ADTPF, 2004)

<sup>5</sup> Andel finstoff som passerer sieve 200, altså <0,075 mm.

### 3.5 USA (Minnesota)

For staten Minnesota i USA har Minnesota Department of Transportation (MDT) ansvar for utarbeiding av retningslinjer til frostsikring av veg. Disse retningslinjene gjelder derimot ikke for kommunale- og fylkesveger, samt betongveier som er unnlatt frostsikring. Tykkelse av frostsikringslaget blir dimensjonert på bakgrunn av akkumulert trafikkbelastning over en periode på 20 år, samt med krav til veg-levetid på 20 år (20-yr ESAL). Dette vises i tabell 3.6.

**Tabell 3.6:** Krav til tykkelse for frostsikringslag ved 20-yr ESAL (MDT, 2004).

20-yr ESAL	7 millioner	1-7 millioner	<1 million
Tykkelse frostfritt materiale	0.900 m*	0.765 m	0

\*Gjelder kun for statlig finansierte veger.

Retningslinjene krever at frostsikringslaget skal bestå av materialer definert som frost-frie. Innenfor denne kategorien finner vi tilslagsmaterialer med materialkrav beskrevet i tabell 3.7, i tillegg til grus, og knust stein.

Grus og knust stein kan bli anvendt i frostsikringslaget hvis følgende betingelser er oppfylt (MDT, 2014):

Andelen av materiale som passerer siktstørrelse 0.075 mm, skal ikke være større enn 12 prosent av materialet som passerer siktstørrelsen 25.0 mm (målt i masseprosent). Laget skal heller ikke inneha stein som overstiger 75 mm.

**Tabell 3.7:** Kornfordelingskrav for alkaliske tilslagsmaterialer brukt som frostsikring (MDT, 2014).

Sikt-størrelse	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5*	Klasse 6*	Klasse 7
75 mm	-	-	-	-	-
50 mm	100	100	-	-	100
37.5 mm	-	-	-	-	95-100
25.0 mm	-	-	100	100	65-95
19.0 mm	-	-	90-100	90-100	45-85
9.5 mm	-	-	50-90	50-85	35-70
4.75 mm	35-100	35-100	35-80	35-70	15-45
2.00 mm	20-100	20-100	20-65	20-55	10-30
425 $\mu\text{m}$	5-50	5-35	10-35	10-30	5-25
75 $\mu\text{m}$	5-10	4-10	3-10	3-7	<12

\*Hvis tilslagsmaterialet består av 60 % eller mer knust materiale fra steinbrudd, kan graderingen bli endret med samtykke fra prosjekt-, graderings- og sjefsingeniør.

### 3.6 Sammendrag av krav til finstoffinnhold

Krav til finstoffinnhold i frostsikringslag av pukk er sammenlignet for Norge, Sverige, Finland, Alaska og Minnesota (USA) i tabell 3.8. Tabellen viser at Sverige, Finland, Alaska og Minnesota ikke har noen nedre grense for finstoffinnhold i frostsikringslag av knust/sortert stein, grus eller sand.

Alle land har derimot en øvre grense for maksimal andel finstoff, men prosentandelen finnes på forskjellige vilkår. Sammenlignes derimot maksimal andel finstoff av totalt materiale har Norge en mulighet til å ha opptil 15 % (ref. tabell 3.2), noe som er over dobbelt så høyt som Sverige og Finland tillater. Minnesota har for pukk noe lavere maksimal grense enn Norge med maks. 12 % materiale gjennom 0.075 mm sikt av materiale som passerer sikt 25.0 mm.

Norge har altså et tillatt maksimalt finstoffinnhold ved bruk av pukk til frostsikring som er høyere enn alle land det er sammenlignet med.

**Tabell 3.8:** Krav til finstoffinnhold i frostsikringslag for Norge, Sverige, Finland, Alaska og Minnesota(USA).

Land	Krav til finstoff i frostsikringslag
Norge	Min. 2%, maks. 15% skal passere 0.063 mm sikt, regnet av andel som passerer 22.4 mm sikt.
Sverige	Min. 0%, maks. 5% for sortert sprengstein, og maks. 6% for knust sprengstein (masseprosent av totalt materiale).
Finland	Min. 0%, maks. 7% for knust stein og maks. 9% for knust grus (masseprosent av totalt materiale). Krav til laboratorieundersøkelser for bruk av materiale med >1% vannoppsug.
Alaska*	Krav til finstoffinnhold varierer med dybde. 45 cm under asfalten er kravet maks. 10-13%, kritisk verdi er 6-9% (masseprosent av totalt materiale).
Minnesota* (USA)	For grus og knust stein skal maks 12% passere 0.075 mm sikt, regnet av andel som passerer 25.0 mm sikt. For tilslagsmaterialer varierer krav til finstoffinnhold for ulike klassene, men oppsummert strekker finstoffholdet seg fra min. 0-5%, til maks. 7-12% (masseprosent av totalt materiale).

\* - For Alaska og Minnesota er finstoff definert som materiale mindre enn 0.075 mm.



# Kapittel 4

## Generell info om strekningene

I oppgaven er det gjort et studie av Fv26 i Alta og Fv452 i Meløy. Det er utført feltarbeid på begge vegene. I dette kapittelet finnes informasjon om lokale klimaforhold, kartdata, geologiske forhold og årlig dagstrafikk (ÅDT).

Lokaliteter for utført feltarbeid er markert i stedskart og geologisk kart.

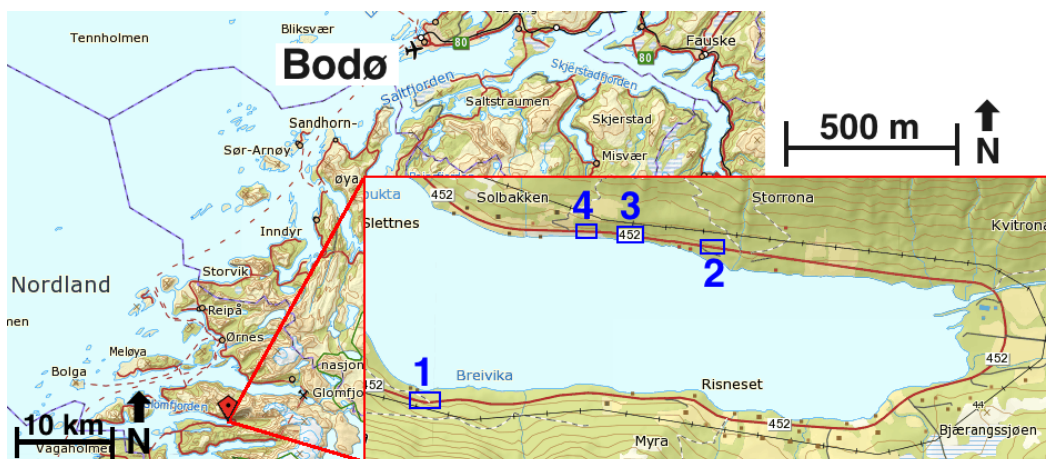
For Fv26 er det gjennomført oppgraving av veg på en lokalitet og i tillegg er syv strekninger innmålt med GPS sommer og vinter.

På Fv452 er det gjort oppgravinger ved fire lokaliteter.

### 4.1 Geografisk plassering

#### Fv452 - Meløy

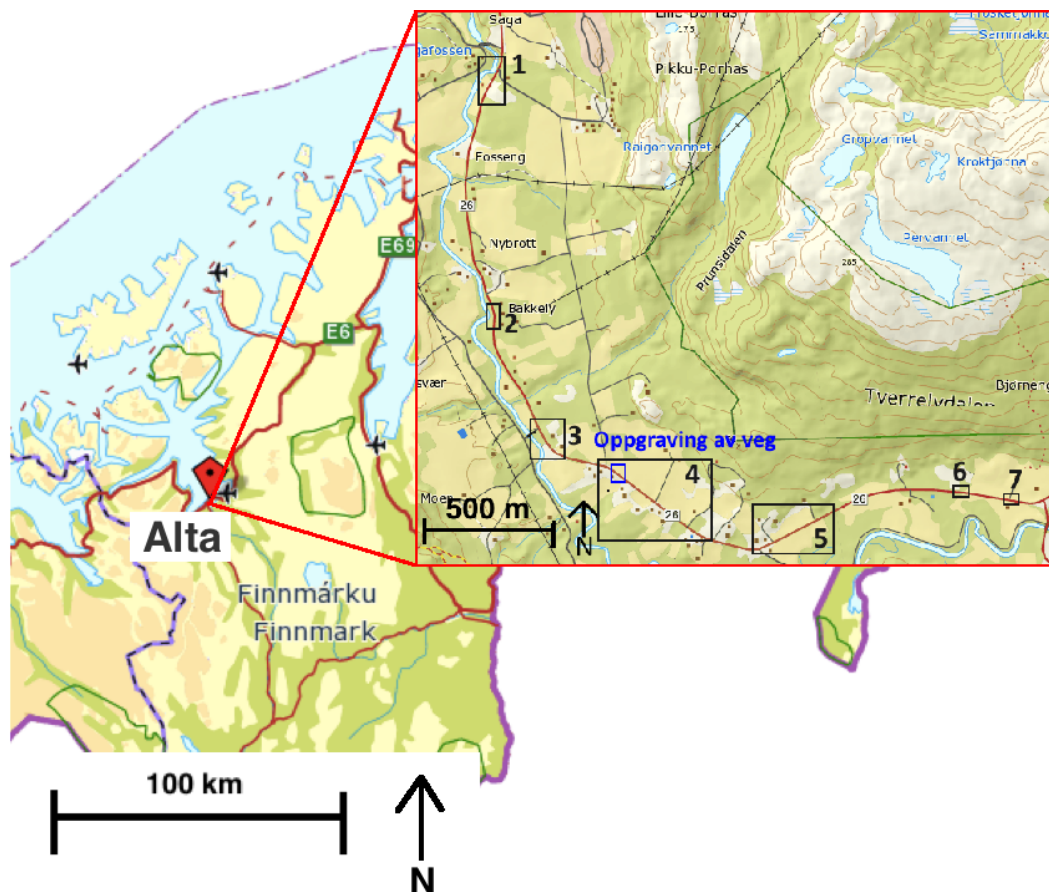
I Nordland fylke, nærmere bestemt i Meløy kommune, finner vi Fv452 som buker seg inn og ut av Bjærangsfjorden. I figur 4.1 vises Meløy, samt et nærmere utsnitt av Bjærangsfjorden. I utsnittet viser de rektangulære markeringene lokaliteter for oppgravinger.



**Figur 4.1:** Geografisk plassering av Meløy, og et oversiktsbilde av Bjærangsfjorden. Rektangel 1-4 markerer lokaliteter for prøvetaking av veg. (Kartverket, 2014)

### Fv26 - Tverrelvdalen, Alta

I Finnmark fylke, nærmere bestemt i Alta kommune, finner vi Fv26 som strekker seg opp langs Tverrelvdalen. I figur 4.2 vises det hvor Alta er lokalisert, samt et utsnitt av Tverrelvdalen. I utsnittet viser de svarte rektangulære markeringene strekninger for innmåling med GPS.



**Figur 4.2:** Geografisk plassering av Alta, og et oversiktsbilde av Tverrelvdalen. Rektangel 1-7 er strekninger målt inn med GPS. (Kartverket, 2014)

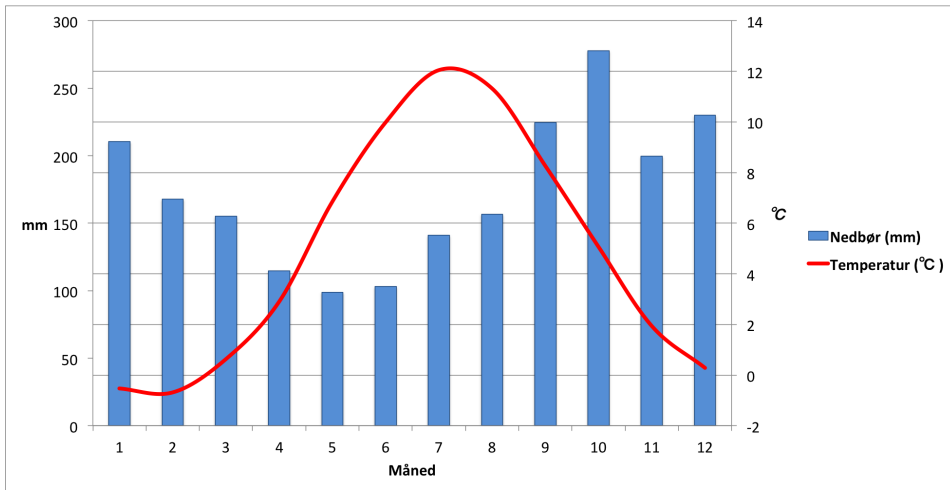
## 4.2 Klima

Klima er med på å påvirke telehiv, og av tre faktorer som må være tilstede for telehiv er klimaet direkte årsak til to av dem. Lokale faktorer er med på å påvirke temperatur og nedbør, og det er derfor viktig å hente inn data fra representative målestasjoner for å unngå avvik.

**Meløy** har et kystklima med mye nedbør og milde vintre. De store mengdene nedbør avgis når skylagene presses opp ved Saltfjellet som er en høy mur langs kysten. Vinteren strekker seg ikke over mer enn 2-3 måneder i Meløy, og sprengkulde er sjelden.

I figur 4.3 vises gjennomsnittlig temperatur og nedbør for Glomfjord målestasjon. Måle-

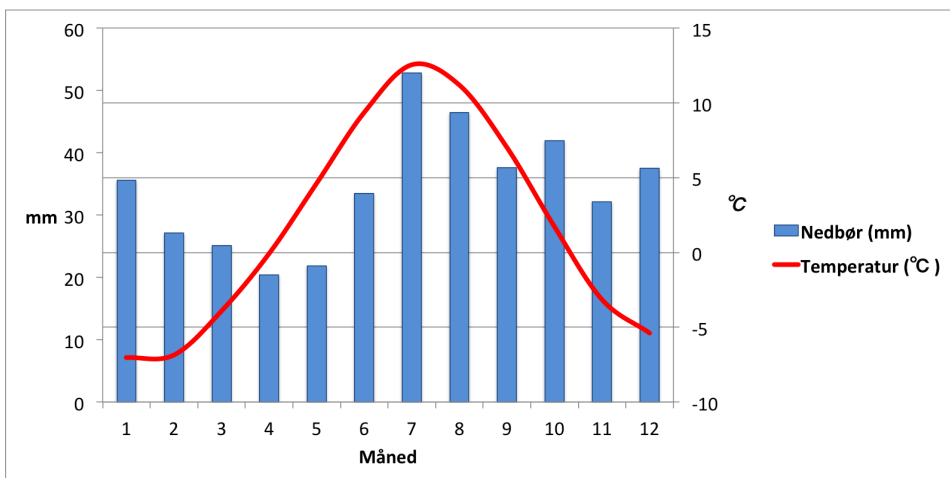
stasjonen ligger i Meløy kommune og er nærmeste målestasjon og det er antatt at klimaet er omtrent likt som i Bjærangsfjorden.



**Figur 4.3:** Gjennomsnittlig klima for Meløy i perioden 1964-2010. Klimadata er fra Glomfjord målestasjon (Meterologisk Institutt, 2014).

**Alta** har ett typisk innlandsklima. Klimaet er tørt med forholdsvis kalde vintre. Det at Alta ligger så langt nord gir vanligvis stabilt kalde vintre. Vintrene kan vare opptil 6 måneder og gir grunnlag for store frostmengder med stor grad av uavbrutt, sammenhengende frostnedtrengning.

I figur 4.4 vises gjennomsnittlig temperatur og nedbør for Alta. Klimadata er registrert ved Alta lufthavn som er nærmeste målestasjon samt har et klima tilnærmet likt Tverrelvdalen.



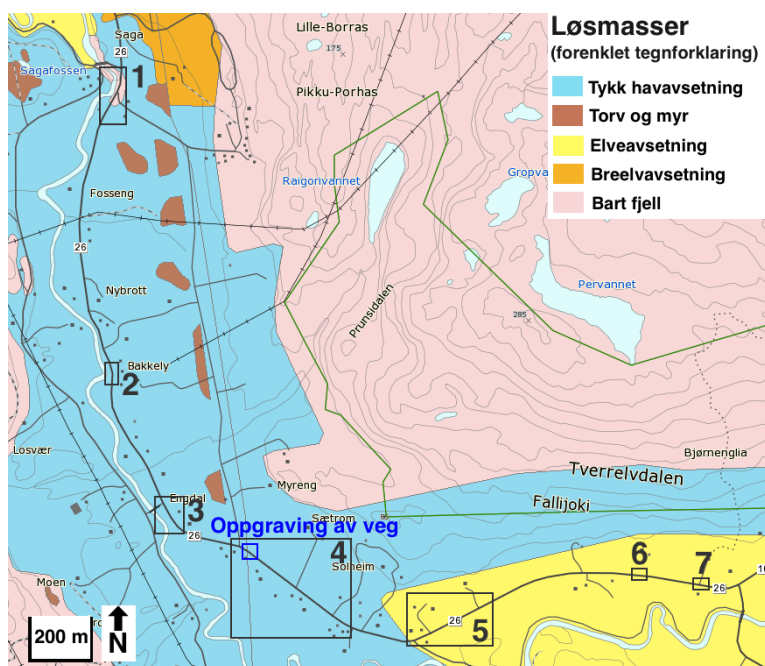
**Figur 4.4:** Gjennomsnittlig klima for Alta i perioden 1964-2010. Klimadata er fra Alta lufthavn (Meterologisk Institutt, 2014).

### 4.3 Geologiske forhold

For både Meløy og Tverrelvdalen finner vi i all hovedsak masser avsatt under siste del av Kvartærperiode. Dvs. i periode fra ca. 30000 år før nåtid (F.N.) til ca. 8500 F.N. Kvartærperiode strekker seg fra 2.6 millioner år F.N. og fram til i dag. Perioden kjennetegnes ved flere glasiasjoner så langt sør som 40° og er karakterisert av istider ( 85% av tiden) avbrutt av mellomistider ( 15% av tiden) som den vi lever i nå. Erosjon og avsetninger fra isbreer har vært med på å forme landskapet rundt oss og bidratt til de løsmassene vi finner i dag. De største løsmasseavsetningene i Norge har sitt opphav fra breer og breelver (Prestvik et al., 1995). For nærmere beskrivelse av løsmasser henvises det til vedlegg 4.

#### Tverrelvdalen

Tverrelvdalen består av tykke havavsetninger med silt- og leirmasser. De tykke havavsetningen gjenspeiler glasimarine leirer. Dette er silt- og leirmaterialer som er transportert med smeltevann i breelver og utenfor randdeltaet avsatt i ett marint miljø. Den tykke breisen har presset landet ned, før ett varmere klima har ført til en tilbaketrekking av isbreene og avlastning av jorda. Avlastning og heving av landet har ført store områder med leire over dagens havnivå. Disse leiravsetningen har i ulik grad blitt påvirket ved gjennomsliv av ferskvann og utvasking kan føre til dannelse av kvikkleire.



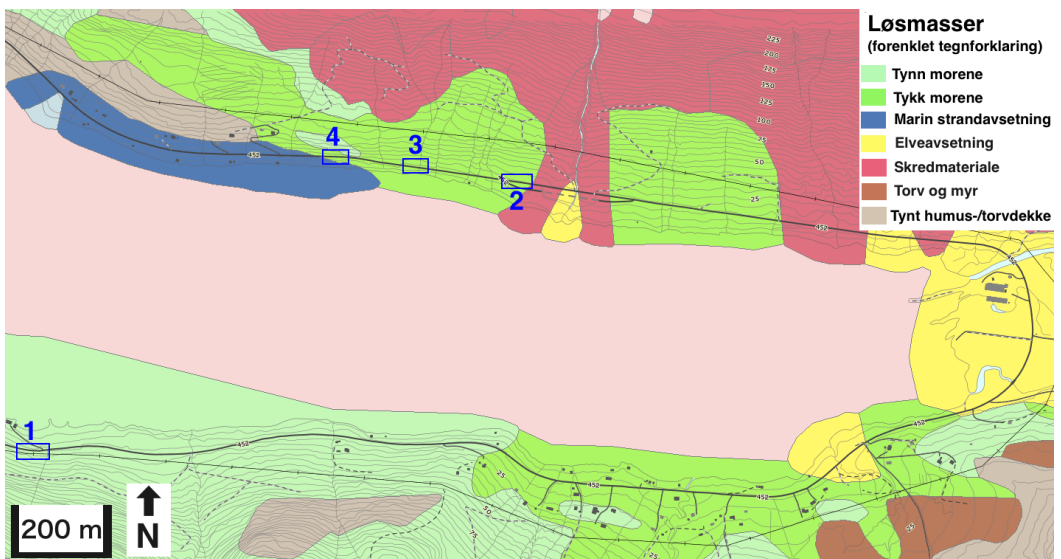
**Figur 4.5:** Løsmassekart for Tverrelvdalen (NGU, 2014). Rektangel 1-7 er strekninger målt inn med GPS.

#### Bjørangsfjorden

De geologiske forholdene i Bjørangsfjorden varierer ettersom hvor i fjorden en oppholder seg. Fra figur 4.6 ser en at lokalitetene for oppgraving ser ut til å ligge i morenemateriale.

Den marine strandavsetningen er dannet av bølge og strømkraft i randsonen. Avset-

ningen ligger ofte som et tynt dekke over andre løsmasser, men finnes og avleiret direkte på fast fjell. Kornstørrelsen varierer mye, men hovedsaklig er det grus og sand som dominerer. Morenemateriale er dannet ved at breen har revet løs materiale fra fjellgrunnen eller løsmasser. Fragmentene er så transportert og avsatt av breen. Morenejordartene er usorterte, det vil si en slags blanding av det breen frakta med seg, fra leir til store blokk. Innhold av ulike kornstørrelser for morene er i stor grad et resultat av hvor i breen materialet er transportert og hvordan den er blitt avsatt. Det skilles i all hovedsak mellom to hovedtyper morene: botnmorene og utsmeltingsmorene. Botnmorene er avsatt under bresålen og er ofte overkonsolidert (hardpakket fra tyngden av breen). Utsmeltingsmorene er utsmeltet morene fra innsiden av bremassen og topp av breen. Dette materialet er ofte utsatt for utrasing og smeltevann, og har derfor oftere en lavere andrel finstoffinnhold enn botnmorene. Finstoffinnhold i morene er avhengig av flere ulike faktorer som; bergartsinnhold, transportlengde (langtransportert materiale knuses mer ned), mineraltype (nedre stabil kornstørrelse og ulik motstand mot nedknusning) (NGU, 1991). Skredmateriale og forvitret materiale vil ha karakteristikk utfra opphavsmateriale. Dette vil ikke bli gjennomgått her.



**Figur 4.6:** Løsmassekart for Bjærangsfjorden (NGU, 2014). Rektangel 1-4 markerer lokaliteter for prøvetaking av veg.

## 4.4 ÅDT

Årlig dagstrafikk (ÅDT) er et tall for trafikkbelastningen langs en veg. ÅDT gir data om total belastning en veg utsettes for samt grunnlag til å vurdere økonomiske og praktiske hensyn ved investeringer. I tabell 3.1 er krav til frostsikring av norske veger dimensjonert ut fra bl.a. ÅDT. For veger som har høy ÅDT stilles strengere krav til frostsikring enn veger med lav ÅDT.

**Tabell 4.1:** ÅDT for Fv26 og Fv452. Data er hentet fra NVDB.

Vegnavn og kilometrering	ÅDT	Krav til frostsikring ved Håndbok 018
Fv26 - km 0-452	2445	Ja
Fv26 - km 452-4194	1565	Ja
Fv26 - km 4194-5779	640	Nei
Fv452 - km 0-998	225	Nei
Fv452 - km 998-27385	200	Nei

## Bakgrunnsdata

Det er samlet inn store mengder data i forbindelse med oppgaven. Dataene er samlet inn ved bruk av forskjellige metoder og metodikken er beskrevet nærmere i dette kapittelet. Det er i tillegg gjort rede for de ulike frostsikringstiltakene som er benyttet ved Fv452 og Fv26, samt gjort beregninger av frostmengder.

### 5.1 Data fra feltmålinger

#### 5.1.1 ViaPPS-måling

I oppgaven er det benyttet jevnhetsmålinger fra ViaPPS-målebil utført sommer og vinter, før og etter tiltak på Fv452. Disse data er benyttet til å fastslå tidlige telehiv.

ViaPPS er et verktøy utviklet for å overvåke tilstanden for dekket ved veger og flyplasser. Målingene utføres ved kontinuerlig laser-skanning av veggen over 4 meters bredde, med målinger av tverrprofil, lengdeprofil (IRI) og tekstur (MPD) (Haugødegård, 2008). Etter innsamling prosesseres dataene slik at det dannes en kontur av veggen, og endringer i vegbanen kan detekteres. Endringene kan være forringelser som hull, sprekker og diskontinuiteter samt endring i vegbanen pga. telehiv (ViaTech, 2010).

ViaPPS er et effektivt verktøy siden det dekker hele vegbanen med høy oppløsning. Dette gir et effektivt verktøy for å finne vegskader fra telehiv, og en kan enkelt finne nøyaktig plassering og dybde.

IRI er et mål på ujevnheter i vegens lengderetning (mm/m) i hjulsporene, og hovedformålet er å si noe på kvaliteten på veggen som transportåre. Målingene blir vanligvis gjort sommerstid, men med mange lavtrafikkerte veier i Norge med relativt tynne overbygninger hvor det kan oppstå telehiv, vil det være ønskelig å kartlegge endringene fra sommer- til vinter-IRI. Ujevne telehiv vil gi seg utslag i større IRI-verdier om vinteren, og det er derfor interessant å se på  $\delta\text{IRI} = \text{IRI}_{\text{vinter}} - \text{IRI}_{\text{sommer}}$  for å finne de områdene som er særlig utsatt for ujevne telehiv.

Ettersom det er forskjellen i IRI sommer og vinter ( $\delta\text{IRI}$ ) man ser på, er det viktig å vite noe om nøyaktigheten og repeterbarheten av målingene. Nøyaktighet går på selve systemet og utstyret som brukes. Repeterbarhet går på hvor godt en treffer samme spor, og er blant annet avhengig av sjåføren. Man ønsker å vite når det er en reel forskjell på sommer og



**Figur 5.1:** IRI-fordeling over året (Aursand, 2005).

vintermålingene, for å vite om det er snakk om et reelt hiv eller en unøyaktighet. Derfor må man sette en grense for når man kan regne med at unøyaktigheter i målingene kan sees bort fra. Haugødegård anslår at for en  $\delta IRI$  verdi over 0,4 mm/m kan man være sikker på at det er en forskjell på sommer og vinterverdiene (sitert etter Aursand (2005)).

### 5.1.2 Georadar-målinger

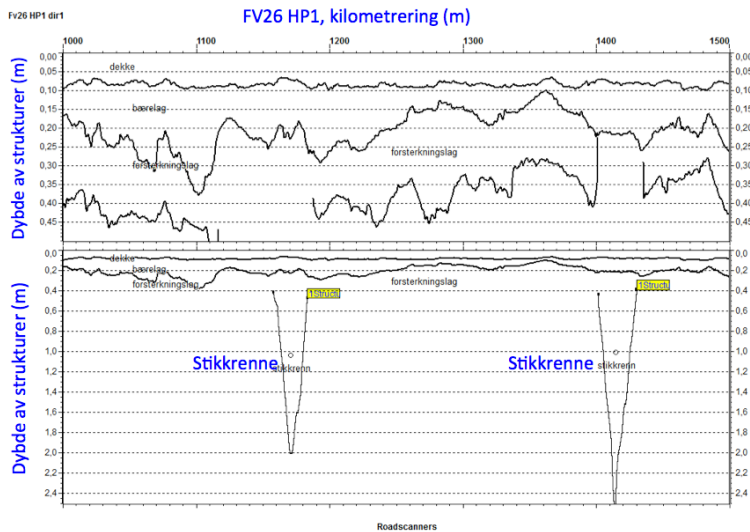
Etter utbedringer av Fv26 er Georadar (GPR) benyttet til å kartlegge overbygningen. Dette gir mulighet for å se konkret hva entreprenør har utført og f.eks se om det er i henhold til byggeplan. GPR-data er utført av Roadscanners det er i oppgaven benyttet prosesserte rådata framstilt som strukturer.

GPR fungerer i prinsippet som refleksjonsseismikk med unntak i at det brukes elektromagnetiske bølger istedenfor lydbølger. De elektromagnetiske bølgene forplanter seg ned i jorden og reflekteres når de treffer et objekt eller en laggrense. Denne ulikheten i materialene skyldes forskjellig dielektrisitetskonstant (øker med vanninnhold) og elektrisk ledningsevne (øker med ioneinnhold). Ifølge Saarenketo and Scullion (2000) er det mulig å finne og skille materialtypen(e) fordi hvert materiale innehar sin egen geologiske struktur, dielektrisitet og elektriske ledeevne. Disse egenskapene gir materialet et eget fingeravtrykk som kan gjenkjennes på GPR-profilen. Ved å vite bølgelengden til den reflekterte bølgen for ulike materialer, kan en anslå hvilket materiale som befinner seg i grunnen. Tidsforskjellen mellom de reflekterte bølgene bestemmer hvor tykke de ulike lagene er (Hoff et al., 2008).

Fordelen med GPR er at man kan rekke over lange strekninger, og få kontinuerlige bilder av grunnens lagdeling, tilstand og materialtyper på kort tid (Celaya et al., 2010).

GPR har flere muligheter til å anslå telehiv. GPR er ansett som en pålitelig og effektiv metode for å identifisere termiske grenseflater som ved overgangen fra is til vann. Ved overgang fra frossen til ufrossen tilstand er det en stor kontrast i den dielektriske konstanten som vanligvis avgir en tydelig reflektert grenseflate (Stevens et al., 2008). Dette gir mulighet for kartlegging av islinser i grunnen og plassering av frysefronten. I kombinasjon med tykkelse av overbygning kan en kontrollere og vurdere tilstrekkelighet av frostsikringstiltak. Det skal gjøres oppmerksom på at data fra georadar-målinger bør kombineres med andre data som gir kjennskap til prosesser og materialegenskaper i overbygningen. På neste side vises et eksempel på tolkete strukturer langs Fv26.





Figur 5.2: GPR-måling Fv26 Alta.

### 5.1.3 GPS-målinger

Det er utført GPS-målinger på Fv26 langs syv ulike strekninger. Strekningene har tidligere vært utsatt for telehiv og er i ettertid utbedret. GPS-målingene er utført i to omganger, med første innmålinger sommerstid (slutten av juli) før samme punkt er innhentet på vinteren (slutten av mars). Ved å sammenligne målingene kan en da finne endring i vertikal høyde for vært punkt, noe som gir grunnlag for å fastslå telehiv.

Til dette arbeidet er det benyttet en Leica RTK GPS Viva. Dette er en GPS med høy målepresisjon, noe som er avgjørende for registrering av telehiv på centimeters-nivå



Figur 5.3: Leica RTK GPS Viva (Surveyequipment, 2014).

Langs hver strekning er punktene innmålt for omtrent hver 5. meter langs senter og høyre/venstre kantlinje. Ved å måle både langs og på tvers av veg kan ujevne telehiv detekteres samt vil mange målinger minimere feilmarginen.



**Figur 5.4:** Illustrasjon av GPS-målinger langs veg. Målinger er tatt for omtrent hver 5. m.

## 5.2 Laboratorieundersøkelser

Under oppgraving ble det gjort prøvetaking. I ettertid er prøvene testet og kornfordeling, mineralogi, vann- og finstoffinnhold analysert. Etter prøvetaking ble prøvene lagret i forseglete poser og oppbevart i så kalde forhold som mulig. Med tanke på transport har det viktigste vært å forhindre lekkasje siden finstoffet ofte følger med vannstrømmen. Det er derfor sørget for at prøveposene er fraktet stående slik at opprinnelig tilstand er ivaretatt. For detaljert framgangsmåte ved labarbeid henvises det til vedlegg 5.



**Figur 5.5:** Frakt av prøver med hurtigruta fra Bodø.

### 5.2.1 Kornfordeling, vann- og finstoffinnhold

#### Vanninnhold

Prøven veies umiddelbart etter prøvetaking før den forsegles. I laboratoriet plasseres prøven i en skål med kjent masse, for så å plasseres i varmeskap. Her tørkes den til konstant masse ved en temperatur av  $(110 \pm 5) ^\circ C$ . Når prøven er tørr (etter omtrent et døgn i varmeskapet) avkjøles den før massen veies (Statens vegvesen, 2005).

Vanninnhold (%) finnes så ved:

$$w = \frac{m_w}{m_s} \quad (5.1)$$

hvor  $m_w$  er masse vanninnhold ([masse prøve før tørking] - [masse prøve etter tørking]) og  $m_s$  er masse tørr prøve

### Finstoffinnhold

Kornfordelingen og finstoffinnhold bestemmes ved sikting og hydrometeranalyse. For korn mindre enn 0,06 mm er det upraktisk/ikke-gjennomførbart å bruke tørrsikt på prøven. Det må da benyttes våtsikting. For leirig silt, siltig leire og lignende finkorning materiale uten innhold av grove partikler benyttes kun hydrometeranalyse.

Prinsipp for gjennomføring:

1. Vasking/våtsikting av prøven på bestemte sikt for å skille grove og fine partikler
2. Sikting av de grove partiklene fra den våtsiktede og tørkede prøven gjennom standard siktesatser av duk med kvadratiske masker, samt summasjonsveieing
3. Ev. hydrometeranalyse for fordeling av korn  $< 75 \mu\text{m}$ .

Prinsipp hydrometeranalyse:

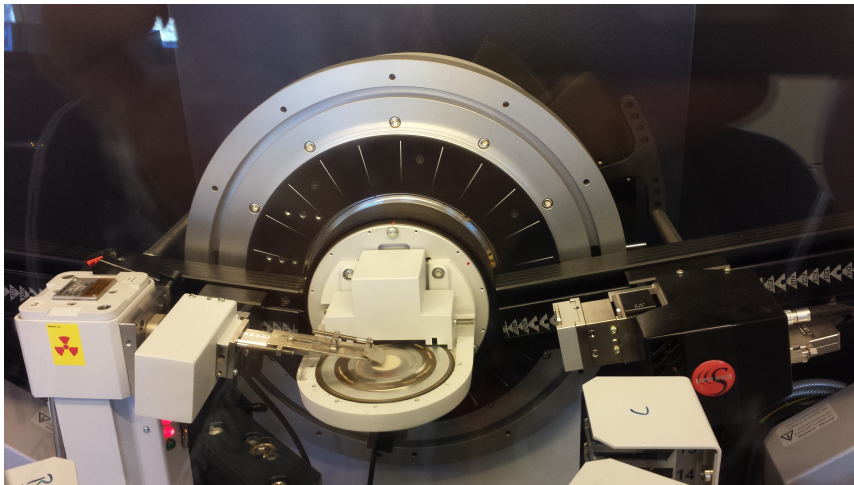
Prøven våtsiktes først, for så å tilsettes et målebeger med 1 l vann (temp.  $20 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) hvor det ristes kraftig slik at kornene fordeler seg jevnt. Målebegeret blir så satt i et vannbad med en gitt temperatur. I følge Stokes lov er synkehastigheten til kornene proporsjonal med diameteren i andre potens. Ved å avlese hvor dypt hydrometeret flyter ved bestemte tidspunkt, samt temperatur, kan en finne hvor stor prosentdel de resterende masser utgjør av den totale oppslammete massen. Om dybden avmålt for hydrometeret avtar sakte, er det mye finstoff i massen som synker sakte mot bunnen. Ved hjelp av et kalibreringsskjema kan en da finne kornfordelingen til materialet.

## 5.2.2 XRD-analyser

Røntgendiffraksjon (XRD) er den vanligste metoden for identifisering av mineralsammensetningen til finkornete jordmaterialer. Røntgenstråler sendes med varierende innfallsvinkel mot prøvematerialet hvor bølgene avbøyes før de treffer en detektor. Ved å sende mange bølger mot prøven dannes et diffraktogram. Med bakgrunn i Bragg's lov<sup>1</sup> og det at ingen mineraler har samme avstand mellom gitterstrukturens plan, kan avbøyningsvinkelen brukes til å identifisere mineraltype (Mitchell, 1993). Resultatene i diffraktogrammet er en serie med utskrift av avbøyningsvinkler og avstand mellom atomenes plan (som er tilbakeregnet fra avbøyningsvinkel). Ved å sammenligne dette med kjente mineralverdier kan en finne mineralinnholdet i prøven. For identifisering og kvantifisering av mineraler i prøven benyttes programvare. For beregning av mineralsammensetning i prøve brukes DiffraC EVA, mens for kvantifisering benyttes TOPAS. Først gir DiffraC EVA et forslag til identifisering av prøven. Dette resultatet må så verifiseres og eventuelle endringer av mineraler legges til manuelt. Resultatet overføres så til TOPAS hvor mineralinnholdet kvantifiseres.

Problem med denne undersøkelsen med tanke på telefarlighet er at den ikke skiller mellom frie mineral og mineral som er bundet til andre korn. Mineraler bundet til and-

<sup>1</sup>Bragg's lov - forklarer sammenheng mellom avbøyningsvinkel og gitterstruktur



**Figur 5.6:** XRD-analyse av prøvemateriale. Prøvekopp ligger omtrent midt i bildet.

re korn har ikke samme vannopptaksevnen som frie mineral, og to prøver med samme mineralinnhold kan da ha ulik telefarlighet.

## 5.3 Andre data

### 5.3.1 Vegtekniske utbedringer

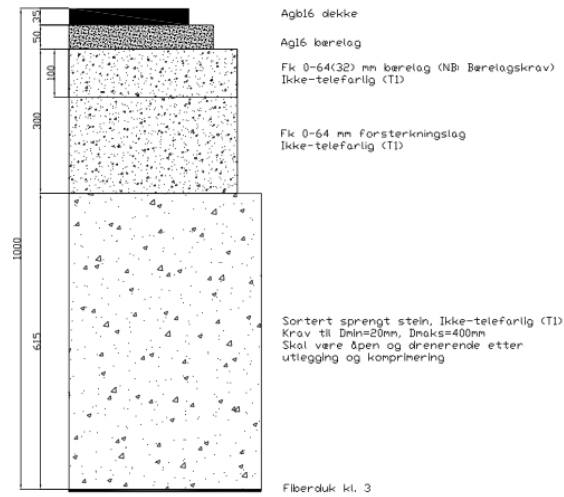
Både Fv452 og Fv26 har tidligere hatt tildels store problemer med telehiv som har medført ujevnheter i vegbanen og oppsprekking av asfalt. Det ble derfor tildelt midler for utbedring av både Fv452 og Fv26. Prosjektet innebar blant annet utskifting av stikkrenner, utkiling, grøfting og masseutskifting. Forbedringene ble utført i 2011/12 for Fv452 og 2012 for Fv26. Som datagrunnlag for utbedringer er byggeplan for Fv452 (Statens vegvesen, 2011) og Fv26 (Statens vegvesen, 2012) benyttet.

#### **Pukk (sand, grus og stein)**

Sand, grus og stein brukes til frostsikring etter prinsippet om utnyttelse av "utfrysingsvarmen". Den nødvendige tykkelsen er mange ganger så tykk som ved bruk av isolasjonsmaterialer, men fordelen er at materialet tåler belastninger godt og er kompatibel med vegbyggingsmaterialer, samt at man ofte kan bruke materialer i eller ved linja (Geir Refsdal, 2005).

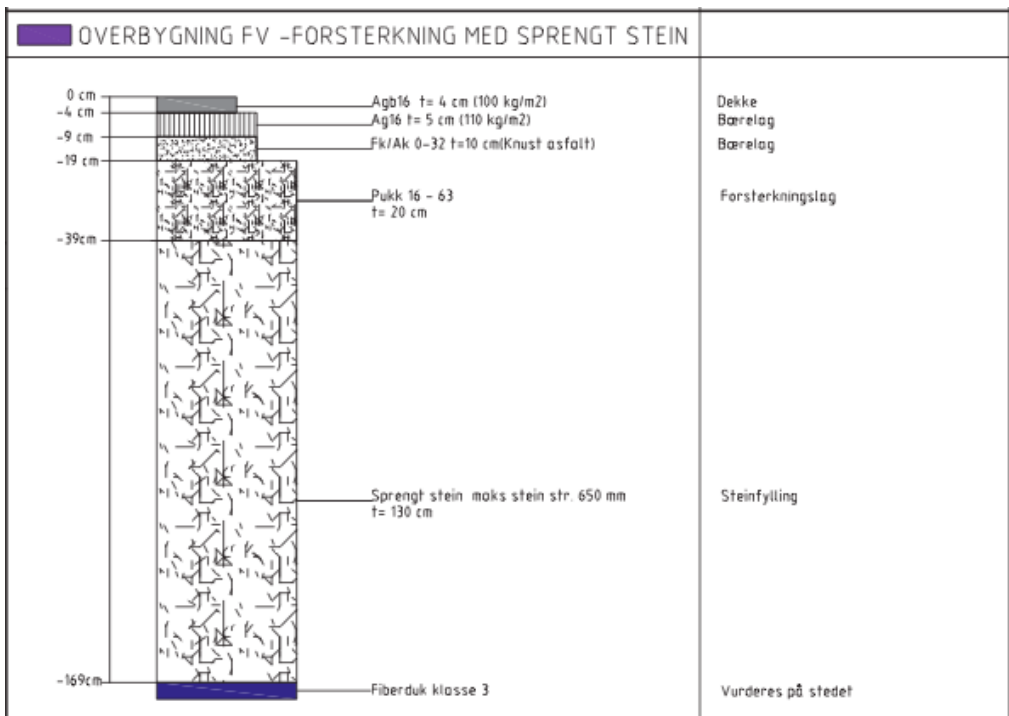
Samtlige oppgravinger på Fv452 er utført på strekninger med pukk som frostsikringslag. Illustrasjon av overbygningen vises i figur 5.7.

## Frostsikring med sprengt stein



**Figur 5.7:** Frostsikring med pukk for Fv452. Hentet fra byggeplan (Statens vegvesen, 2011).

På Fv26 er lokalitet for oppgraving av veg samt GPS-målt strekning fire frostsikret med pukk. Illustrasjon av overbygningen vises i figur 5.8.

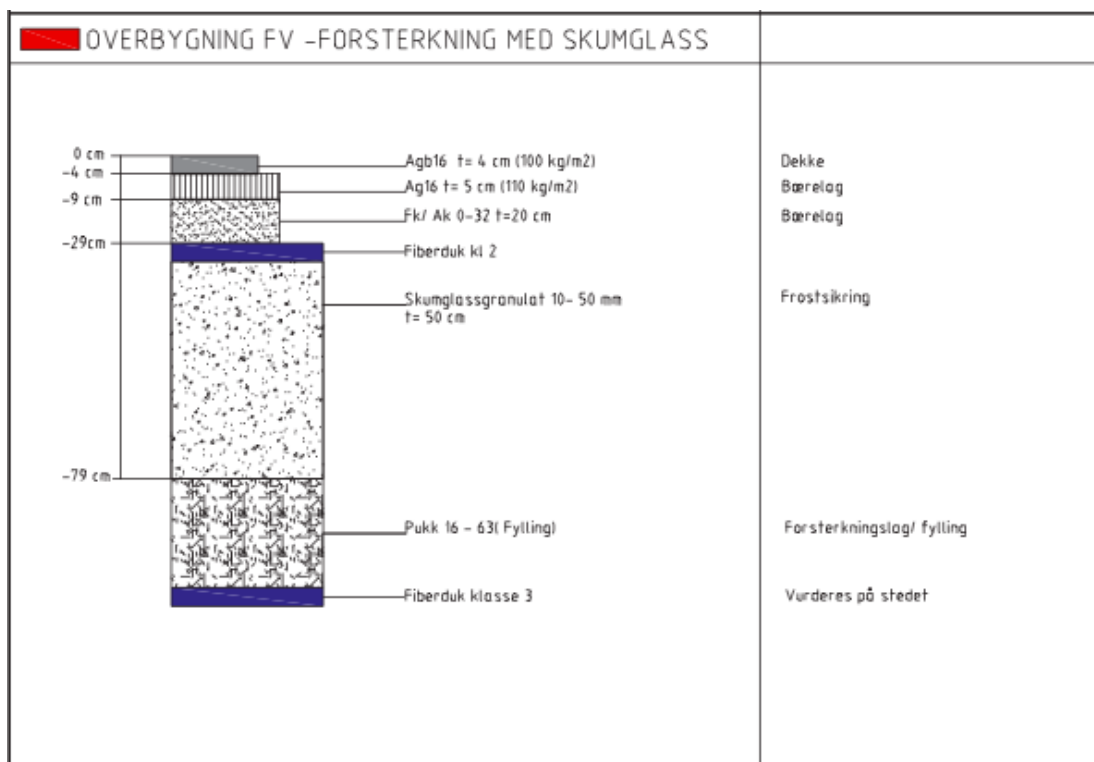


**Figur 5.8:** Frostsikring med pukk for Fv26. Hentet fra byggeplan (Statens vegvesen, 2012).

### Skumglass

Skumglass er produsert av resirkulert glassavfall. Det har sine fordeler med lav varmeledningsevne og lav egenvekt. Den lave egenvekten kan bidra til økt områdestabilitet, mens den lave varmeledningsevnen gir en god isolasjonseffekt. Hensikten med skumglass er å øke varmestrømmotstanden for varme som frigjøres ved nedkjøling av undergrunnsmaterialer og ved frysing av vann under isolasjonslaget. Dette betyr at frosten ofte må trenge gjennom isolasjonslaget før den virkelige effekten tiltrer (Aksnes et al., 2013). Det er derfor viktig å ha et fyllingslag i underkant hvor det ikke kan dannes islinser. Anleggsteknisk håndteres skumglass som en løsmasse"og legges ut med hjullaster, gravemaskin eller veghøvel.

På Fv26 er GPS-målt strekning to frostsikret med skumglass. Illustrasjon av overbygningen vises i figur 5.9.

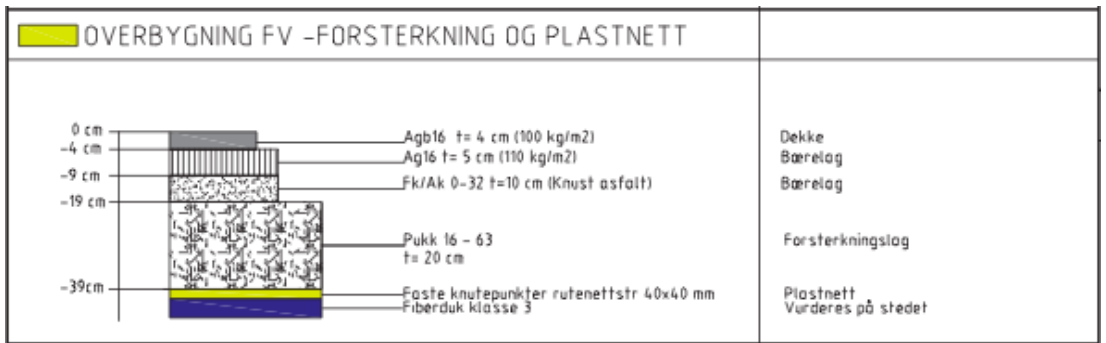


**Figur 5.9:** Frostsikring med skumglass for Fv26. Hentet fra byggeplan (Statens vegvesen, 2012).

### Geonett (og forsterkning)

Geonett er en nettkonstruksjon av plast som benyttes for å binde sammen granulære materialer slik at strekkrefter i konstruksjonen tas opp. Nettet har flere bruksområder og kan f.eks benyttes ved dårlig undergrunn for å holde materialet stabilt under anleggsfasen. Geonettet er et alternativ til forsterkning av tynne overbygninger.

På Fv26 er strekning tre og syv frostsikret ved bruk av geonett. Illustrasjon av overbygningen vises på neste side i figur 5.10.

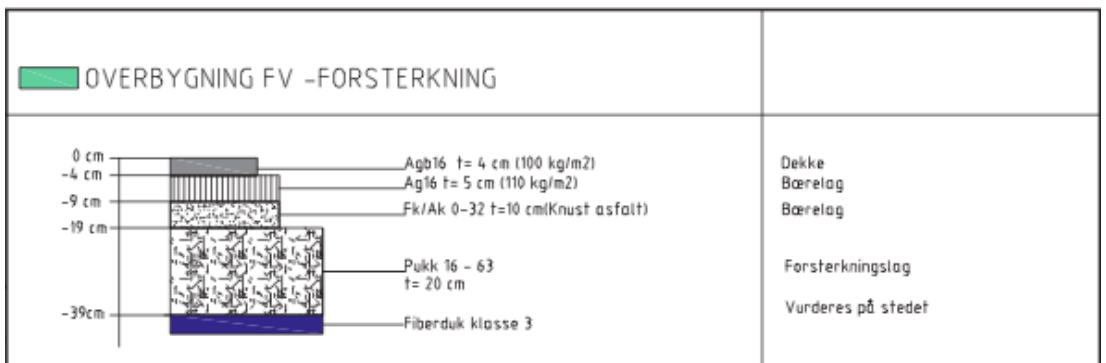


Figur 5.10: Frostsikring med geonett på Fv26. Hentet fra byggeplan (Statens vegvesen, 2012).

### Forsterkning

Forsterkning har ikke en frostsikringsfunksjon, men gir økt bærestyrke og levetid for veg.

På Fv26 er strekning en og fem forsterket. Illustrasjon av overbygningen vises i figur 5.11.



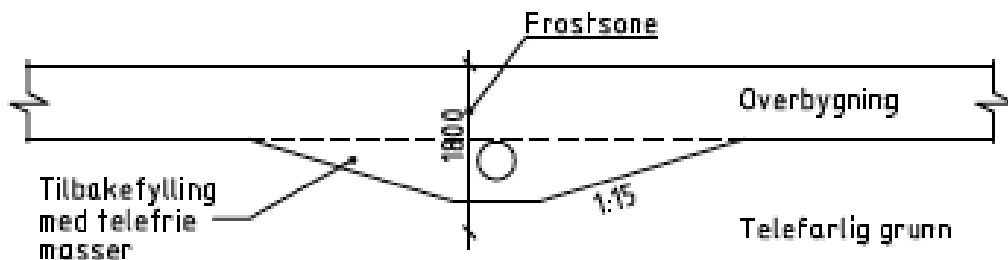
Figur 5.11: Forsterkningstiltak ved Fv26. Hentet fra byggeplan (Statens vegvesen, 2012).

### Utkiling

Ved overgang mellom telefrie masser og telefarlig grunn er det mulighet for ujevne telehiv. Det benyttes da utkiling for å fordele telehivet slik at det blir slakere og gir minst mulig forringet kjørekomfort.

Utkilinger er analysert for stikkrenner og skumglass langs GPS-målte strekninger for Fv26. Fra byggeplan til Fv26 er det for stikkrenner planlagt utkilingenslengder på totalt 30 meter. For skumglass er det ikke angitt utkilingenslengde, men det er kommentert at i overgang mellom frost/ikke frostfri veg vurderes evt. behov for utkiling.

## 1: Som ligger innenfor frostsone



Figur 5.12: Prinsipp for stikkrenner ved kryssing av vei hentet fra Statens vegvesen (2011).

### 5.3.2 Klima

Klimadata er en vesentlig del av oppgaven, så det er viktig å forsikre seg at det er hentet inn nøyaktig bakgrunnsdata. I rapporten fra Aksnes et al. (2013) er det konkludert med viktighet av oppdatert klimadata pga. endringer i målestasjonstetthet og -plassering, målenøyaktighet og beregningsmetodikk mv., samt reelle klimasvinginger. Det er derfor ikke benyttet klimatall fra standardtabeller men innhentet måledata fra nærmeste målestasjon, og det er ikke funnet behov for korreksjon av måledata.

Klimadata er i all hovedsak hentet fra Meteorologisk Institutt (2014), kun årsmiddeltemperatur er fra SINTEF (2012). For gjennomsnittlig nedbør og frost er datagrunnlaget fra målestasjonene Alta lufthavn og Glomfjord. Disse data er brukt til å beregne klima for Alta og Meløy i kapittel 4.2 samt dimensjonerende frostmengder  $F_5$  og  $F_{10}$ .

For beregning av frostmengder vinteråret 2012/2013 og 2013/14 var derimot Glomfjord målestasjon tatt ut av drift. Det er derfor benyttet bakgrunnsdata fra Alta lufthavn og Reipå. Reipå ligger i Meløy kommune altså geografisk nært både Bjærangsfjorden og Glomfjord samt i ett topografisk likt område. Det er derfor rimelig å anta at all klimadata benyttet i oppgaven er realistiske, anvend- og sammenlignbare.

### 5.3.3 Frostmengde

Frostmengde er definert som tidsintegralet av lufttemperatur lavere enn  $0^\circ\text{C}$  gjennom vintervesongen. Frostmengde angis i timegrader ( $\text{h}^\circ\text{C}$ ) og benyttes til å beregne nødvendig tykkelse av overbygning. Frostsikringslagets dimensjoneres slik at risikoen for gjennomfrysing av konstruksjonen holdes innenfor et akseptabelt nivå, for eksempel gjennomfrysing kun hvert 2. år ( $F_2$ ), hvert 5. år ( $F_5$ ) eller hvert 10. år ( $F_{10}$ ). I denne oppgaven er det beregnet dimensjonerende frostmengde  $F_5$  og  $F_{10}$ , samt frostmengde for vinteråret<sup>2</sup> 2013/2014. Framgangsmåte for beregning av frostmengder er vist i vedlegg 1.

I tabell 5.1 vises dimensjonerende frostmengder  $F_5$  og  $F_{10}$  for Alta og Meløy. Frostmengdene er beregnet på bakgrunn av lufttemperaturer, og tar ikke hensyn til økning i frostmengde pga. stråling.

Tabellen viser stor variasjon for frostmengde ved døgn- og månedstemperatur i Meløy.

<sup>2</sup>Vinterår = start den 1. juli, slutt 30. juni neste år.



Derfor er det viktig å benytte dimensjonerende frostsikring med bakgrunn i riktig måleenhet. For beregninger utført i denne oppgaven er det benyttet den av døgn- eller månedstemp. som har resultert i høyest frostmengde, mens Hb018 benytter månedstemp. til sine dimensjoneringer.

**Tabell 5.1:** Beregnet frostmengde for Alta (målestasjon - Alta lufthavn) og Meløy (målestasjon - Glomfjord) vinterårene 1979-2009/2010. Klimadata fra Meteorologisk Institutt, 2014.

Sted	Dimensjonerende frostmengde	Døgntemp. [ $h^{\circ}C$ ]	Månedstemp. [ $h^{\circ}C$ ]
Alta	$F_5$	27833	27087
	$F_{10}$	31880	31209
Meløy	$F_5$	7418	4895
	$F_{10}$	8998	6717

Frostmengden angir mengde minusgrader om vinteren og gir grunnlag for dimensjonering av tykkelse til overbygningen. Frostmengdebegrepet tar derimot ikke hensyn til faktorer som spiller inn på dannelse av islinser.

De tykkeste islinser oppstår når frysefronten står i ro og vann rekker å bli transportert til frysefronten. Ved  $-5^{\circ}C$  og  $-10^{\circ}C$  i ti dager vil det gi samme frostmengde, men ikke samme hurtighet på frostnedtreningen. Frostmengde tar videre ikke hensyn til hvordan frosten fordeler seg over vinteren. Dersom det oppstår en mildværsperiode på vinteren, vises ikke dette i frostmengdeverdien, men vil påvirke telehivutviklingen (Berntsen, 1993). Mengde snø i grøft taes heller ikke hensyn til, og en ujevn frostnedtrengning kan gi ujevne telehiv.

Av hensyn til dette kan samme frostmengde gi ulike telehiv ved samme grunnforhold på bakgrunn av ulikt vinterforløp.



# Kapittel 6

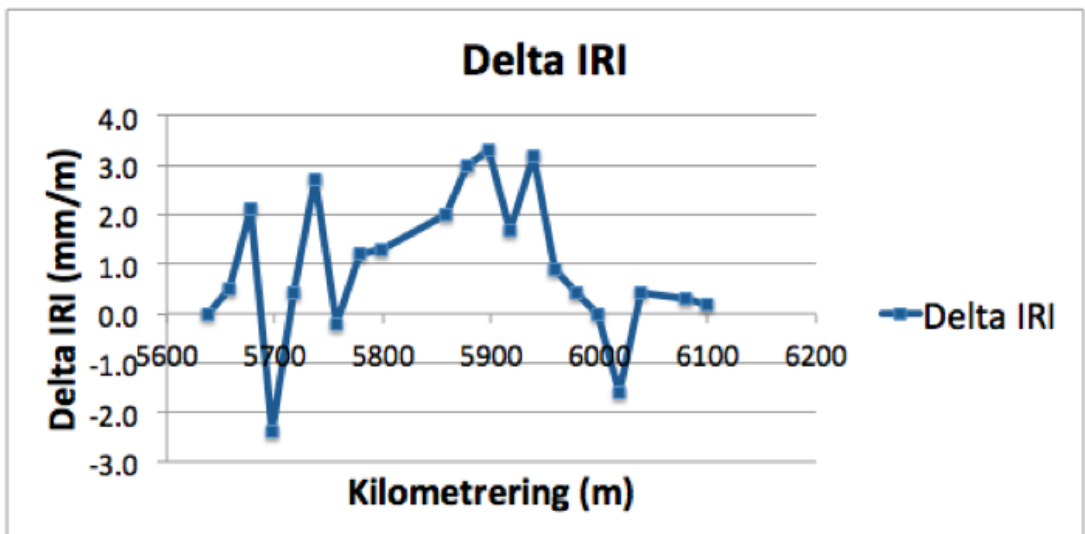
## Sammenstilling av relevante data

Bakgrunnsdata vil i dette kapittelet bli sammenstilt slik at frostsikringstiltakene kan vurderes. Det er av interesse å se nærmere på grenseverdier til finstoffinnhold i pukk og effekt av skumglass, pukk, geonett og utkilinger som frostsikringstiltak.

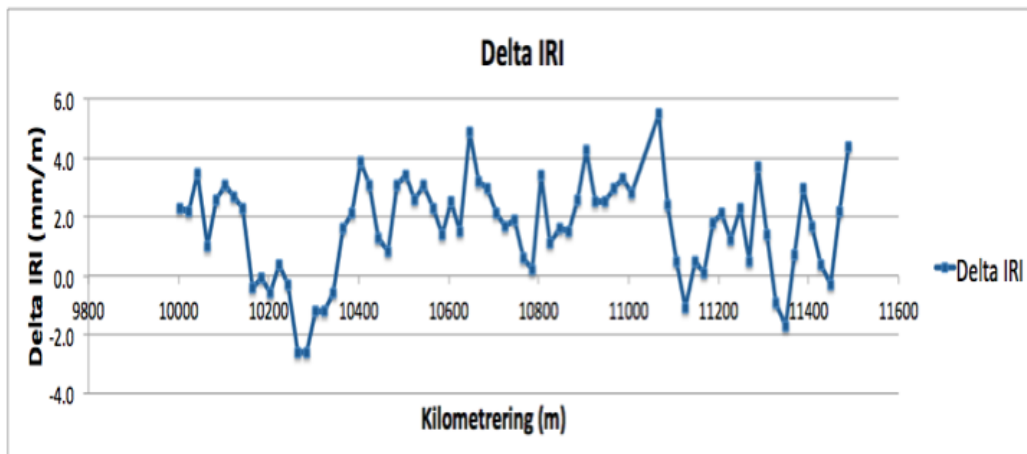
### 6.1 Telehiv etter utbedringer (vinteråret 2012/13)

#### Fv452

Det er gjennomført ViaPPS-målinger for Fv452 henholdsvis august 2012 og mars 2013. Målingene er utført over 20 meters-strekninger, noe som er nødvendig for å kunne fastslå telehiv. Fra disse målingene er det beregnet  $\delta$ -IRI verdier. Disse finnes i figur 6.1 og 6.2. Grafene viser områder med  $\delta$ -IRI verdier høyere enn 0.4 mm/m, noe som gir grunnlag for å fastslå telehiv.



Figur 6.1:  $\delta$ -IRI for Fv452, HP1 - km. 5650 - 6100.



Figur 6.2:  $\delta$ -IRI for Fv452, HP1 - km. 10000 - 115000.

I denne oppgaven er det gjort oppgravninger ved km. 5845, 10525, 10800 og 11050. Fra grafene kan det avleses  $\delta$ -IRI verdier høyere enn 0.4 mm/m ved km. 5845, 10525 og 11050, noe som gir grunnlag for å anslå telehiv. For km. 10800 er  $\delta$ -IRI lavere enn 0.4 mm/m, og avlesning gir ikke grunnlag for telehiv.

### Fv26

For Fv26 finnes det ingen målinger for vinteråret 2012/13 som kan påvise telehiv etter utbedringer, men det er i etterkant påvist telesprekker.

## 6.2 Frostmengde

Frostmengden for vinteråret 2012/13, 2013/14 og et gjennomsnittlig normalt vinterår (måleperiode 1979-2009) vises i tabell 6.1.

Resultatene viser at for 2013/14 har det i Alta vært en vinter godt under normalen, mens for Meløy har det vært en vinter noe over normalen. Vinteren 2013/14 har også vært svært snøfattig, noe som har gitt lite isolasjon og mindre bidrag til ujevnt telehiv på tvers av veg. Utbedringer av Fv26 og Fv452 ble ferdigstilt i 2012 så vinteråret 2012/13 er tatt med for å gi en bakgrunn for tidligere teleproblemer. Det viser seg at for Meløy var vinteren 2012/13 godt over  $F_{10}$ , mens Alta lå omtrent på en normalvinter. Snømengdene var innenfor normalen noe som ga risiko for ujevne telehiv på tvers av veg.

Tabell 6.1: Frostmengder for Alta og Meløy vinteråret 2012/13, 2013/14 og et normalt vinterår (måleperiode 1979-2009). Klimadata er hentet fra Meteorologisk Institutt (2014).

Tidsperiode	Frostmengde			
	Alta		Meløy	
	Måned	Døgn	Måned	Døgn
1979-2009	21756	22599	2540	5373
2012-2013	21024	23320	9125	11846
2013-2014	14600	17558	3577	6448

## 6.3 Undersøkelser av vegprofil og undergrunn

Oppgraving av veg er gjennomført for å kunne ta prøver, måle temperatur nedover i bakken og til å få oversikt over profilet til vegkroppen. Dette er utført på veg med pukke som frostsikring. Prøvematerialet er så framstilt i laboratoriet for å gi grunnlag til vurdering av egenskaper/effekt av finstoffinnholdet.

### 6.3.1 Oppgraving av veg

Oppgraving av veg ved Fv452 og Fv26 er utført når mengden telehiv er antatt å være på sitt maksimale, henholdsvis 12. mars for Fv452 og 25. mars for Fv26. Den dagen oppgravingene ble utført i Meløy var det rundt 0 °C og større mengder regn/sludd, mens i Alta var det -5 °C og noe overskyet.

Oppgravingene er utført ved hjelp av gravemaskin mens prøvetakingen er tatt for hånd og prosedyren er beskrevet under.

1. Først ble asfalten brekt opp før den ble lagt til side.



**Figur 6.3:** Oppbrekking av asfalt før oppgraving.

2. Masser ble så fjernet ned til undergrunnen. Dette ga et tverrprofil av vegkroppen.



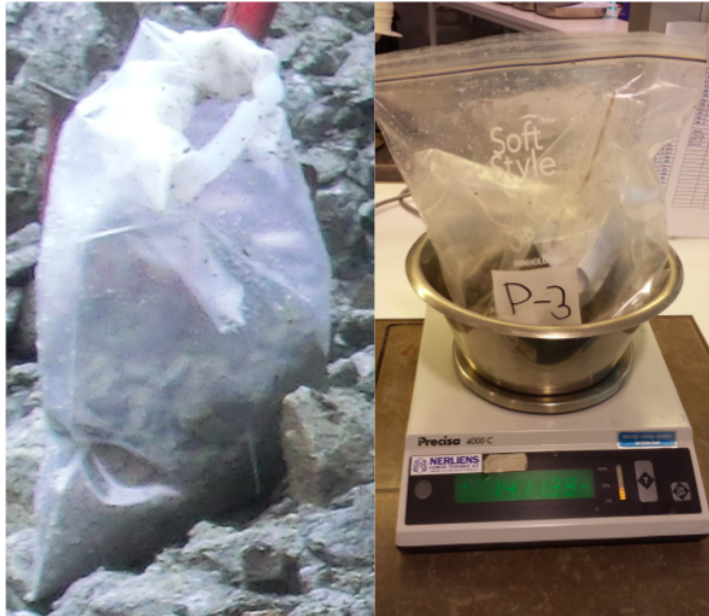
**Figur 6.4:** Utgraving av masser.

3. Prøver ble tatt i frostsikringslag og undergrunn. Prøvetakingen foregikk ved bruk av spade, men der det var frosne masser ble det brukt spett. På grunn av nedbøren og mulighet for prøveforstyrrelser ble prøvene i Meløy tatt like etter at profilet var utgravd, og ved behov ble det for hånd gravd litt inn i profilet.



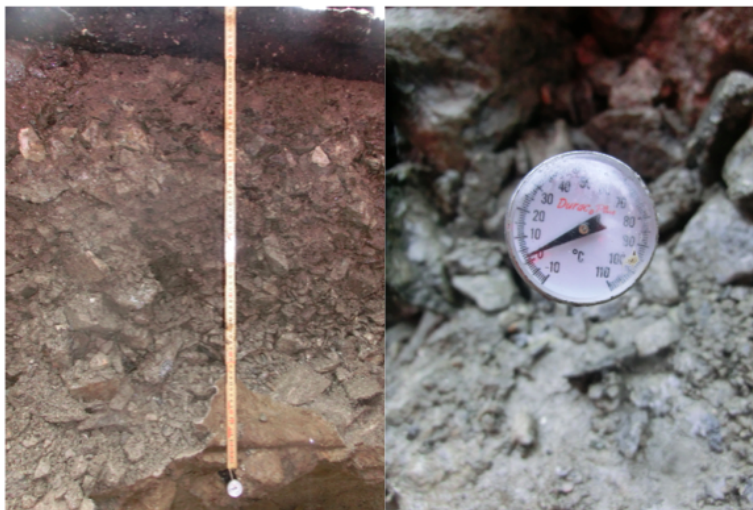
**Figur 6.5:** Prøvetaking i felt.

4. Prøvematerialet ble plassert i tette poser. Til pukkprøvene ble det benyttet store plastsekker, mens vannprøvene ble lagret i dobbelt opp med tette zip-lock poser. For hver prøve ble det notert ned kilometrering, prøvenr., prøvedybde og annen info på en liten lapp. Lappen ble så lagt i en egen lukkbar pose og plassert i tilhørende prøvepose.



**Figur 6.6:** Oppbevaring av prøvemateriale.

5. Tykkelse av asfaltdekke og bærelag, forsterkningslag og frostsikringslag ble avmålt, samt dybde til undergrunn. Det ble gjort temperaturmålinger for å finne frostdybde.



**Figur 6.7:** Til venstre vises et eksempel på måling av strukturer i overbygningen samt dybde til undergrunn. Til høyre vises apparatur brukt til måling av temperatur.\*

\* - Til temperaturmålinger i Alta ble måleapparatet 3M - IR500 benyttet. Dette er et digitalt og veldig presist måleinstrument.

6. Etter oppgraving ble utgravde masser tilbakelagt. Til sommeren vil opprinnelig overbygning bli gjenopprettet og nytt asfaltdekke lagt.



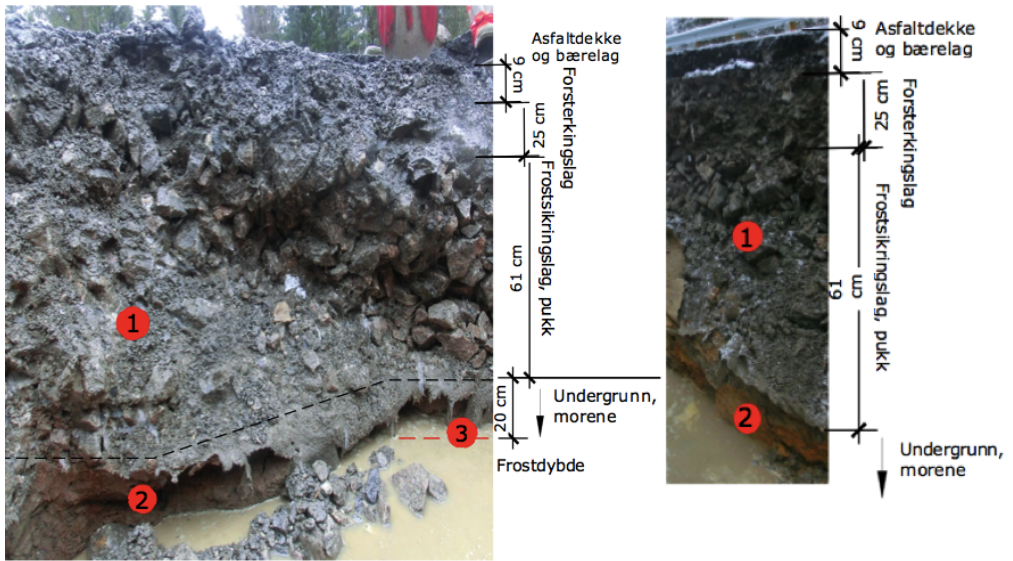
**Figur 6.8:** Tilbakelagte masser etter endt oppgraving.

### 6.3.2 Oppgravingsprofiler

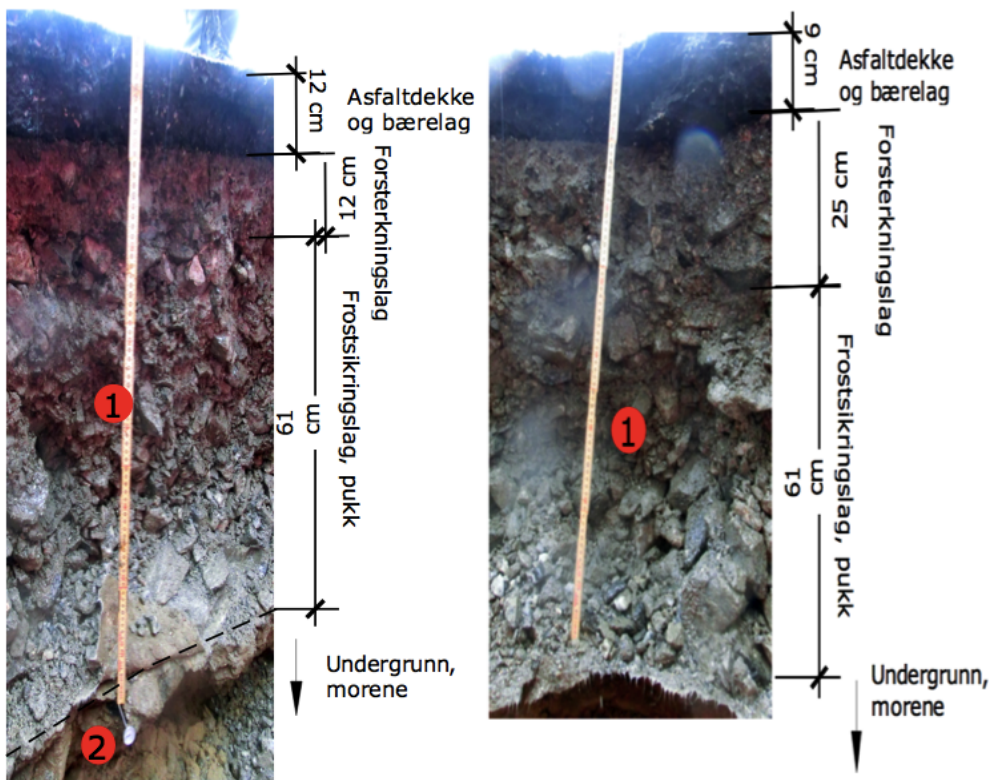
Som tidligere nevnt er oppgraving av veg og prøvetaking utført ved fem lokaliteter. Fire av oppgravingene fant sted i Meløy, og tverrprofil av vegbanen er vist i figur 6.9 og 6.10. Den siste oppgravingen var i Alta og tverrprofil er vist i figur 6.11.

Punkt for uttak av prøver er merket i tverrprofilene med en nummerert rød sirkel. Fra tabell 6.2 beskrives det hvilke laboratorieanalyser som er gjort for de ulike prøvene.

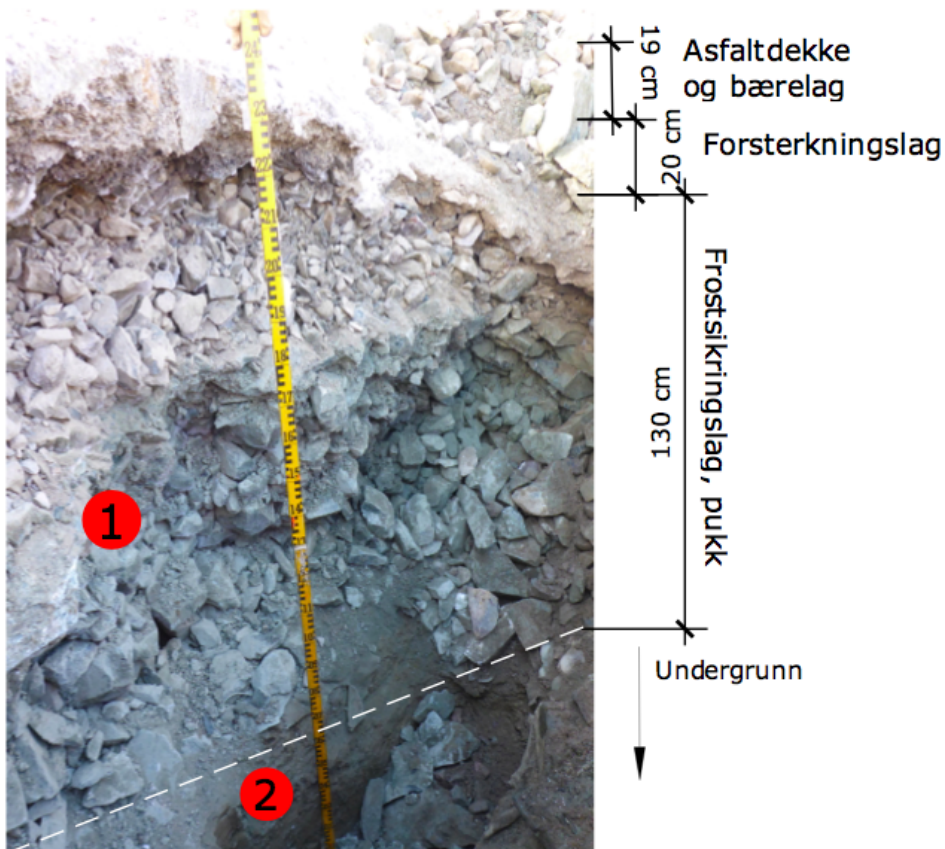




Figur 6.9: Til venstre vises profil og prøvetaking for Meløy 1, mens til høyre finnes Meløy 2.



Figur 6.10: Til venstre vises profil og prøvetaking for Meløy 3, mens til høyre finnes Meløy 4.



Figur 6.11: Profil Alta med prøvetaking.

Tabell 6.2: Laboratorieanalyser for de ulike prøvetakingene.

Navn	Kilometrering	Prøvenummer		
		1	2	3
Meløy 1	HP1 - km 5845	Sikteprøve og vanninnhold	Vanninnhold	Sikteprøve og vanninnhold
Meløy 2	HP1 - km 10525	Sikteprøve	Sikteprøve og vanninnhold	-
Meløy 3	HP1 - km 11050	Sikteprøve og vanninnhold	Sikteprøve og vanninnhold	-
Meløy 4	HP1 - km 10800	Sikteprøve	-	-
Alta	HP1 - km 3360	Sikteprøve og vanninnhold	Sikteprøve og vanninnhold	-

### 6.3.3 Feltobservasjoner

Under feltarbeidet er observasjoner knyttet til frostnedtrengning og telehiv dokumentert. For profil Meløy 1-3 oppstod telesprekker vinteråret 2012/13, og det er ønskelig å kartlegge årsaken. Profil Meløy 4 har ikke hatt teleproblemer og vil være et referanselag.

Det er avgjørende å kombinere feltobservasjonene med resultatene fra oppgraving/prøvetaking med tanke på å øke den helhetlige forståelsen rundt årsaken til telehiv.

For noen av bildene i Meløy vil gravegropen være fylt med vann. Dette vannet stammer hovedsaklig fra nedbørmengdene samme dag som oppgravingen.

#### Profil Meløy 1

Dette profilet hadde fra vinteren før hatt problemer med ujevne telehiv og det var ønskelig å finne årsaken til det.

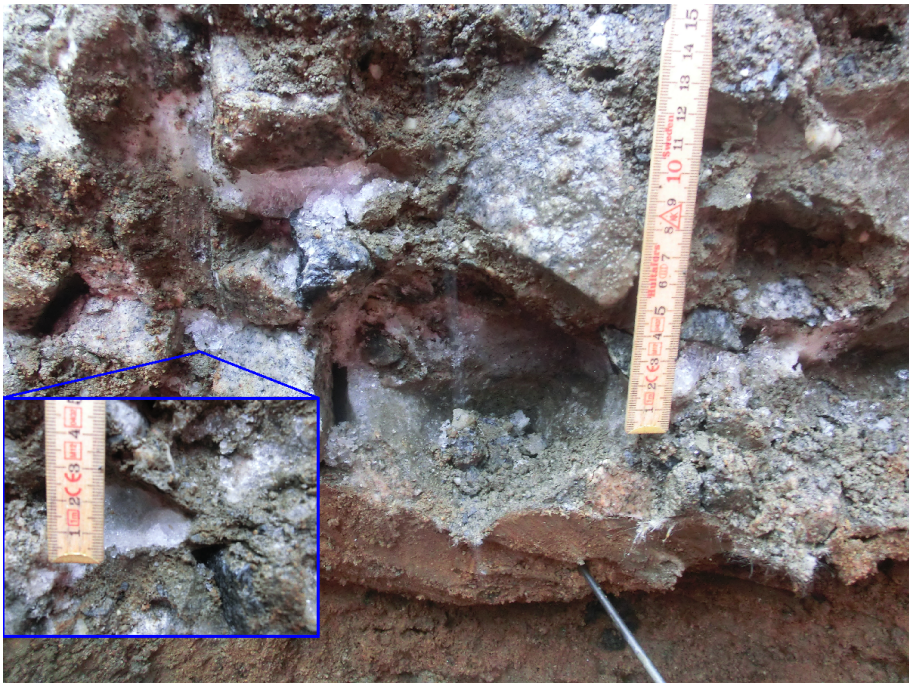
Det ble observert islinser i selve frostsikringslaget, noe som indikerer vannoppsug på grunn av et for høyt finstoffinnhold. I figur 6.13 ser en hvordan finstoffet er ujevnt fordelt i pukklaget, med høyt finstoffinnhold til venstre og minimalt til høyre. Det er nettopp til venstre i frostsikringslaget at islinser ble observert. Slike inhomogeniteter bidrar til ujevn telehiv og i dette tilfellet oppsprekking av veg. I figur 6.12 ser en et islag i stikkrenna som muligens kan ha vært helt tett og bidratt til økt vannansamling ved profil Meløy 1. Fra temperaturmålinger ble det registrert frost 20 cm ned i undergrunnen med en total frostdybde på 115 cm målt fra vegoverflaten.



**Figur 6.12:** Til venstre vises skråning i bakgrunn av profil Meløy 1. Til høyres vises stikkrenne like ved profil Meløy 1.



**Figur 6.13:** Tverrsnitt av profil 1 Meløy. Det er tydelig forskjell i finstoffordelingen til pukklaget.



**Figur 6.14:** Islinser i profil Meløy 1. Islinsene befinner seg like over morenen som er klassifisert T3.



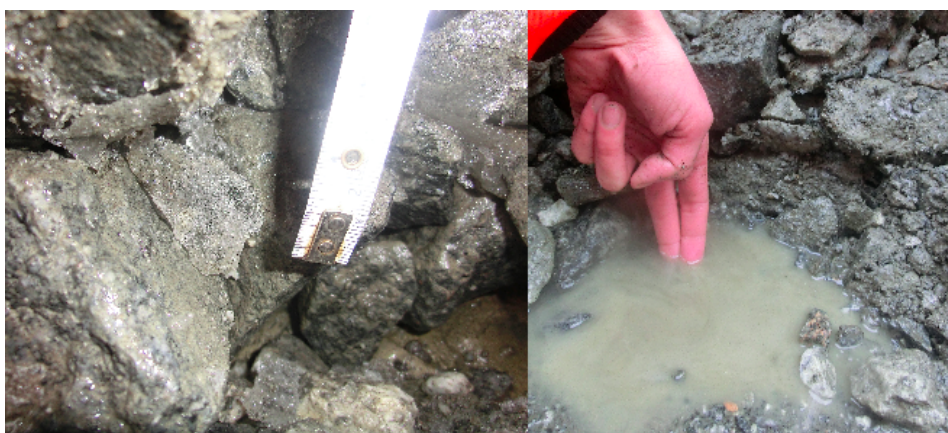
**Figur 6.15:** Langsgående sprekker dannet ved telehiv. Oppgraving av profil Meløy 1 er lokalisert der den nærmeste bilen befinner seg.

### Profil Meløy 2

På bakgrunn av telehiv vinteren før var det forventet å finne islinser. Men forholdene var overraskende tørre, og det ble gravd i bredden i søken etter vanntilgang evt. islinser. Det ble etterhvert funnet isdannelse, men ikke noe som tydet på vannoppsug og islinser. Det viste seg og at på toppen av fiberduken som ligger mellom undergrunn og frostsikringslaget, var det samlet seg et lag av vann med en høyde på omtrent 1.5 cm. Temperaturmåling i undergrunn viste temperaturer over 0 °C.



**Figur 6.16:** Ved oppgraving var undergrunnen overraskende tørr, og i søken etter islinser ble det gravd i bredden.



**Figur 6.17:** Til venstre sees isdannelse. Til høyre vises vannlaget i skillet mellom frostsikringslag/undergrunn.

### Profil Meløy 3

Profilen har tidligere hatt telehiv og det har resultert i en langsgående sprekk på midten av vegen.

Her var fukt/vann i frostsikringslaget frosset. Ellers var materialene tørre i form av ingen tegn på kapillært sug. I et forsøk på å finne grunnvannstand ble det gravd en meter ned i undergrunnen, uten at det ble observert tegn på økt vannmengde. Det var derimot ett vannlag på topp av fiberduken og til tider strømmet vannet ut. Det ble ikke målt frost i undergrunnen.



**Figur 6.18:** Isdannelser i bunn av pukklaget.



**Figur 6.19:** Oppgraving av profil Meløy 3 er lokalisert der mannen i bildet står. Like til venstre, på midten av vegen kan en se langsgående telesprekk.

#### Profil Meløy 4

Denne oppgravingen ble utført der det tidligere ikke har vært observert telehiv. Dette er for å ha et referanselag slik at en muligens kan tolke forskjeller for områder med og uten teleproblemer.

Det var vanskelig å se noen tydelige forskjeller fra profil to og tre. Pukklaget så ut til å ha lik sammensetning og fordeling av materialer, og undergrunnen besto av morene. En forskjell var mangelen på is i pukklaget, noe som kan skyldes manglende vanninnhold. Også i dette profilet ble det observert et vannlag i overkant av fiberduken. Ellers ga temperaturmåling ingen utslag for frost i undergrunnen.



**Figur 6.20:** Oversiktsbilde av tverrsnitt for profil Meløy 4. Her var det tydelig vann i skille mellom undergrunn og pukklag.

#### Profil Alta

Her var det ikke tidligere observert telehiv og oppgraving kunne gi svar på hvorfor.

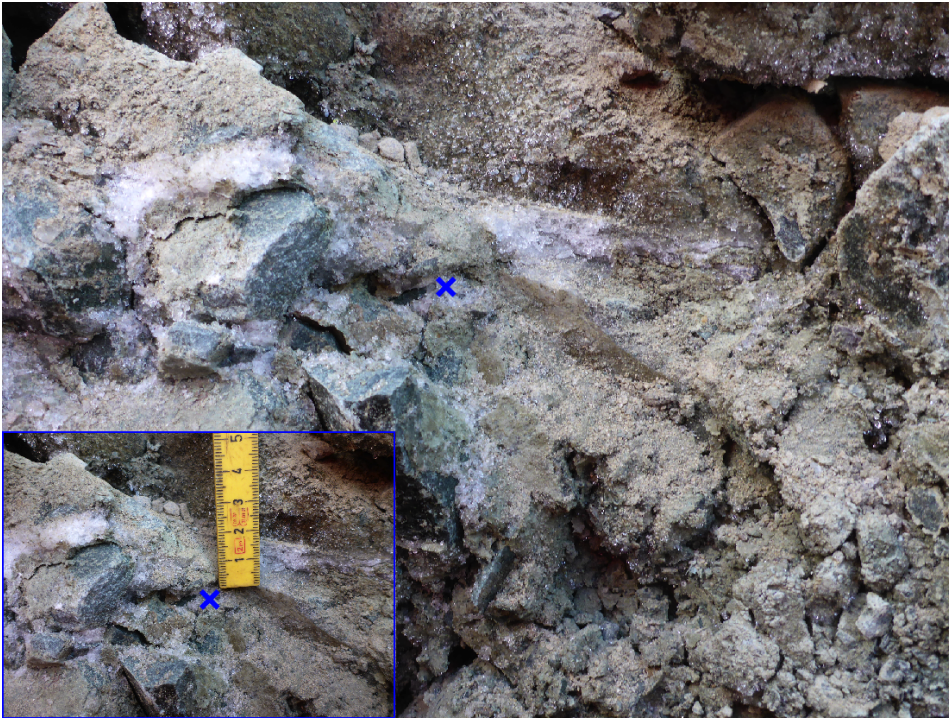
For profilet hadde frosten trengt seg gjennom hele frostsikringslaget, og ned i undergrunnen. Vegoverbygningen hadde en tykkelse på 1.8 m, og det ble gravd videre 75 cm ned i undergrunnen hvor temperaturen ble målt til -5.2 grader. Pukklaget så homogent fordelt ut og alt vannet var utkrystallisert til is. I undergrunnen var det ingen synlig is, men en veldig seig masse som tydet på at det var frossent.

Det er ihvertfall tydelige tegn på at frostsikringslaget ikke har fungert. Med et telefarlig materiale i undergrunnen og antatt vanntilgang pga. under grunnvannsspeil ville det vært rimelig å anta dannelse av islinser.





**Figur 6.21:** Tverrsnitt av profil Alta. Her ble frostfronten aldri funnet.



Figur 6.22: Isdannelse i pukklaget for profil Alta.

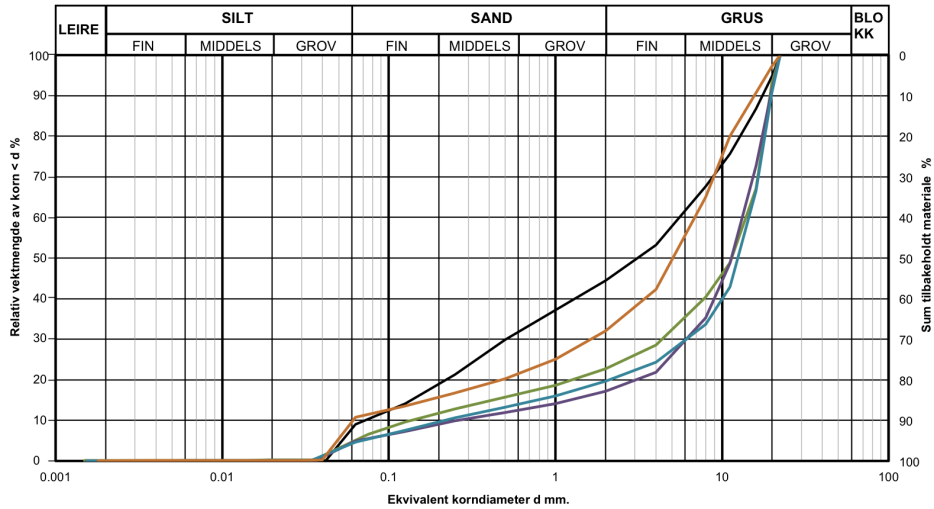
## 6.4 Resultater fra laboratoriearbeid

For analyser av kornfordeling, vann- og finstoffinnhold er vegteknisk og geoteknisk laboratorium på NTNU benyttet. Målet med undersøkelsene har hovedsaklig vært å fastslå andel finstoff  $<0.063$  mm av totalt materiale  $<22.4$  mm, samt telefarlighetsklassifisering. Ved å kombinere resultatene fra lab og feltobservasjoner er målet å se på egenskaper og effekt knyttet til finstoffinnhold i pukklaget.

I pukklaget er det stor forskjell i korndiameter for finstoffet og stein/blokk. Dette gjør det vanskelig å ta prøver som gir et nøyaktig bilde av in-situ forhold. For at de faktiske feltforhold skal være mest mulig bevarte er det derfor tatt prøver på 12-14 kg av pukklaget, hvor senere alt materialet er siktet. For å sikre at mest mulig finstoff blir siktet og veid, er hele prøven først grundig våtsiktet, før samme materiale  $>0.063$  og  $<22.4$  mm er tørrsiktet.

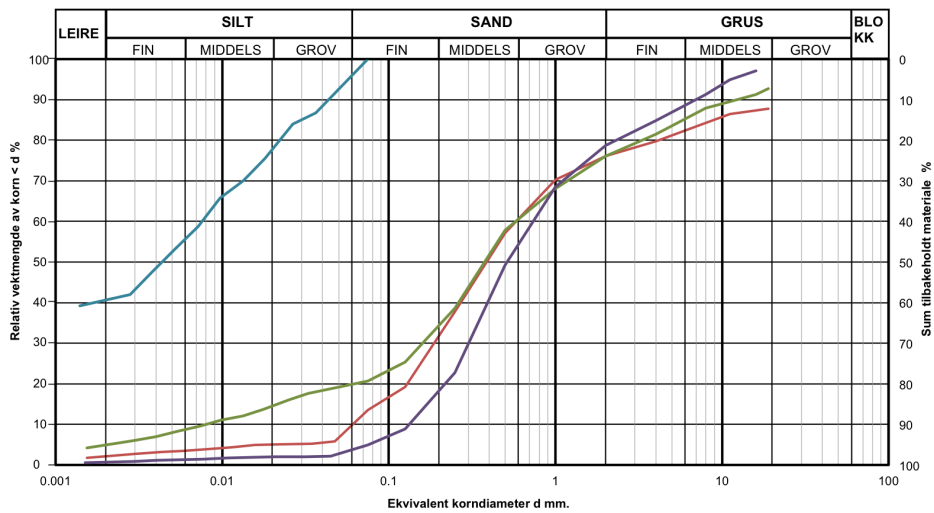
Resultatene brukes så til beregninger av kornfordeling, finstoffinnhold og telefarlighetsklassifisering. Telefarlighetsklassifisering er gjort i henhold til Statens vegvesen (2011).

—Pukk Meløy 1 —Pukk Meløy 2 —Pukk Meløy 3 —Pukk Meløy 4 —Pukk Alta



**Figur 6.23:** Kornfordelingskurve for pukk Meløy 1-4 og Pukk Alta. Det gjøres oppmerksom at kornfordelingen gjelder for total andel materiale <math>< 22.4</math> mm.

—Morene Meløy 3 —Morene Meløy 1 —Morene Meløy 2 —Leire Alta



**Figur 6.24:** Kornfordelingskurve for morene Meløy 1-3 og leire Alta.

**Tabell 6.3:** Klassifisering av prøvemateriale.\*

Navn	Klassifisering av jordart	Gradering	Telefarlighets-klasse
Pukk 1	Sandig grus	Velgradert	T1
Pukk 2	Grus	Velgradert	T1
Pukk 3	Grus	Velgradert	T1
Pukk 4	Grus	Velgradert	T1
Pukk Alta	Sandig grus	Velgradert	T1
Morene 1	Siltig sandig morene	Velgradert	T3
Morene 2	Siltig grusig morene	Medium gradert	T1
Morene 3	Siltig grusig morene	Medium gradert	T2
Alta	Leire	-	T3

\*Det gjøres oppmerksom på at klassifisering av pukk 1 til 5 er basert på materiale mindre enn 22.4 mm. Det er altså ikke en riktig beskrivelse av frostsikringslaget som en helhet.

### 6.4.1 Vann- og finstoffinnhold

Tilgangen på vann og finstoffinnholdet er viktige faktorer for telehiv, og resultatene fra prøvetaking finnes i tabell 6.4. I tabellene henger prøvenummer sammen med tidligere profiler vist i kapittel 6.3.2. I tabellen er f=finstoffinnhold og v=vanninnhold. Det gjøres oppmerksom på at finstoffinnholdet i pukk-prøvene er avregnet materiale <22.4 mm, mens for undergrunn er finstoffinnholdet andel av totalt materiale.

Det er ikke tatt vannprøver av pukk Meløy 2 og pukk Meløy 4 siden det ble oppfattet som vanskelig på grunn av tørre forhold.

**Tabell 6.4:** Vann og finstoffinnhold for de ulike prøvene. (f=finstoffinnhold, v=vanninnhold)

Navn	Prøvenummer		
	1	2	3
Meløy 1	Pukk - f=9%, v=9%	Morene - v=22.4%	Morene - f=23.5%, v=17%
Meløy 2	Pukk - f=6.5%	Morene - f=4.9%, v=6.2%	-
Meløy 3	Pukk - f=4.9%, v=5.9%.	Morene, f=5.6%, v=10.4%	-
Meløy 4	Pukk - f=4.6%	-	-
Alta	Pukk, f=10.8%, v=2.6%	Undergrunn - f=100%, v=25.8%	-

## 6.4.2 XRD

XRD er benyttet til å fastslå mineralogisk sammensetning til prøvene. Det er ønskelig å se om noe av prøvematerialet har en sammensetning av mineraler som vil være med på å påvirke frostømfintligheten.

Tolkning av XRD er utført sammen med Laurentius Tijhuis som er faglig ansvarlig for XRD-laboratoriet på NTNU.

**Tabell 6.5:** Kvantifisering av mineralogisk sammensetning til de ulike prøvene. Alle tall er i prosent av total andel mineraler.

	Quartz	Plagio- klas	Glim- mer	Felt- spat	Klor- itt	Pyrok- sen	Horn- blende	Kal- sitt	Laumon- titt	Epi- dot
Pukk Meløy 1	19	31	15	16	4	5	8		2	
Pukk Meløy 2	19	31	15	10	4	6	10	3	2	
Pukk Meløy 3	17	22	15	11	6	5	7	14	3	
Pukk Meløy 4	20	26	15	12	6	5	9	5	2	
Pukk Alta	6	18	6	1	22	1	26	12		8
Morene Meløy 1	15	37	18	23	2	2	3			
Morene Meløy 2	25	24	22	11	4	3	11			
Morene Meløy 3	23	31	18	16		5	7			
Leire Alta	19	36	8	8	7	2	17		1	2

## 6.5 GPS-målinger

GPS-målinger er utført for å se på effekt av ulike frostsikringstiltak. Målingene ble i første omgang utført juni 2013, før de samme punktene ble hentet inn igjen i slutten av mars 2014. Ved å innhente samme x og y koordinat finnes den vertikale forskjellen fra sommer til vinter, og en positiv endring vil kunne tolkes som telehiv.

Det vil alltid være et måleavvik ved bruk av satellitter. Som tidligere nevnt er det benyttet en GPS med høy presisjon, og målingene er innhentet med et krav til usikkert på maksimalt  $\pm 5$  cm. Men fra anslag basert på egne observasjoner av usikkerhet for hvert innmålte punkt er usikkerheten ved måling for 85% utført med en maksimal usikkerhet på  $\pm 2$  cm, 10% med  $\pm 3$  cm og 5% maksimalt  $\pm 5$  cm. Innmålt høydeforskjell har og vist seg å stemme bra med feltobservasjoner.

GPS-målingene er gjort for syv strekninger langs Fv26. Strekningene varierer med lengde på 100 til 600 m og seks av syv strekninger gjennomgikk utbedringer i 2012.

Data fra vertikal telehiv brukes så til å se på effekten av de ulike tiltakene. Resultatene fra målingene er plottet i excel hvor vertikal telehiv sees som funksjon av lengderetningen

til vegbanen. I tillegg er GPR-bilder fra målinger høst 2013 lagt som bakgrunnsbilde på plottet, slik at telehivet sees i forhold til veg-overbygningen. For tolkning av resultatene henvises det til figur 5.2, hvor aksene på graf og tolkning av overbygning er forklart.

Tabell 6.6 oppsummerer et gjennomsnitt av målte høydeforskjell fra sommer til vinter for HS, VS og CL. Sett i retning av økende kilometrerer betyr forkortelsene HS=høyre side av veg, VS=venstre side av veg og CL=senterlinjen. I tabellen er forskjellen notert som meter, mens antall målinger for hvert snitt står i parentes.

Dataene kan gi et innblikk i telehiv langs strekningene, men det er viktig å ikke gjøre isolerte tolkninger av data basert på tabell 6.6. Dette er fordi at telehiven ikke er jevnt fordelt, som for eksempel ved stikkrenner. Derfor må de gjennomsnittlige dataene kombineres med utviklingen til telehivet langs strekningen/ved de ulike strukturene. Det er i tillegg gjort fortløpende individuelle vurderinger av telehivet. Målinger med ulogisk avvik som f.eks et plutselig hopp fra positiv til stor negativ verdi eller målinger som ikke passer overens med feltobservasjoner neglisjeres i den endelige vurderingen.

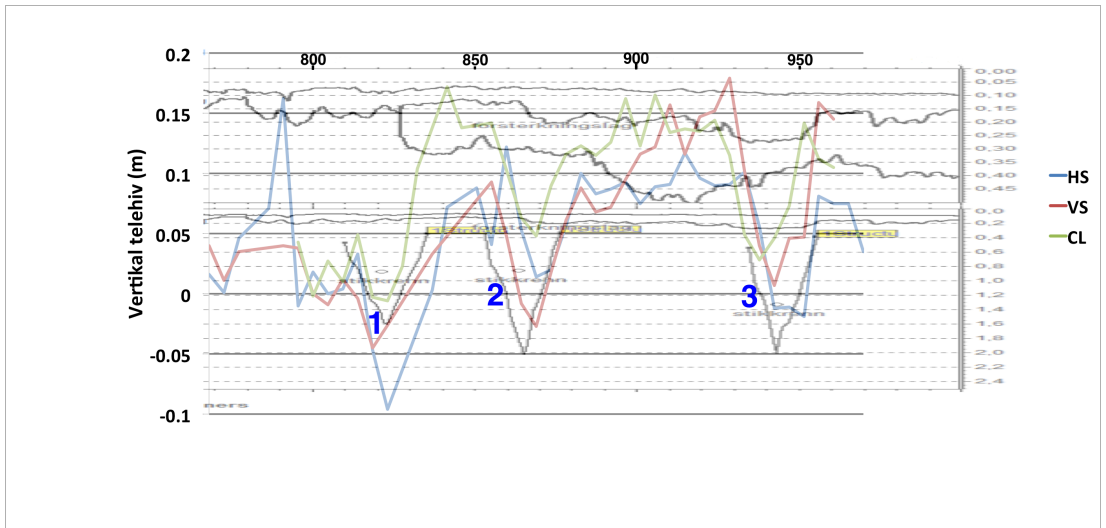
**Tabell 6.6:** Gjennomsnitt av GPS-målinger ved Fv26. Antall målinger står i parentes.

Strekning / kilometrerer	Frostsikret	HS [m]	VS [m]	CL [m]	Gj.snitt. avvik for nord-koordinat [m]	Gj.snitt. avvik for øst-koordinat [m]
1 / km. 760 - 970	Nei. Kun forsterket.	0.050 (41)	0.060 (36)	0.086 (37)	0.044 (144)	0.051 (144)
2 / km. 1990 - 2110	Ja. Skumglass.	0.042 (22)	0.033 (25)	0.033 (25)	0.030 (71)	0.032 (71)
3 / km. 2775 - 2880	Forsterket og plastnett.	0.025 (22)	0.023 (23)		0.029 (45)	0.019 (45)
4 / km. 3290 - 3830	Ja. Sprengt stein (pukk).	0.038 (111)	0.032 (121)	0.049 (105)	0.015 (337)	0.016 (337)
5 / km. 4255 - 4610	Nei.	0.045 (74)	0.063 (73)	0.033 (71)	0.020 (218)	0.024 (218)
6 / km. 5300 - 5365	Nei. Kun forsterket.	0.013 (14)	0.000 (12)	0.023 (13)	0.017 (39)	0.017 (39)
7 / km. 5550 - 5615	Forsterket og plastnett.	0.065 (13)	0.106 (14)	0.066 (14)	0.023 (41)	0.021 (41)

Kommentar til gjennomsnittlig avvik for GPS-målinger:

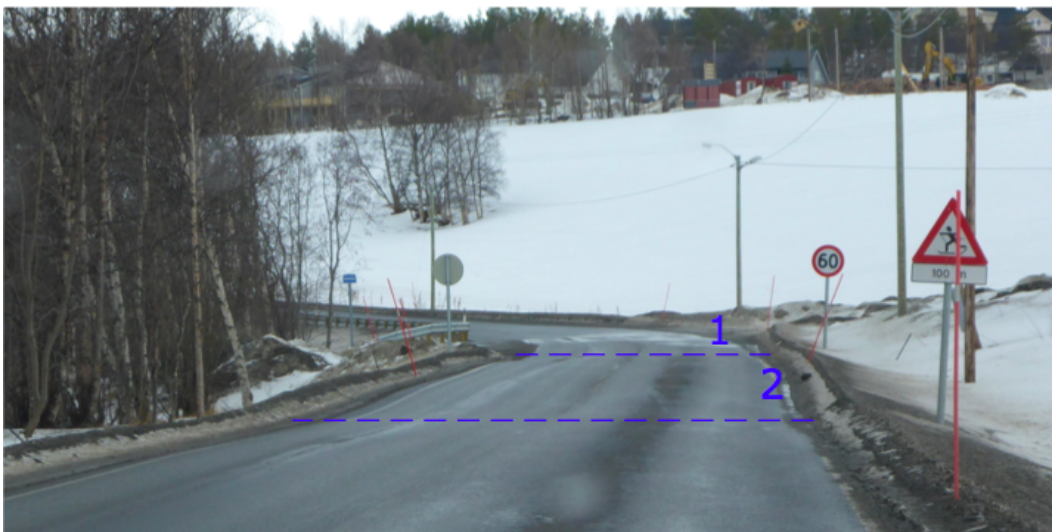
Et vektet snitt av avviket for nord-koordinater gir 2.3 cm for 895 målinger, mens tilsvarende for øst-koordinater gir 2.5 cm. Med såpass lite avvik og så mange målinger betraktes resultatene som nøyaktige og relevante for oppgaven.

## Strekning 1 - forsterket



**Figur 6.25:** På bildet vises strekning 1 som er forsterket, men ikke frostsikret.

Fra tabell 6.6 kan vi se at strekningen har telehiv. Dette telehivet er ikke jevnt fordelt, noe figur 6.25 viser. En kan se klare konturer av hvordan telehivet øker i for- og etterkant av stikkrennene med et vertikalt telehiv opp mot 18 cm. Stikkrennene i figur 6.25 som er merket 1, 2 og 3 er også avmerket på feltbildene under.

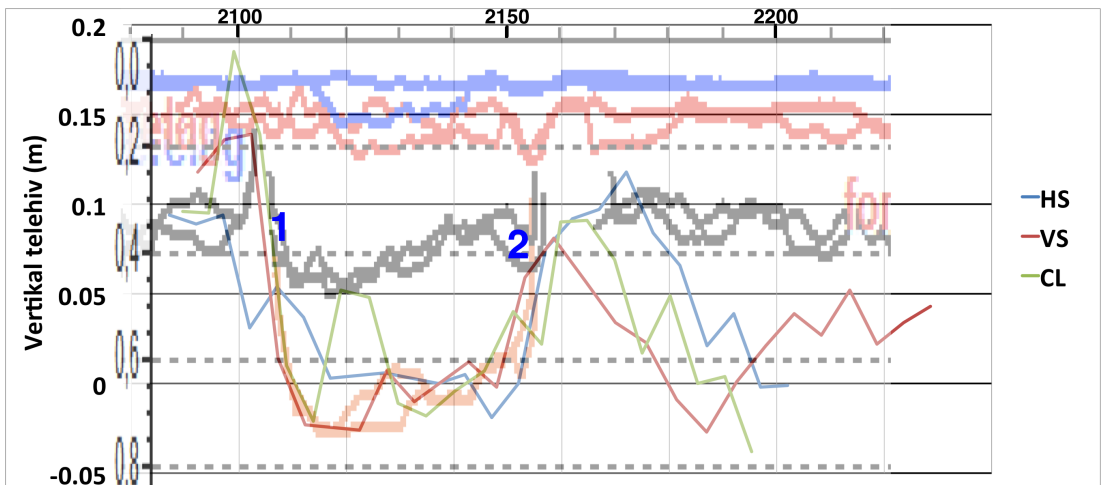


**Figur 6.26:** Oversiktsbilde over første halvdel av strekning 1.



Figur 6.27: Oversiktsbilde over siste del av strekning 1.

## Strekning 2 - skumglass



Figur 6.28: På bildet vises strekning 2 som er frostsikret med skumglass. Avslutningen av skumglasset er merket med 1 og 2.

For strekningen hvor det er frostsikret med skumglass er det gjennomsnittlig sett ikke målt telehiv. Det er derimot målt store telehiv ved begge avslutningene av skumglasset. På figur 6.28 sees avslutning for skumglasset, hvor overbygningen går over til forsterkning (ref. figur 5.11). Det er her målt markante telehiv på opp mot 18 cm, med et snitt på 10-13 cm (tabell 6.6). Avslutningene av skumglass-fyllingen er vist i figurene under.

Siden skumglasset ikke var tolket riktig på prosessert GPR-profil er det benyttet avlesning fra GPR-rådata i figur 6.28. Det kan derfor se noe rotete ut, og hele rådata filen finnes i vedlegg 6.





**Figur 6.29:** Ujevnhet på veg ved avslutning av skumglass-fylling (km. 2105).



**Figur 6.30:** Avslutning av skumglass-fylling (km. 2105) avbildet fra høyre side av veg.

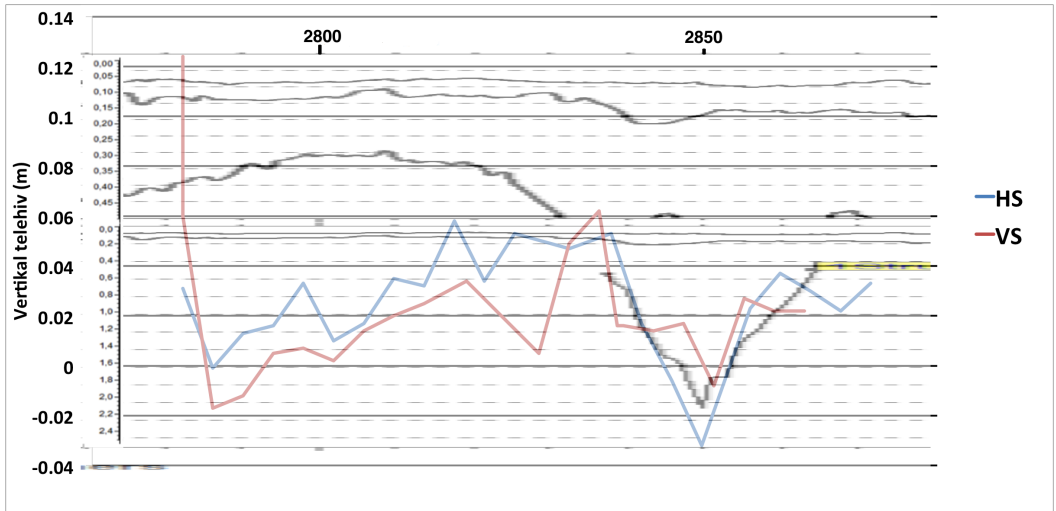


**Figur 6.31:** Telehiv sett fra motsatt side (i økende hp-retning).Sprekken i forkant er antatt å stamme fra det ujevne telehivet ved avslutning av skumglass-fylling.



**Figur 6.32:** Mindre ujevnhet i vegbanen ved avslutning av skumglass-fylling (km. 2155).

### Strekning 3 - forsterkning og plastnett



**Figur 6.33:** På bildet vises strekning 3 som er frostsikret med plastnett.

Fra tabell 6.6 avleses gj.snittlig telehiv på rundt 2.5 cm. Figur 6.33 viser at dette telehivet er størst i forkant av stikkrenner, med et totalt hiv på 6 cm. Dette kan være med på å forklare bakgrunnen for de langsgående sprekkene i figur 6.35. Sprekkene kan også ha oppstått en tidligere vinter med større frostmengde, på grunn av at sidevegen har vært isolert av sne eller pga. ujevne grunnforhold med tungtrafikk fra sideveg inn på Fv26 (Hoff, 2014).

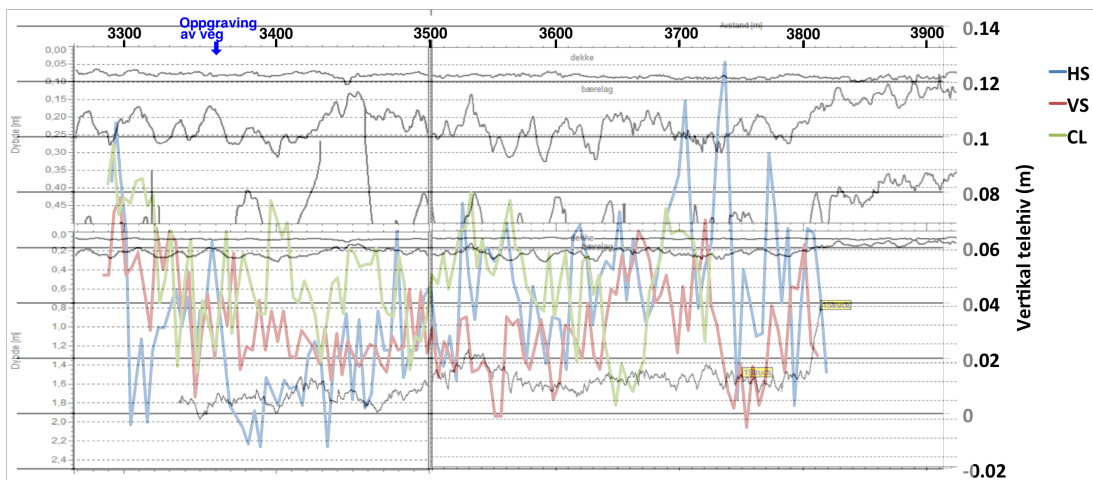


**Figur 6.34:** Oversikt over strekning 3. Bildet er tatt fra startpunkt for GPS-målingene og ser i retning av økende kilometrerung



Figur 6.35: Oppsprekking av veg langs strekning 3. Sprekkene strekker seg fra km. 2810 -2820.

## Strekning 4 - puk



Figur 6.36: På bildet vises strekning 4 som er frostsikret med puk.

Strekning 4 har et gj.snittlig vertikal televiv på 3-5 cm (tabell 6.6). I figur 6.36 kan en se at televivet er forholdsvis jevnt fordelt over strekningen. Dette passer bra med observasjonene fra felt med en jevn veg uten tydelige televiv.

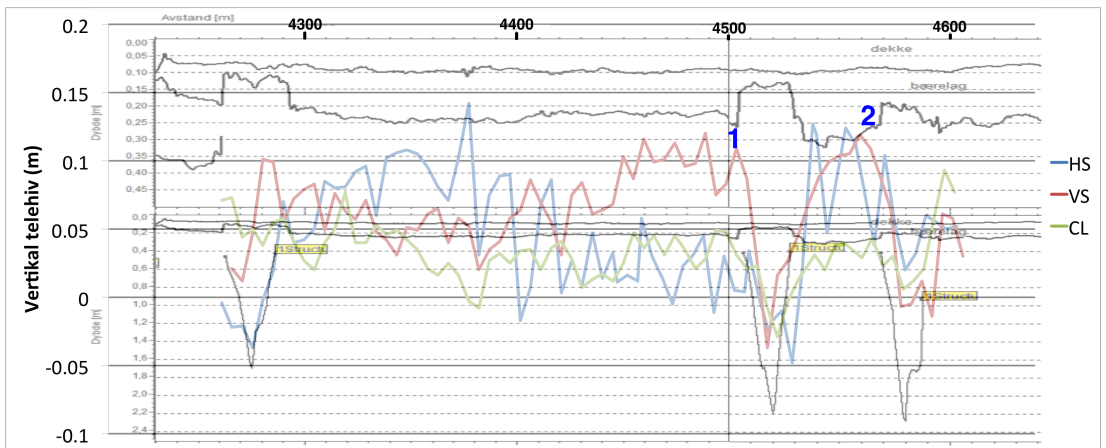
GPS-målinger fra lokalitet til oppgraving av veg viste televiv på 0.02. Det ble altså ikke

funnet noe tegn på islinser ved oppgraving, men en forklaring på mulig telehiv vil være dannelse av islinser lenger ned i undergrunnen eller pga. utfrysing av vann i porene. Det er også en måleusikkerhet på  $\pm 2$  cm. -  $\pm 5$  cm. så det trenger ikke være noen reel endring i høydemålingen.



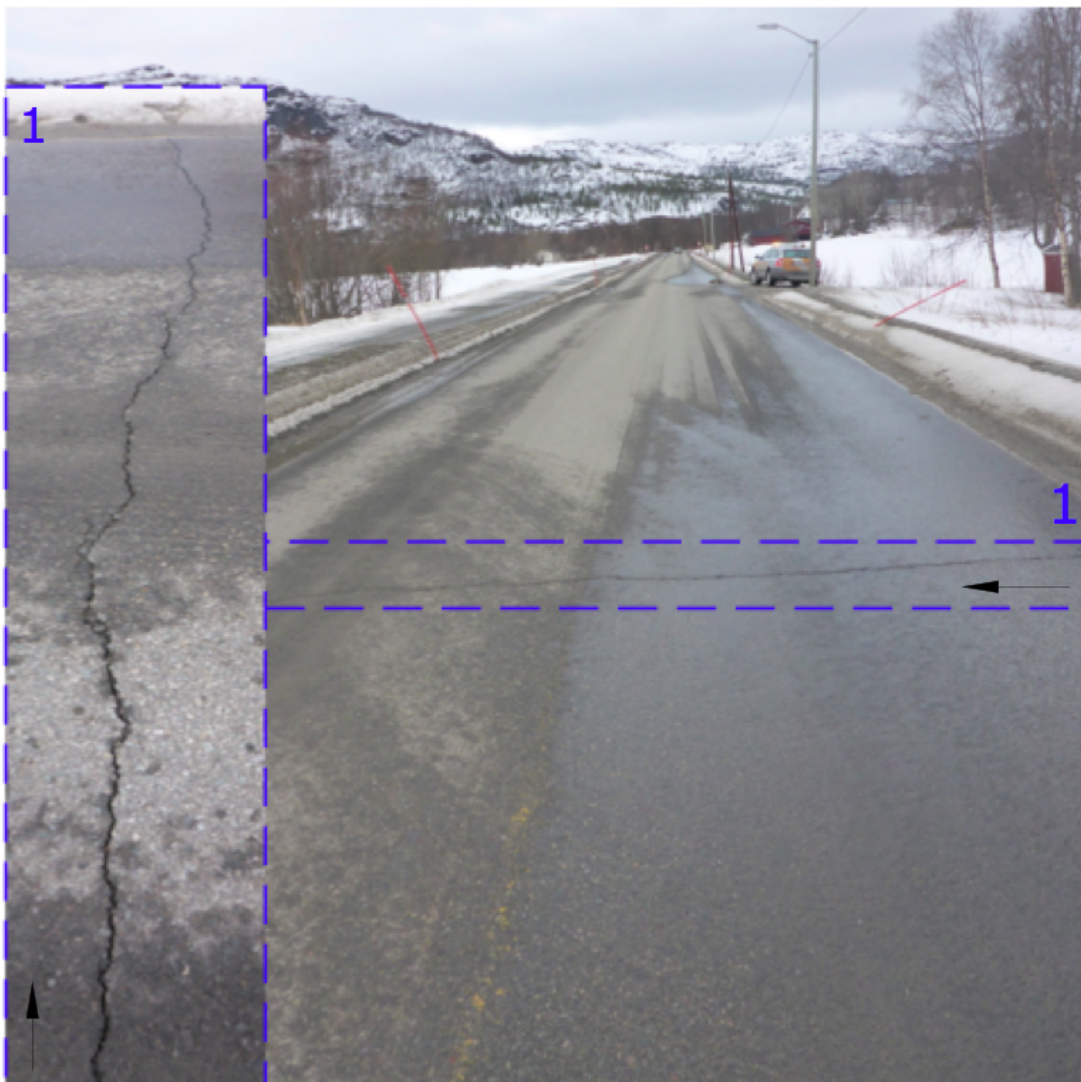
**Figur 6.37:** Til venstre sees strekning 4 sett fra km. 3300 og i retning økende kilometrering. Rett bak 50 skiltet på venstre side av veg ble oppgravingen utført. Bildet til høyre viser en oversikt over det topografiske landskapet øst for vegbanen.

## Strekning 5 - forsterkning



**Figur 6.38:** På bildet vises strekning 5 som ikke er frostsikret.

Gjennomsnittlig vertikal telehiv er fra 3-6 cm. Dette telehivet er ikke jevnt fordelt, og fra figur 6.37 ser en avvik mellom HS og VS på 5 cm for kilometrering 4300 - 4500 km. Samtidig er det ujevnt telehiv i forbindelse med stikkrennene. Det er ikke målt telehiv i overkant av stikkrennene, men i utkilingen øker dette opp til 10 cm. De ujevne telehivene rundt stikkrenner har gitt oppsprekking av veg som vist i figur 6.39 og 6.40.

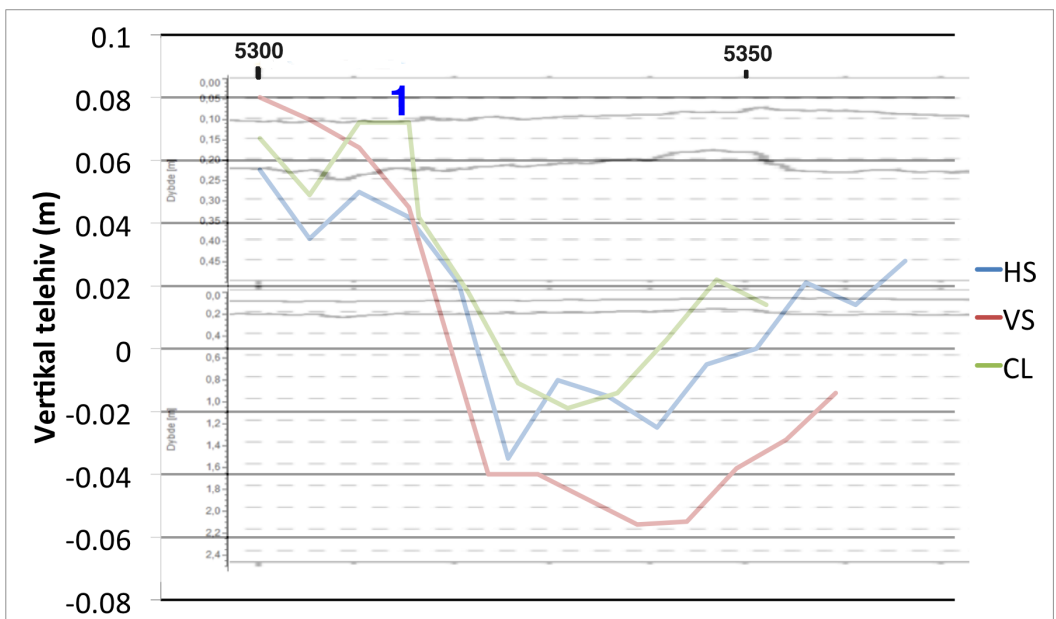


**Figur 6.39:** Telesprekk like før stikkrenne. Sprekken ligger ved km 4500.



Figur 6.40: Telesprekk mellom to stikkrenner. Sprekken ligger ved km 4560.

## Strekning 6 - ikke utbedret



Figur 6.41: På bildet vises strekning 6 som verken er frostsikret eller forsterket.

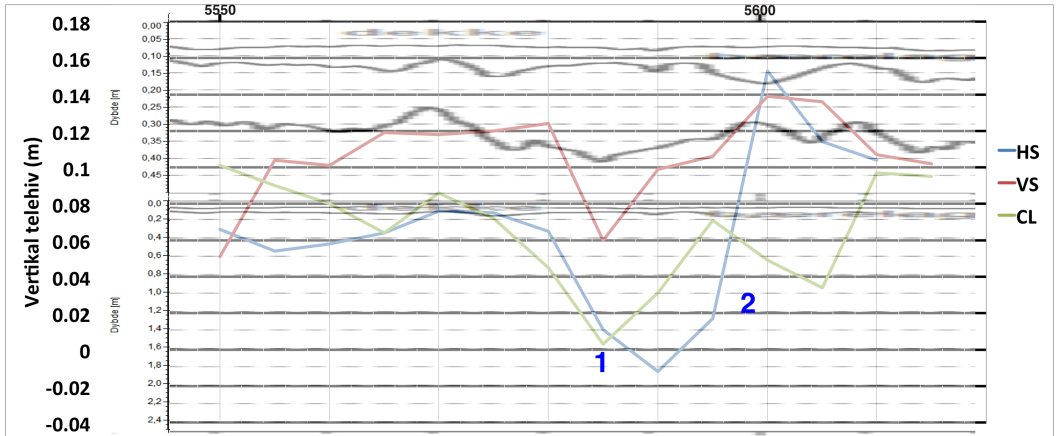
For strekning 6 er gj. snittlig telehiv 0-2.3 cm, men dette er ikke jevnt fordelt hiv. I figur 6.41 er det et markant høyere telehiv merket med 1. Fra feltobservasjoner skal det være en stikkrenne her, noe som stemmer bra med det ujevne telehivet langs veien. Det er sannsynlig at sprekk fra figur 6.42 stammer fra dette ujevne telehivet.



**Figur 6.42:** Telesprekk i front av stikkrenne. Sprekken ligger ved km 5315.



## Strekning 7 - forsterkning og plastnett

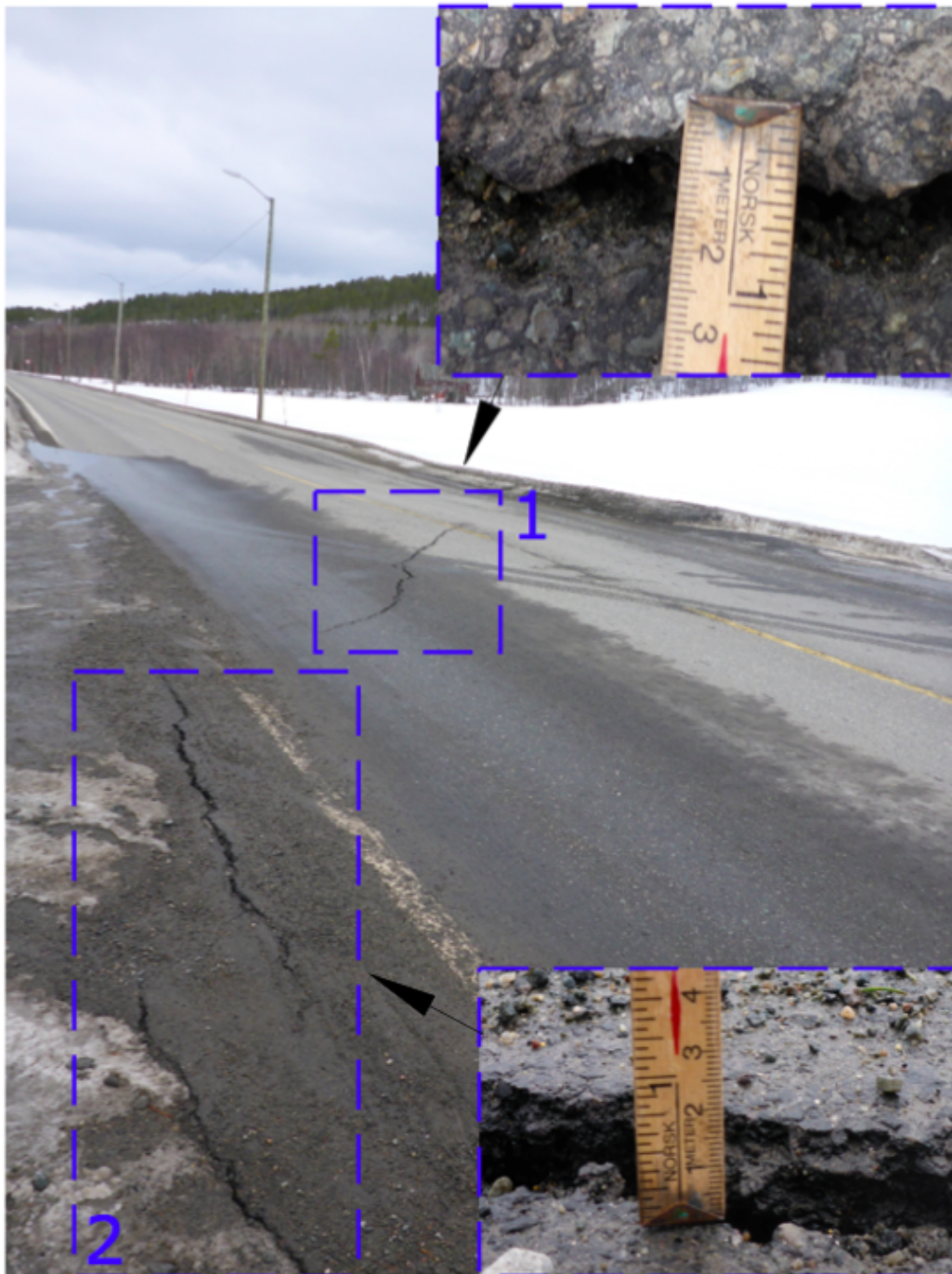


**Figur 6.43:** På bildet vises strekning 7 som er frostsikret med plastnett.

Det er et tydelig telehiv på strekning 7, noe vi ser både fra tabell 6.6 og figur 6.43. Det er et ujevnt fordelt hiv både på langs og tvers av vegen som antas å ha ført til de markante oppsprekningen i figur 6.45.



**Figur 6.44:** Oversiktsbilde for strekning 7. Sprekker finnes ved første avkjørsel, like etter vandammen.



**Figur 6.45:** Tverrgående sprekk 1 går fra km 5885-5590. Langsgående sprekk 2 går fra km 5590-5595.

# Vurdering av effekt for de ulike frostsikringsmetoder

## 7.1 Krav til frostsikring ved Hb018

I tabell 7.1 er frostsikringskrav fra håndbok 018 sammenlignet med dimensjonert tykkelse av overbygningen. Det viser seg at den dimensjonerte tykkelsen i byggeplanen ikke er i henhold til det som kreves for en frostfri veg, verken for vinteråret 2013/14 eller dimensjonerende frostmengde  $F_5$ . Det er derfor forventet frostnedtrengning i undergrunnen med muligheter for telehiv.

**Tabell 7.1:** Krav til dimensjonering av frostsikringslag i henhold til Hb018. Det er i tillegg sammenlignet med krav til frostsikrings-lag gitt frostmengder for vinter 2013/14.

Frostsikringslag	Frostmengde (2013/14)	Krav til frostsikring (2013/14) <sup>1</sup>	Frostmengde ( $F_5$ )	Krav til frostsikring ( $h_5$ )	Tykkelse frostsikring fra byggeplan
Pukk Meløy	11000 h°C	133 cm	12000 h°C	140 cm <sup>2</sup>	100 cm
Pukk Alta	26000 h°C	220 cm	33000 h°C	253 cm <sup>3</sup>	180 cm
Skumglass Alta	26000 h°C	55 cm	33000 h°C	67 cm	50 cm

<sup>1</sup> - Frostmengde 2013/14 er beregnet som summen av frostmengde luft og tilleggseffekt fra stråling.

<sup>2</sup> - På FV452 er det ikke tilstrekkelig ÅDT til at det skal dimensjoneres etter Hb018. Dimensjonering etter  $F_5$  er tatt med for å gi en forståelse av hvilke tykkelser et frostsikringslag ville trengt for å unngå telehiv ved kaldere vintre.

<sup>3</sup> - Strekningen hvor pukk Alta er brukt som frostsikring har fartsgrense på 50 km/t. Det er altså ikke et dimensjonerende krav fra Hb018 for frostsikring, men en anbefaling om sikring etter Hb018.

## 7.2 Beregning av frostdybde

Frostdybde er beregnet for å ha en teoretisk tilnærming til målinger og observasjoner i felt. Resultatene for frostdybder viser seg å stemme forholdsvis bra med resultater fra feltarbeid.

Frostdybden er beregnet ut fra frostmengden på en vegoverflate (frostmengde i luft samt tilleggseffekt fra stråling) for vinteren 2013/14. Bakgrunnen for beregning av frostdybden er hentet fra Øistein Johansen (1976) og framgangsmåten følger under.

For oppgravingene består overbygningen av et asfalt/bærelag, forsterkningslag, frostsikringslag og undergrunn. Dette innebærer en lagdelt konstruksjon med ulike frysemotstand. Dette taes hensyn til i beregningene og en eventuell frostdybde ned i undergrunnen beregnes.

1. Først fastslås tykkelse av de ulike lag i overbygningen, tørr romvekt, vanninnhold, varmeledningsevne og frysevarme. Valg av materialparametre for overbygningen og undergrunn finnes i vedlegg 2.

Frysevarme,  $L$ , er latent varme ved frysing av vann i grunnen per volumenhet av grunnen ( $J/m^3$ ) og finnes ved:

$$L = \frac{w}{100} * \rho_d * l \quad (7.1)$$

hvor  $w$  er vanninnhold (%),  $\rho_d$  er tørr romvekt ( $kg/m^3$ ) og  $l$  er frysevarme for vann ( $93 Wh/kg$ ).

2. Fra frostmengden i luft og årsmiddeltemperaturen finnes vinteramplituden,  $\vartheta_{va}$ , og deretter frostmengden for vegoverflaten. Til dette benyttes figur vist i vedlegg 3.

3. Watzingertall,  $W_t$ , og jordvarme,  $Q_o$ , finnes fra figur i vedlegg 3. Når både  $R_{max}$ ,  $Q_o$  og  $W_t$  er fastslått kan jordens frostmotstand,  $E$ , beregnes. For beregning av  $R_{max}$  og  $E$  ( $h^\circ C$ ) benyttes følgende formler:

$$R_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Z_i}{\lambda_i} \quad (7.2)$$

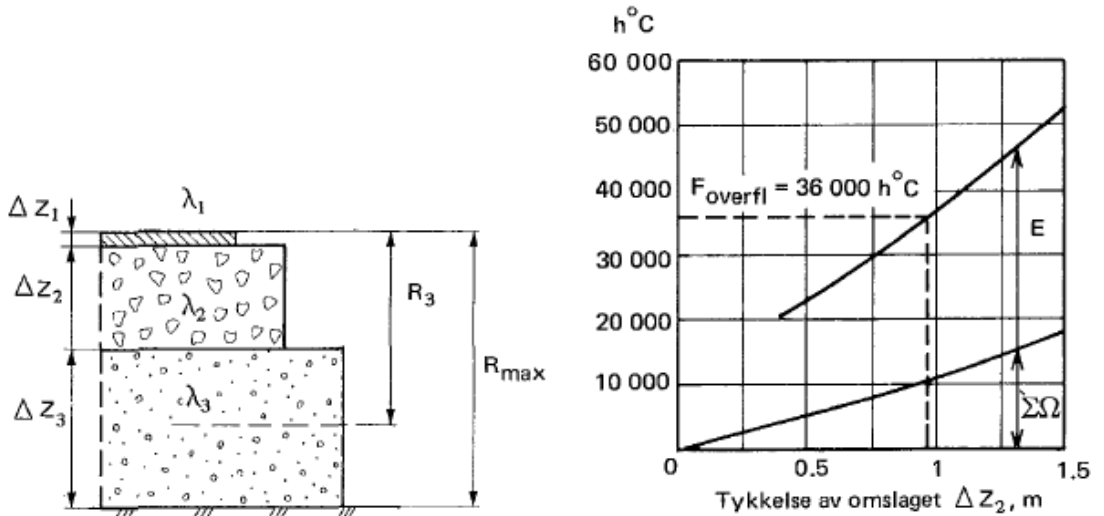
hvor  $R_{max}$  er varmestrømmotstand ved største frostdybde ( $m^2K/W$ ),  $\Delta Z$  er lagtykkelsen (m) og  $\lambda$  er varmeledningsevnen ( $W/mK$ ).

$$E = W_t * R_{max} * Q_o \quad (7.3)$$

4. Frysemotstand,  $\Omega_n$  ( $h^\circ C$ ), for den lagdelte konstruksjonen beregnes med følgende formel:

$$\Omega_n = L_n \Delta Z_n \left( \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta Z_i}{\lambda_i} + \frac{\Delta Z_n}{2\lambda_n} \right) \quad (7.4)$$

5. Beregning av frostdybde er utført med regneark i excel basert på punkt 1. - 4. Først beregnes de ulike leddene før det hele løses grafisk for ulike tykkelser av undergrunnen. Dette er vist i figur 7.1, med summen av lagenes samlede frysemotstand og jordvarmens frostmotstand som funksjon av dybden til undergrunnen. Fra grafen kan en ved kjent frostmengde avlese hvor dypt frosten har trengt ned i undergrunnen. I vedlegg 3 er det vist eksempler på regneark for frostdybder i Meløy (pukk) og Alta (skumglass).



**Figur 7.1:** Til venstre vises frysemotstand for en lagdelt konstruksjon. Til høyre vises grafisk løsning av frostdybden.

I utregningene er det antatt at alt vann i jordmaterialene fryser ut. Som beskrevet tidligere er dette en forenkling, som i mange tilfeller ikke er holdbar, da vannet i finkornete materialer fryser ut over et temperaturintervall (ref. figur 2.9).

## 7.2.1 Frostdybder - teoretiske verdier og feltmålinger

De teoretiske frostdybdene er vist i tabell 7.2 og de avviker noe fra feltmålinger. Avviket viser seg å kunne forklares ut fra feltobservasjonene, og resultatene er diskutert etter tabellen.

**Tabell 7.2:** Teoretiske og målte frostdyber for ulike vegiltak i sammenheng med telefarlighet og observert telehiv.

Type tiltak	Målt frostdybde i felt (under frostsikringslag)	Teoretisk frostdybde	Telefarlighetsklasse undergrunn	Observert tegn på telehiv under feltarbeid
Pukk Meløy 1	20 cm	12 cm	T3	Ja. Oppsprekking av asfalt
Pukk Meløy 2	Ingen	23 cm	T1	Antydning. Oppsprekking av asfalt.
Pukk Meløy 3	Ingen	33 cm	T2	Ja. Oppsprekking av asfalt.
Pukk Meløy 4	Ingen	23 cm	Antatt T1/T2	Nei.
Pukk Alta	75 cm+	40 cm	T3	Nei.
Skumglass Alta (siltig leire)*	Ikke målt.	22 cm	Antatt T3	Nei. Kun ved avslutning.
Forsterkning (siltig leire)*	Ikke målt.	135 cm	Antatt T3	Ja. Oppsprekking av asfalt.
Forsterkning (sand*)	Ikke målt.	180 cm	Antatt T2/T3	Ja. Oppsprekking av asfalt.

\* - materiale i undergrunn er ikke 100 % kjent, men antatt ut fra kunnskap om lokal geologi.

For Pukk Meløy 1 er innmålt frostdybde noe større enn teoretisk verdi. En forklaring kan være at finstoffet ikke var homogent fordelt utover. Dette gir mulig konveksjon i det grovere, åpne materialet og større frostnedtrengning.

Pukk Meløy 2,3 og 4 skulle teoretisk sett ha målt frost i undergrunnen, noe som ikke var tilfellet. En mulig årsak er vannlaget mellom frostsikringslaget og undergrunnen (på filterduken). I det frysefronten når dette vannlaget vil det gå mye varmeenergi til å fryse ut vannet, ergo vil den faktiske frostdybden være lavere enn den antatt teoretiske.

Pukk Alta har målt høyere frostdybde i felt enn den teoretiske verdien. En forklaring kan være at i beregnet teoretisk frostdybde er det antatt at alt vannet fryser til is under 0 °C. Som nevnt er ikke dette tilfellet for leire, og mindre behov for varmeenergi vil gi en høyere frostnedtrengning i felt enn den teoretiske beregningen tilsier.

Frostsikring med skumglass i Tverrelvdalen gir beregnet frostdybde i undergrunnen på omtrent 20 cm. Hvis grunnen består av telefarlig materialet og det er vanntilgang vil det altså være potensiale for telehiv.

Overbygning som kun er forsterket gir stor teoretisk frostnedtrengning for både siltig leire

og sand. Det tilsier at hvis undergrunnen er telefarlig og det er vanntilgang forventes det telehiv.

## 7.3 Effekt av finstoffinnhold

Med begrensede frostmengder for Meløy har det vært vanskelig å se noen tydelig effekt av finstoffinnholdet til pukklaget. Det er allikevel noen observasjoner som er interessante og vil bli diskutert her.

I profil Meløy 1 ble det funnet dannelse av islinser i pukkmaterialet noe som tyder på kapillært oppsug. Her var finstoff- og vanninnholdet begge på 9 %. Ut fra observasjonene kan det tyde på at et finstoffinnhold på 9% er for høyt.

Ved profil Meløy 2 som har 6.5 % finstoffinnhold, var det tørre forhold i pukklaget og det ble observert frost, men ikke islinser. Hvis forholdene hadde ligget til rette for kapillært oppsug ville vannlaget på topp av fiberduken steget i pukklaget, og islinser kunne blitt dannet. Dette har ikke vært tilfelle så det er rimelig å anta at et finstoffinnhold i pukklaget på 6.5 % ikke gir vannopsug.

Profil Meløy 3 har et finstoffinnhold på 4.9 % og vanninnhold på 5.9 %. Det er observert isdannelse i nedre del av pukklaget hvor vanntilgangen for utkrystalliseringen av is er antatt å stamme fra vannlaget i fiberdukskillet. Det er derimot ingenting som tilsier at det er kapillært oppsug i pukklaget.

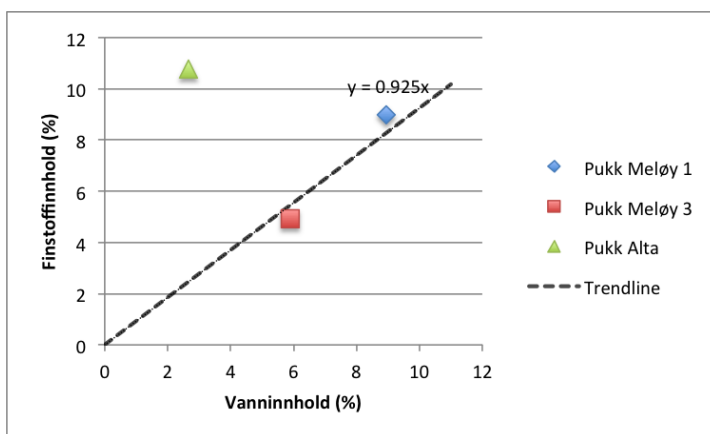
Referanselaget Profil Meløy 4 hadde et finstoffinnhold på 4.6 % og det ble ikke observert isdannelse. Pukklaget så ut til å være ganske tørt men i overkant av fiberduken lå det et vannlag. Med tanke på at det ikke er oppstått telesprekker her vinteråret 2012/13 (hvor det var store frostmengder) var det av interesse å se om det var noen tydelige forskjeller på pukklaget fra Profil Meløy 1,2 og 3. Resultatene viser et tilnærmet identisk labprofil for pukk Meløy 2,3 og 4 som vanskeliggjør en rent teknisk forklaring.

Pukk Alta hadde et finstoffinnhold på 10.8 % og et vanninnhold på 2.6 %. Frosten har trengt gjennom frostsikringslaget og videre ned i undergrunnen. Det lave vanninnholdet har gitt liten reduksjon i frostnedtrengningen og effekten av pukklaget som frostsikring er liten. Resultatene viser at det ikke alltid er slik at et høyt finstoffinnhold gir et høyt vanninnhold. For å unngå underdimensjonering av frostsikringslag kan det være lurt å fastslå usikkerheter for ulike forhold som o/u grunnvannsspeil mm. og usikkert rundt korrelasjoner for finstoff- og vanninnhold i et pukklag, og angi retningslinjer deretter.

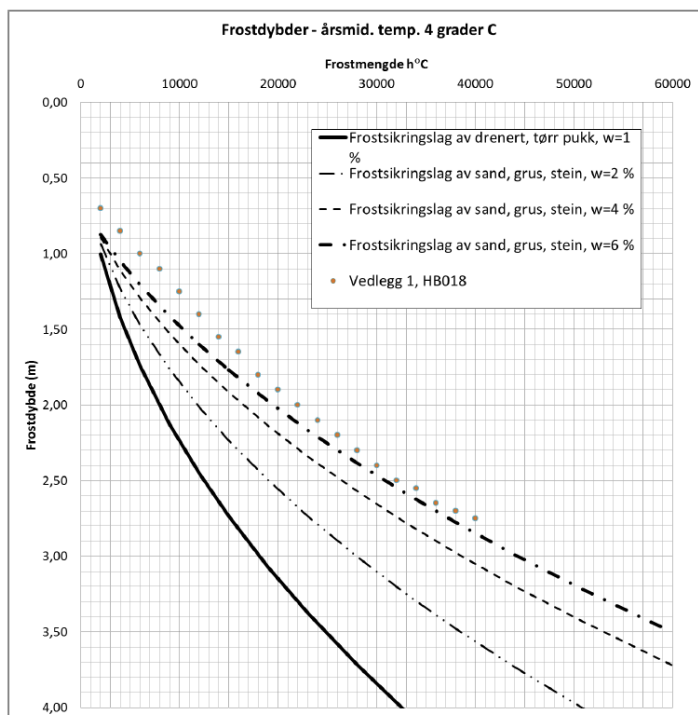
I figur 7.2 vises vanninnhold som funksjon av finstoffinnholdet fra labtester, mens i figur 7.3 vises frostdybder for pukk som funksjon av vanninnhold. Fra labresultatene er det en lineær trend for vanninnholdet som funksjon av finstoffinnholdet ved Pukk Meløy 1 og 3. Fra figur 7.3 gir frostmengder på 30000 h°C frostdybe på 3.1 m for pukk med 2% vanninnhold og 2.45 m for pukk med 6% vanninnhold. Med utgangspunkt i trendlinjen ville en økning i finstoffinnhold på 3.7% og derav økt vanninnhold på 4% krevd 0.65 m mindre tykkelse for et frostsikkert lag av pukk. Dette bidrar til å øke viktigheten av et minstekrav til finstoff i frostsikringslaget. Samtidig så er det en usikkerhet til det hele med få målinger, i tillegg til avviket ved pukk Alta. Resultatet for pukk Alta viser at i praksis så er det ikke nødvendigvis slik at et høyt finstoffinnhold automatisk gir høyt vanninnhold.

Ut fra resultatene er det antatt at pukk Meløy 3 som ikke viste noe tegn på kapillært oppsug, muligens kan være med å definere en nedre grense for finstoffinnhold. Det har derimot

vært registrert telehiv der vinteråret 2012/13, men fra observasjoner og beregninger viser overbygningen seg langt nær å være tilstrekkelig til å stoppe frosten fra å nå undergrunnen. Telehivet kan da ha oppstått ved islinser i undergrunnen som er litt telefarlig (T2). Den nevnte nedre grensen til finstoff korrelerer samtidig bra med andelen finstoff i pukk Meløy 4 hvor det ikke tidligere er registrert telehiv.



**Figur 7.2:** Vanninnhold som funksjon av finstoffinnhold for pukk Meløy 1, pukk Meløy 3 og pukk Alta.



**Figur 7.3:** Frostdybder sand, grus og stein for årsmiddeltemp. 4 °C (Aksnes et al., 2013).



## 7.4 Effekt av ulike frostsikringstiltak

På bakgrunn av data i kapittel 6.5 er effekten av ulike frostsikringstiltak på Fv26 vurdert. Det er vanskelig å gi noe fasitsvar ut fra målt telehiv, men i kombinasjon med GPR-profiler og byggeplan er det gjort vurderinger og anbefalinger.

### 7.4.1 Frostsikring med puk

Som nevnt påvirker vanninnholdet frostnedtrengning i puk, men det har og en annen viktig egenskap i form av en såkalt “bjelke-effekt”.

Telehiv er bl.a. en funksjon av overlagingstrykket. Ved et fuktig frostsikringmateriale vil laget fungere som en “stiv bjelke” når det er frosset. Dette gir et langt større overlagingstrykk enn vekten av overliggende materiale ville tilsi. Ujevne telehiv som oppstår ved store overlagingstrykk vil da reduseres/slakes ut (Aksnes et al., 2013). Siden det er frosset vann som binder materialene sammen er det interessant å se om det lave vanninnholdet i puk Alta gir en “bjelke-effekt”.

For strekningen 4 langs Fv26 som er frostsikret med puk er leiren i undergrunnen klassifisert som middels telefarlig. For oppgravings lokalitet er leiren antatt å ha for lav permeabilitet til å ha et vannoppsug og derfor ble det ikke funnet islinser. Men det er fortsatt en høy andel silt i materialet som gir stor telefare, og for strekningen kan de det være endringer i egenskaper til undergrunnen. Dette kan gi dannelse av islinser og telehiv, noe som stemmer bra med GPS-målingene. Siden det er frostnedtrengning i undergrunnen og et forholdsvis jevnt fordelt telehiv (gj.snittlig 3-5 cm.) for strekning 4 kan det antas en “bjelkeeffekt”. Det er vanskelig å si noe helt sikkert, men målingene tyder ihvertfall på at pukklaget fungerte i form av jevne telehiv vinteråret 2013/14.

### 7.4.2 Frostsikring med skumglass

Basert på GPS-målinger og observasjoner i felt er det tydelige telehiv ved avslutningene av skumglass, mens det ikke er telehiv langs skumglass-fyllingen. Avslutning ved km 2105 har en markant økning i vertikal telehiv på rundt 15 cm, mens for km 2155 er telehivet omtrent 7 cm. Dette tyder på det er en for brå overgang fra telefritt til telefarlig materiale, noe som er diskutert i kapittel 7.4.5. Med tanke på at det er registrert telehiv må materialet i undergrunnen være telefarlig med vanntilgang, noe som også er forventet å gjelde for strekket med skumglass-fylling. Siden strekningen ikke er utsatt for telehiv har frostsikringseffekten fra skumglass vært tilstrekkelig vinteråret 2013/14. Fra GPR-profilen ser en at skumglasset har en tykkelse på 45-50 cm, mens utfra sum av frostmengde luft og stråling anbefaler Hb018 55 cm tykkelse. Men i Hb018 dimensjoneres frostsikring ut fra kun frostmengde i luft, noe som gir et krav på 42 cm tykkelse for skumglass. Dette tilsier at tykkelsen av skumglasset var tilstrekkelig som frostsikring for vinteråret 2013/14. Fra den teoretiske beregningen ble det beregnet frost i undergrunnen. Det vil fortsatt ikke bety at det er tilstrekkelig med frost til å danne islinser, siden skumglasset er med på å senke hastigheten for varmetransport vekk fra frysesonen.

Data for varmeledningsevnen til skumglass er hentet fra Aksnes et al. (2013), og er satt til 0.15 W/mK. Dette er noe høyere enn varmeledningsevnen fra produsenten, som er 0.12 W/mK. Hvis varmeledningsevne settes til 0.12 W/mK, reduseres teoretisk frostdybde for dette tilfellet med 25 %. Det vil derimot fortsatt være frostnedtrengning i undergrunnen, så det er vanskelig å si noe konkret om hva som er varmeledningsevnen i praksis. Men det

er klart at en lavere varmeledningsevne senker muligheten for telehiv, så uten mulighet til å si noe konkret så kan det være tilfellet.

### 7.4.3 Frostsikring med geonett

Det er forsøkt frostsikret med geonett ved strekning 3 (km. 2700 - 2870) og strekning 7 (km. 5550 - 5620). I tillegg til geonettet består overbygningen av asfalt/bærelag og forsterkningslag på totalt 30-35 cm. Med frostmengdene i Alta er kravet til tykkelse av overbygning i Hb018 på langt nær tilfredsstillende og det er forventet frost i bakken. Dette stemmer forøvrig bra med de teoretiske beregningene hvor frostdybden ble beregnet til over en meter ned i undergrunnen.

Bakgrunnen for å benytte geonett er at flere påstår det forsinkes/hindrer sprekker i asfaltdekket. Dette forklares ved at geonett gjør telehiv slakere og kan harmonisere grunnforholdene (Tovslid (2012)) Statens vegvesen håndbok 018 sier imidlertid at geonett ikke gjør telehiv slakere. Dette er siden det krever en stor nedbøyning på topp av veg før kreflene mobiliseres i geonett (Aksnes, 2014).

Fra målinger og observasjoner gjort i denne oppgaven er det ingenting som tyder på at geonett har noen preventiv effekt på telehiv eller telesprekker langs veg. På grunn av variasjoner i grunnforhold, topografi og vanntilgang er det vanskelig og direkte sammenligne resultatene for strekningene som har forsterkning med og uten plastnett. Men fra det målte telehivet til vegbanen virker det som strekninger med og uten geonett har omtrent samme telehiv-tendenser på tvers og langs av vegbanen, med påfølgende ujevne telehiv.

Et eksempel er strekning 7 hvor det er problemer med telehiv. Her viser GPS-målingene ingen tegn på harmonisering av grunnforholdene hverken på tvers eller langs av veg, samtidig som telehivet har gitt markante telesprekker. Det er derfor på bakgrunn av all måledata antatt liten eller ingen effekt av geonettet.

Selv om geonettet er antatt lite effektivt mot oppsprekking fra telehiv har det fortsatt sine fordeler. Med tanke på tele har geonettet muligens en større effekt på teleløsningperioden, ved at det bevarer mer bæreevne (Aksnes, 2014). Dette er derimot ikke en del av oppgaven, og vil ikke bli diskutert her.

### 7.4.4 Forsterkning av undergrunn (ikke frostsikret)

Strekningene langs Fv26 som kun er forsterket har fra beregningene forventet frostnedtrengning ned i undergrunnen. Det vil gi mulighet for telehiv og av hensyn til vegbruken er det viktig å unngå ujevne telehiv.

GPS-målingene viser tydelige ujevnheter i telehivet for Fv26. Det er målt ujevnt telehiv på tvers av veg samt langs veg. Oppsprekkingen pga. ujevne telehiv opptrer ofte i forbindelser med stikkrenner. Telehivet viser store forskjeller for målinger i overkant av stikkrenne sammenlignet med for-/etterkant. Dette diskuteres nærmere i neste avsnitt, "7.4.5 Utkilinger".

### 7.4.5 Utkiling

Det er registrert ujevne telehiv i forbindelse med utkilinger av stikkrenner og skumglass på Fv26. Utkilingene ligger på strekninger med hastigheter 60 og 70 km/t, og det er interessant å se i hvilken grad utkilingene er utført i henhold til retningslinjene gitt i Hb018.

Helninger på utkilinger er beregnet fra GPR-profiler og resultatene vises i tabell 7.4. Ved sammenligning av målte telehiv og helning på utkilinger er det tydelig at slakere helning gir et jevnere fordelt telehiv sett i lengderetning av veg.

I henhold til byggeplan skulle utkilingene vært totalt 30 m. Det er kun strekning 3, stikkrenne 1, som er tilnærmet riktig utført med sine 29 m, men også her er det målt ujevne telehiv. Dette viser viktigheten ved stikkontroller av entreprenør slik at en unngår avvik fra byggeplan.

Det viser seg videre at samtlige utkilinger av stikkrenner har lavere helning enn anbefalinger gitt i Hb018 (tabell 7.3)), og på bakgrunn av registrert ujevne telehiv burde utkilingene vært utført med en slakere helning, gjerne etter Hb018.

Ved avslutning av skumglass-fyllingen har GPS-målingene vist ujevnt telehiv. Utkilingslengden har ikke vært tilstrekkelig og helningen burde vært slakere, gjerne som anbefalt i Hb018.

**Tabell 7.3:** Krav til helning på utkilingen (Statens vegvesen, 2011).

Skiltet hastighet, km/t	Helning på utkilingen, maks
≤ 50 og g/s – veger	1:10
60	1:15
80	1: 25
100	1:30

I tabell 7.4 betyr S1,3,5 - Strekning 1,3 og 5. Stikk1,2.. viser til stikkrenne merket med 1,2.. i kapittel 6.5. Tilsvarende gjelder for skumglass.

**Tabell 7.4:** Målt helning på utkilinger ved Fv26.

Navn	Total lengde utkiling	Start utkiling (dybde utkiling - dybde overbygning)	Helning	I henhold til Hb018
S1 -Stikk1	23 m	1.3 m (1.6-0.3)	1:8.8	Nei
S1 - Stikk2	22 m	1.7 m ( 2-0.3)	1:6.5	Nei
S1 - Stikk3	20 m	1.6 m (2-0.4)	1:6.3	Nei
S3 - Stikk1	29 m	1.5 m (2-0.5)	1:9.7	Nei
S5 - Stikk1	22 m	1.9 m (2.2-0.3)	1:5.8	Nei
S5 - Stikk2	20 m	1.9 (2.2-0.3)	1:5.3	Nei
S2 - Skum1	3 m	0.5 (0.7-0.2)	1:6	Nei
S2 - Skum2	4.5 m	0.4 (0.6-0.2)	1:9	Nei

## 7.5 Effekt av mineralogi

Resultatene fra XRD viser ingen kritisk andel av vann-adsorberende mineraler (Brandl (1980), Brattli (2014)), og det er derfor ikke grunnlag for å anta økt frostømfintlighet ut fra mineralogisk sammensetning. Det er derfor ikke gjort noen vurderinger.

## 7.6 Svakheter ved tolkingen

-Selv om pukkløvene var forseglede og ble fraktet stående, kan det ha vært noe lekkasje av finstoff. Det er i tillegg vanskelig å få med 100% finstoffet selv om prøvematerialet både er tørr- og våtsiktet. Dette kan ha bidratt til en lavere andel finstoff enn det som er in-situ

-Pukkmateriale består av alt fra finstoff til blokk. Det er derfor utfordrende å ta prøver med samme kornfordeling som det er in-situ. I tillegg er det ofte tilfellet at finstoffet er inhomogent fordelt i pukkløvene, noe som vanskeliggjør prosessen ved å velge representative prøver. Det er derfor mulighet for noe avvik selv om prøvene er tatt etter beste evne og i store mengder.

-GPS-målingene gir ikke 100% eksakte data. Med et avvik på  $\pm 2 - 5$  cm for hver innmåling, vil to målinger på samme punkt ha et potensielt avvik i vertikal høyde på opptil 10 cm. Men fra mange målepunkt utjevner resultatene seg samt det styrker muligheten for å luke ut urealistiske resultater. Andre usikkerheter er knyttet til om innmålte vertikale endringer på 0-4 cm er telehiv eller ikke. Men her igjen gir antallet målinger samt feltobservasjoner en økt tryggetil målingene.

-Siden GPS-målingene i Meløy ikke var gjennomførbare er vurderingen av frostsikrings-effekt til skumglass kun gjort på bakgrunn av en strekning. Flere innmålinger hadde gitt en større sikkerhet til resultatene samt ett bredere datagrunnlag med bakgrunn i to ulike klimatiske forhold.

-For utkiling innenfor frostsonen er prinsippet en flat bunn i underkant av stikkrenner, men det er ingen synlig bunn på GPR-profilene.

Helningen til utkilingene er beregnet ut fra prosessert rådata som Roadscanners har tolket. Det er vanskelig å tolke en kort flat bunn, slik at den som har tolket resultatene trolig ikke har tenkt på det, og bare laget en "V" der det synes kiler. Det er heller ikke sikkert at entreprenør har bygd flat bunn. Samtidig er ikke tolkning med GPR helt eksakt vitenskap, så for beregning av helning er bunnen av "V" brukt som start av utkiling.

## Konklusjoner

• I frostsikringslag av sand, grus og stein (pukk) som er utsatt for frost er det observert islinser, og resultatene viser at andel finstoff er lavere enn maks. tillatt grense gitt i Hb018. Samtidig er det ikke islinser i pukklag som har høyere andel finstoff enn min. krav. Basert på disse resultatene kan det være mulighet for innstramminger av grenseverdier til andel finstoff i pukklaget, og fordeler i form av økt minste potensiale for fukt og materiale uten kapillært oppsug.

• Det er funnet at et det ikke nødvendigvis er korrelasjon mellom finstoff- og vanninnhold i et frostsikringslag av pukk. I Hb018 dimensjoneres tykkelse av et frostfritt pukklag ved frostmengde, og det tas ikke hensyn til variasjon i vanninnhold som igjen påvirker dybden av frostnedtrengning. Dette kan føre til underdimensjonering av frostsikringslaget mtp. frostnedtrengning og derav muligheter for telehiv. Telehivet har derimot minkende effekt ved økende tykkelse av pukklaget (økt bjelke-virkning"). Det er derfor større trygghet mot ujevne telehiv for et tykt lag enn ett tynt lag, og konsekvensen av underdimensjonering for frostsikring med pukk vil derav ha ulik påvirkningsgrad.

• For Fv26 stammer hovedsaklig sprekker og ujevnheter i vegbanen fra utkilinger av stikkrenner og skumglass. Overgangen fra telefritt til telefarlig materiale viser seg å ha for bratt helning noe som har resultert i markante forskyvninger av vegbanen pga. ujevnheter i telehivet. Det viser seg videre at ingen av utkilingene er bygd etter retningslinjene gitt i Hb018. Siden disse ujevnheter gir en forringet kjørekomfort, og større dynamisk belastning på vegen er det viktig å oppnå et jevnt fordelt hiv. Det bør derfor tas utgangspunkt i kravene gitt ved Hb018 samt at det bør tas stikkprøver underveis i byggingen for å være sikker på at entreprenør følger byggeplan.

• Det er ikke registrert telehiv langs skumglass-fyllingen hvor lagtykkelsen var 45-50 cm. I Hb018 er anbefalt tykkelse av skumglass gitt ved frostmengder i luft og den er for vinteråret 2013/14 angitt til 42 cm. Dette tilsier at retningslinjene for frostteknisk dimensjonering av skumglass i Hb018 er tilstrekkelig.

• Strekninger hvor geonett er benyttet viser både ujevnheter i veg og oppsprekking av asfalt pga. telehiv. På bakgrunn av disse resultatene er geonett vurdert til å ikke ha preventiv effekt mot telehivproblemer.



## Forslag til videre arbeider

-Sammenligne grenseverdier til andel finstoff i pukklaget for Hb018 med resultater funnet i oppgaven. Dette kan utføres ved telehivtester i laboratorium. Forsøket bør ta hensyn til kornfordelingen av pukklagene i felt og videreføre tilnærmet identiske prøver i laboratoriet. Alt av prøvemateriale i denne oppgaven er ivaretatt og satt i system, så ved å teste identiske pukklag kan en sammenligne felt- og labresultater. Her er det i tillegg fordel ved at den mineralogiske sammensetningen er kjent.

-Flere målinger av vanninnhold fra pukklag brukt som frostsikring i veg. Dette bør gjøres for pukklag med varierende finstoffinnhold slik at det både er et større og bredere grunnlag for å si noe om variasjonen. Her bør og frostdybden måles slik at det er grunnlag for å si noe om riktigheten av tykkelsekravene Hb018 stiller til pukklaget, og videre fastslå eventuelle grunner til avvik.

-Det bør klarlegges hvorfor det lå et vannskille på topp av fiberduken, og i hvilken grad fiberduken gir gjennomstrømning. Her bør det muligens testes hvordan finstoff påvirker tettheten til fiberduken.

-Det kan utføres flere GPS-målinger på skumglass-fyllinger for å øke datagrunnlaget og dermed sikkerheten ved vurdering av skumglassets effekt som frostsikring. Dette kan og bidra til økt trygghet av datagrunnlaget til Hb018.

-Lage en handlingsplan som sikrer en fortløpende kvalitetssikring av entreprenørens arbeid, og at det utføres i henhold til byggeplan.

-Undersøke om “bjelke-effekten” til et pukklag er ivaretatt selv ved lavt vanninnhold.





# Bibliografi

- ADPTF, 2004. Alaska department of transportation and public facilities - alaska flexible pavement design manual (afpdm). Research Report no. FHWA-AK-RD-03-01.
- Aksnes, J., 2014. Muntlig samtale [28. mai].
- Aksnes, J., Myhre, Ø., Lindland, T., Berntsen, G., Aursand, P. O., Evensen, R., 2013. Forslag til nødvendig revisjon av dagens retningslinjer for frostsikring av veg. Rapport Vegdirektoratet.
- Andersland, O. B., Ladanyi, B., 2004. Frozen ground engineering 2nd edition.
- Arm, M., Arvidsson, H., Höboda, P., 2004. Inverkan av glimmer på ett obundet vägmaterials deformationsegenskaper - resultat från laboratorieforsk. Swedish Geotechnical Institute.
- Aursand, P. O., 2005. Bruk av iri og vdb-data for kartlegging av telehiv og mulig bærevnereduksjon i vårløsninga på utvalgte vegstreknings. Prosjektoppgave.
- Behr, H., 1981. Criteria for the determination of the frost-susceptibility of soils in the federal republic of germany. Frost i Jord nr. 22.
- Berntsen, G., 1993. Reduksjon av bæreevnen under teleløsningen.
- Brandl, H., 1980. The influence of mineral composition on frost susceptibility of soils. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ground Freezing.
- Brattli, B., 2009. Fysisk og kjemisk hydrogeologi. Kompendium - tredje utgave.
- Brattli, B., 2014. Muntlig samtale [28. feb].
- Celaya, M., Nazarian, S., Rao, C., Quintus, H. V., 2010. Delamination detection of hma airport pavements with ndt devices. FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference.
- Doré, G., 2002. Development of a new mechanistic index to predict pavement performance during spring thaw. Cold regions engineering. Proceedings of the 11. int. conf., Anchorage, Alaska.
- Frivik, P. E., 1980. Ground freezing: Thermal properties, modelling of porcesses and thermal design. The 2nd International Symposium on ground freezing.

- 
- Geir Refsdal, Ø. M., 2005. Frostsikring av veger i norge - status og utfordringer. Frost i jord (108).
- Haugødegård, T., 2008. Fra alfred til viapps - ny måteknikk, utvikling og implementering. Dekkekonferansen Oslo 2008.
- Hoff, I., 2014. Muntlig samtale [02. jun].
- Hoff, I., Hoven, B., Eide, E., 2008. Introduction of ground penetrating radar in pavement rehabilitation in norway. Transport Research Arena Europe.
- ISSMFE, 1989. (international society of soil mechanics and foundation engineering). technical committee on frost, tc-8. work report 1985-1989. VTT Symposium 94, Frost on geotechnical engineering, Sarriselkä Finland, 13-15.3 1989. Espoo, VTT. 1, 15-70.
- Johansen, Ø., Frivik, P.-E., Pedersen, K. B., Bjerkan, O., 1976. Varmetekniske egenskaper av jord og bygningsmaterialer. Frost i Jord.
- Kartverket, 2014. Norgeskart. kart.statkart.no.
- Lambe, T. W., Kaplar, C. W., Lambie, T. J., 1969. Effekt of mineralogical composition of fines on frost susceptibility of soils. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory Technical Report 207, 31.
- Larsson, R., 2008. Jords egenskaper. SGI (Swedish Geotechnical Institute) - Information 1.
- MDT, 2004. (minnesota department of transportation) - technical memorandum. Pavement Selection Process.
- MDT, 2014. (minnesota department of transportation) - standard specifications for construction. Division 3 - Materials.
- Meteorologisk Institutt, 2014. Klimadata. www.met.no.
- Mitchell, J. K., 1993. Fundamentals of soils behavior.
- NGU, 1991. Kvartærgeologiske kart over norge - tema: Jordarter.
- NGU, 2014. (norges geologiske undersøkelser) - løsmassekart. Nasjonal løsmassedatabase.
- Nurmikolu, A., 2005. Degradation and frost susceptibility of crushed rock aggregates used in structural layers of railway track.
- Øiseth, E., Aabøe, R., Hoff, I., 2007. Frost i jord. Feltforsøk med sammenligning av frostsikringsmaterialer anvendt i vegbygging.
- Øistein Johansen, P.-E. F., 1976. Grunnlag for termisk dimensjonering. Frost i jord (NTNF, SVV) (17).
- Øvstedal, E., Henning, J. E., Aksnes, J., Hoff, I., Jensen, G., Refsdal, G., 2011. Telehiv på norske veger - hvorfor, og hva kan gjøres for å unngå dette?
- Prestvik, T., Johnsen, S. O., Moseid, T., Rueslåtten, H., 1995. Videregående geologi.

- 
- Rieke, R., Vinson, T. S., Mageau, D. W., 1983. The role of specific surface area and related index properties in the frost heave susceptibility of soils. Proceedings of the 4th International Conference on Permafrost.
- Saarenketo, T., Scullion, T., 2000. Road evaluation with ground penetrating radar. Journal of Applied Geophysics 43 (2000) 119-138.
- Simonsen, E., 1997. Prediction of climatic effects and pavement response in frost sensitive roads. Department of infrastructure and planning, Kungl Tekniska Högskolan.
- SINTEF, 2012. Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring. Byggforskserien Byggedetaljer (451.021).
- Smith, M. W., 1985. Models of soil freezing. In: Church MA, Slaymaker HO (eds) Field and Theory: lectures in geocryology.
- Standard-Norge, 2001. Ns-en iso 13793 - bygningers termiske egenskaper, termisk dimensjonering av fundamenter for å unngå telehiv.
- Statens vegvesen, 2005. Håndbok 014 - laboratorieundersøkelser.
- Statens vegvesen, 2011. Byggeplan fv452. Fv 452 Forsterkning Halså - Vassdalsvik.
- Statens vegvesen, 2012. Byggeplan fv26. Rehabilitering av Fv. 26 Tverrelvdalen.
- Statens vegvesen, V., 2010. Geoteknikk i vegbygging. Haandbok 016.
- Statens vegvesen, V., 2011. Håndbok 018 vegbygging.
- Stevens, C. W., Moorman, B. J., Solomon, S. M., 2008. Detection of frozen and unfrozen interfaces with ground penetrating radar in the nearshore zone of the mackenzie delta, canada. Ninth International Conference on Permafrost.
- Surveyequipment, 2014. Bilde hentet fra nettside.
- Torsæter, O., 2011. Metning og kapillærtrykk. TPG4112 Geomekanikk og strømning i porøse media. Forelesningsnotater.
- Tovslid, Ø., 2012. Effekt av armeringsnett ved forsterkning av vegkonstruksjoner. Masteroppgave - ref. intern diskusjon over mail.
- Vägverket, 2005. Atb väg.
- Vargaftik, N. B., Volkov, B. N., Voljak, L. D., 1983. International tables of the surface tension of water. J. Phys. Chem. Ref. Data 12 (3).
- ViaTech, 2010. Manual viapps.
- Woo, M.-K., 2012. Permafrost hydrology.
- Z. A. Nerseova, N. A. T., 1963. Unfrozen water in soils. Permafrost International Conference, 230–233.



---

# Vedlegg

**1 - Frostmengdeberegninger**

**2 - Frostsikring Sverige**

**3 - Beregning av frostdybde**

**4 - Beskrivelse av løsmasser**

**5 - Labarbeid**

**6 - Rådata Roadscanners, Fv26 strekning 2**

**7 - XRD-resultater**

---

## Vedlegg 1 - Frostmengdeberegninger

Statistikkberegningen for å finne frostmengder  $F_5$  og  $F_{10}$  ved bruk av døgntemperaturer:

1) Frostmengde,  $F$ , beregnes ut fra døgnmiddeltemperaturen,  $v_{dgn}$  [ $^{\circ}C$ ], fra følgende formel:

$$F = 24 \times \Sigma v_{dgn} \quad [h^{\circ}C]$$

For alle døgn i vinteråret der:  $v_{dgn} \leq 0^{\circ}C$   
(Vinterår = start den 1. juli, slutt 30. juni neste år.)

Dette gjøres for alle årene i en valgt 30 års periode ( $m=30$ ).

2) Finner gjennomsnittsverdien av de 30 frostmengdene,  $F_{snitt}$ , og standardavviket,  $s_f$ , til frostmengdene,  $F_i$ , der  $i=1,2,3\dots30$ .

$$F_{snitt} = \frac{\Sigma F_i}{m}$$

3) Finner standardavviket for verdiene,  $s_f$ :

$$s_f = \sqrt{\frac{\Sigma (F_i - F_{snitt})^2}{m - 1}}$$

4) Den dimensjonerende frostmengden er gitt ved:

$$F_n = F_{snitt} + \frac{s_f}{s_y} * (y_n - y_{snitt})$$

Faste tabellverdier for Gumbelfordelingen  $s_y$ ,  $y_n$  og  $y_{snitt}$  ((Standard-Norge, 2001)). Disse er bestemt av antall år i beregningsperioden,  $m$ , samt dimensjonerende frostmengde,  $F_n$ .

Verdier for $y_{snitt}$ og $s_y$		
$m$	$y_{snitt}$	$s_y$
10	0,5	0,95
15	0,51	1,02
20	0,52	1,06
30	0,53	1,09
40	0,54	1,14
50	0,54	1,14
60	0,55	1,16
70	0,55	1,17
80	0,55	1,19
90	0,56	1,19
100	0,56	1,20

Statistikkberegningen for å finne frostmengder  $F_5$  og  $F_{10}$  ved bruk av månedstemperaturer:

Verdier for $y_n$					
n	5	10	20	50	100
$y_n$	1,5	2,25	2,97	3,90	4,60

Tilsvarende som beregning av døgntemperaturer, men punkt 1) erstattes med:

1) Frostmende, F, beregnes ut fra månedsmiddeltemperaturen,  $v_{med}$  [ $^{\circ}C$ ], ved bruk av følgende formel:

$$F = 730 \times \Sigma v_{mned} \quad [h^{\circ}C]$$

For alle måneder i vinteråret der:  $v_{mned} \leq 0^{\circ}C$

Frostmengder for Alta og Meløy ved bruk av døgntemperaturer:

I beregning av frostmengder for Alta og Meløy er det brukt data fra Meteorologisk Institutt (2014) for vinterårene 1979-2009/2010. Med  $m=30$  vil tabellverdiene være  $y_{snitt}=0,53$  og  $s_y=1,09$ . Det er med bakgrunn i frostsikringstiltak i håndbok beregnet  $F_5$  og  $F_{10}$ .

Alta:

Ved dimensjonerende frostmengde  $F_5$  ( $n=5$ ) er  $y_n=1,5$ . Dette gir:

$$F_n = F_{snitt} + \frac{s_f}{s_y} * (y_n - y_{snitt})$$

$$F_5 = F_{22600} + \frac{5881}{1,09} * (1,5 - 0,53)$$

$$F_5 = 27833 h^{\circ}C$$

Ved dimensjonerende frostmengde  $F_{10}$  ( $n=10$ ) er  $y_n=2,25$ . Dette gir:

$$F_n = F_{snitt} + \frac{s_f}{s_y} * (y_n - y_{snitt})$$

$$F_{10} = F_{22600} + \frac{5881}{1,09} * (2,25 - 0,53)$$

$$F_{10} = 31880 h^{\circ}C$$

Meløy:

Ved dimensjonerende frostmengde  $F_5$  ( $n=5$ ) er  $y_n=1,5$ . Dette gir:

$$F_n = F_{snitt} + \frac{s_f}{s_y} * (y_n - y_{snitt})$$

$$F_5 = F_{5374} + \frac{2297}{1,09} * (1,5 - 0,53)$$

$$F_5 = 7418 h^{\circ}C$$

Ved dimensjonerende frostmengde  $F_{10}$  ( $n=10$ ) er  $y_n=2,25$ . Dette gir:

$$F_n = F_{snitt} + \frac{s_f}{s_y} * (y_n - y_{snitt})$$

---

$$F_{10} = F_{5374} + \frac{2297}{1,09} * (2,25 - 0,53)$$

$$F_{10} = 8998 h^{\circ}C$$

Frostmengder for Alta og Meløy ved bruk av månedstemperaturer:

Tilsvarende framgangsmåte som ovenfor, men ved bruk av måneds- istedenfor døgntemperaturer. Utregninger er ikke vist her, og resultater kan finnes i .



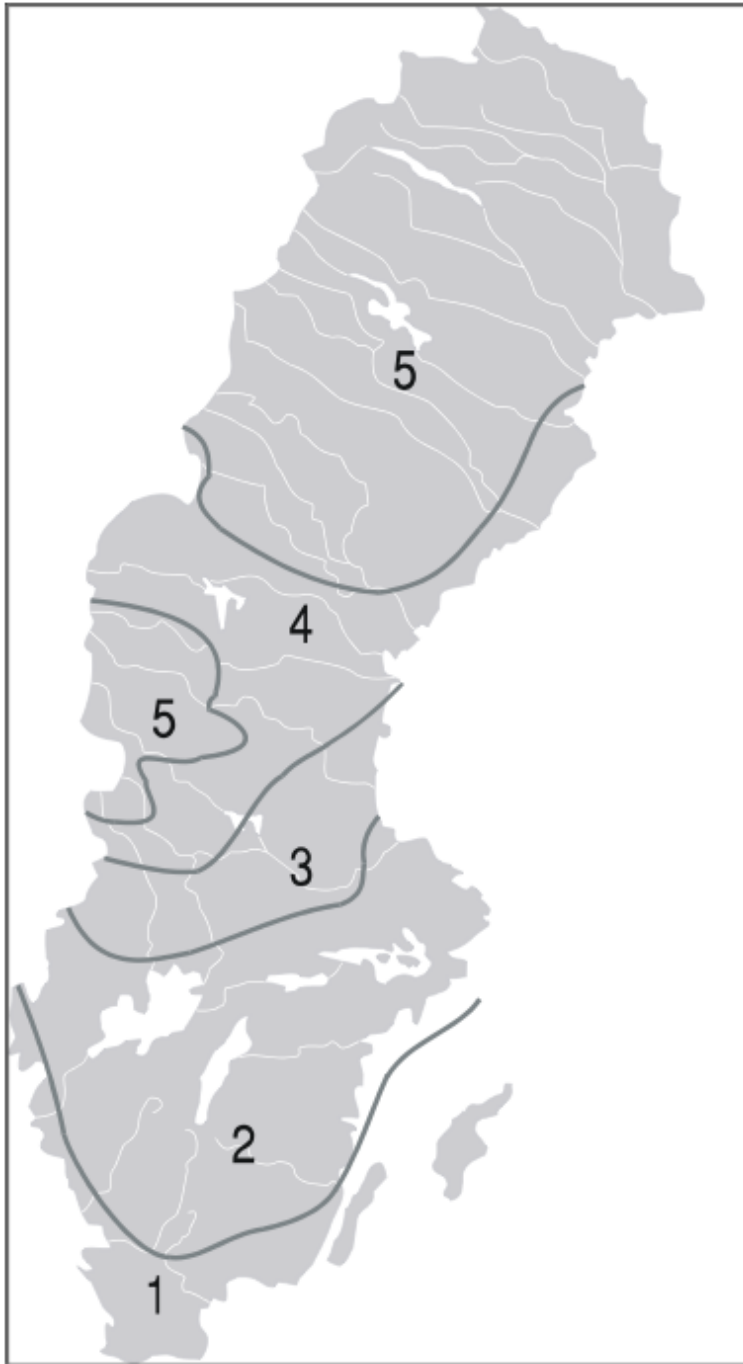
## Vedlegg 2 - Frostsikring Sverige

Inndeling av jord og berg i materialtyper (Larsson, 2008).

Materialtyp	Bergtyp	Halten av jordmængd ≤ angiven kornstorlek/total mængd ≤ angiven kornstorlek, viktsprocent				Exempel på jordarter
		Mycket grov jord 63/2000 mm	Finjord 0,063/63 mm	Ler 0,002/0,063 mm	Organisk halt % /63 mm	
1	1, 2		< 10		≤ 2	Bo, Co, Gr, Sa, saGr, grSa, GrMn, SaMn
2		≤ 40	≤ 15		≤ 2	
3 A	3		≤ 30		≤ 2	siSa, siGr, siSaMn, siGrMn
3 B		≤ 40	15 - 30		2	
4 A		≤ 40	30 - 40		≤ 2	clMn
4 B		≤ 40	> 40	> 40	≤ 2	Cl, CIMn
5		≤ 40	> 40	≤ 40	≤ 6	Si, clSi, siCl, SiMn, gyCl, gySi
6			Övriga jordar och material			Pt, Or, siOr, Gy, saOr, clGy, alternativa material

Telefarlighetsklasser for Sverige. (Vägverket, 2005).

Tjälfarlighetsklass	Beskrivning	Exempel på jordarter
1	<b>Icke tjällyftande jordarter</b> Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältningsprocessen i regel är obetydlig. Klassen omfattar materialtyp 2 samt organiska jordarter med organisk halt > 20 %.	Gr, Sa, saGr, grSa, GrMn, SaMn, Pt
2	<b>Något tjällyftande jordarter</b> Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältningsprocessen är liten. Klassen omfattar materialtyp 3B.	siSa, siGr, siSaMn, siGrMn
3	<b>Måttligt tjällyftande jordarter</b> Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältningsprocessen är måttlig. Klassen omfattar materialtyp 4A och 4B.	Cl, CIMn, siMn
4	<b>Mycket tjällyftande jordarter</b> Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältningsprocessen är stor. Klassen omfattar materialtyp 5.	Si, clSi, siCl, SiMn



Oversikt over inndeling av klimasoner i Sverige.

## Vedlegg 3 - Beregning av frostdybde

For beregninger utført i kapittel 7.1, frostdybde, er det benyttet data fra Øistein Johansen (1976), Statens vegvesen (2011) og Aksnes et al. (2013).

Valgte materialparametre for asfalt/bærelag (asf), forsterkningslag (forsterk), skumglass (skum) og pukkk er vist i tabellen under.

Vanninnholdet er hentet fra labresultater i tabell 6.4, mens for strukturer med ukjent vanninnhold er det gjort antakelser basert på lokal og litterær kunnskap.

Forutsetninger mht. densitet, vanninnhold og varmeledningsevne (Aksnes et al., 2013).

Lag	Type	Tykkelse (m)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	w-vekt%	Lam-f (W/mK)
1	Asf		2400	0,5	1,7
2	Forsterk		1900	1	1
	Skum		333	15	0,15
	Pukkk		1800		(0.2*w)+0.4 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> For verdier  $\lambda < 1$  er det valgt å sette denne lik 1.

Dette er for å ta hensyn til mulig konveksjon i grove, åpne materialer og gir en økt sikkerhet for at beregningene ikke gir for lave verdier.

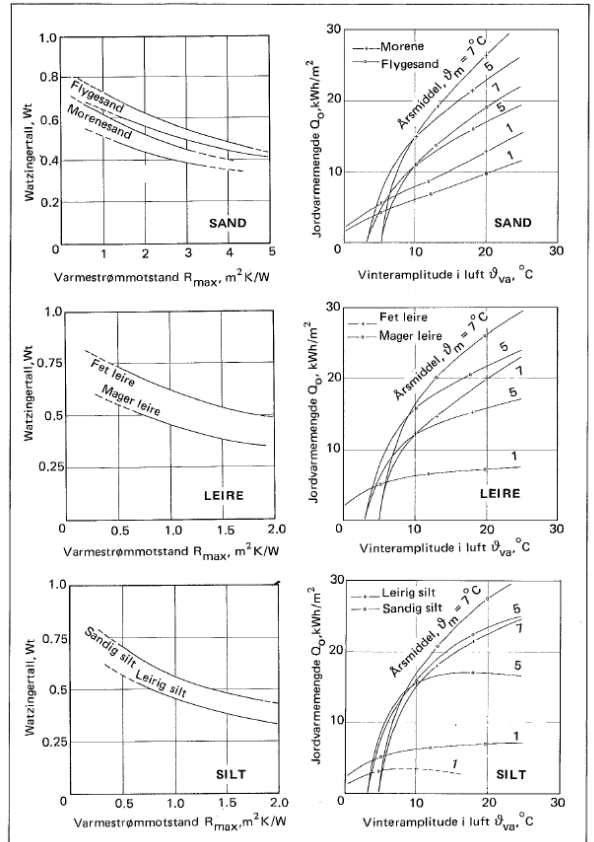
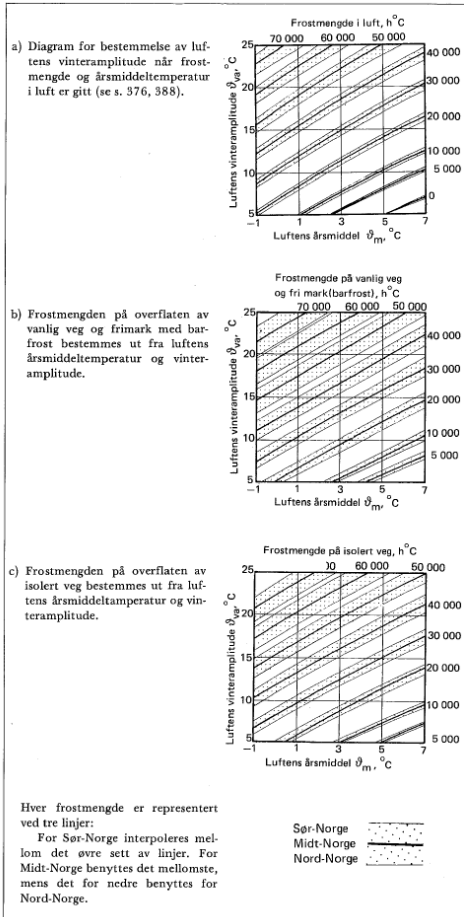
Ved ukjent vanninnhold er  $\lambda = 1$ .

Til grunn for beregning av jordvarmemengde og watingertall ligger følgende typer undergrunn: pukkk Alta - leire, skumglass Alta - leirig silt, morene Meløy 1,2,3,4 - morene (sand)

Watingertall, jordvarmemengde, vinteramplitude, frostmengde på overflate og tørr romvekt er hentet fra figurene under. Ved behov er det interpolert mellom kurver.

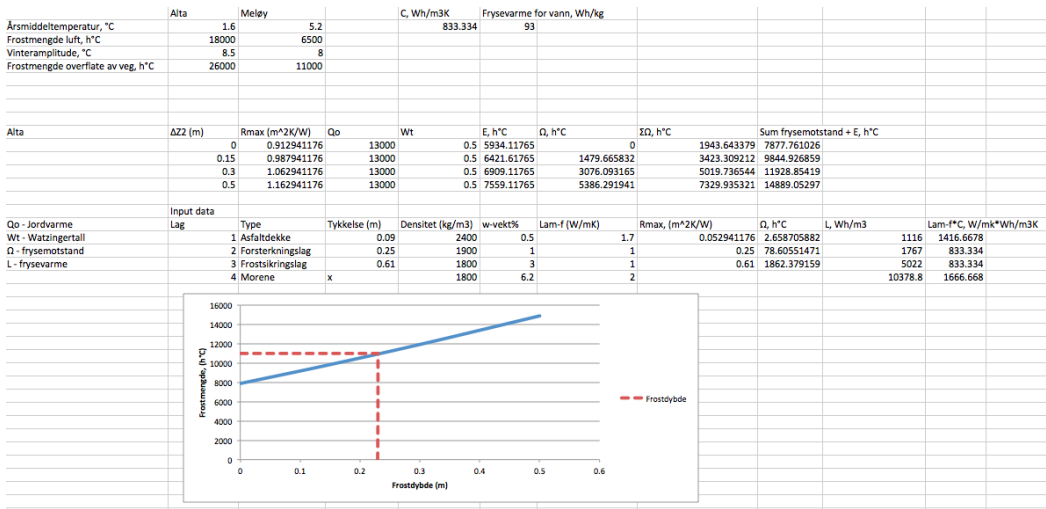
Materiale	Sammensetning			Ledningsevne W/mK	
	Tørr romvekt $\rho_d, \text{kg/m}^3$	Vektprosent vann, w%	Metningsgrad $S_r, \%$	Frosset $\lambda_f$	Ufrosset $\lambda_u$
Grov pukkk, kult	1 500 .. 1 800	1 .. 4	10 .. 30	0.6 .. 1.3	0.7 .. 1.5
Grus, middel	1 800 .. 2 100	2 .. 6	15 .. 40	0.7 .. 1.8	1.0 .. 2.0
Sand, middel	1 700 .. 2 000	4 .. 12	20 .. 60	0.8 .. 1.8	1.1 .. 2.2
Sand, på fylling	1 800 .. 2 100	3 .. 7	20 .. 40	0.9 .. 1.8	1.0 .. 2.0
Sand, under gr.v.st.	1 700 .. 2 100	10 .. 18	85 .. 100	2.4 .. 4.2	1.5 .. 2.7
Silt	1 400 .. 1 800	10 .. 30	70 .. 100	1.7 .. 2.8	1.0 .. 1.7
Leire	1 200 .. 1 600	20 .. 40	80 .. 100	1.6 .. 2.4	0.9 .. 1.4

Tabell benyttet for anslag av tørr romvekt til undergrunn (Øistein Johansen, 1976).

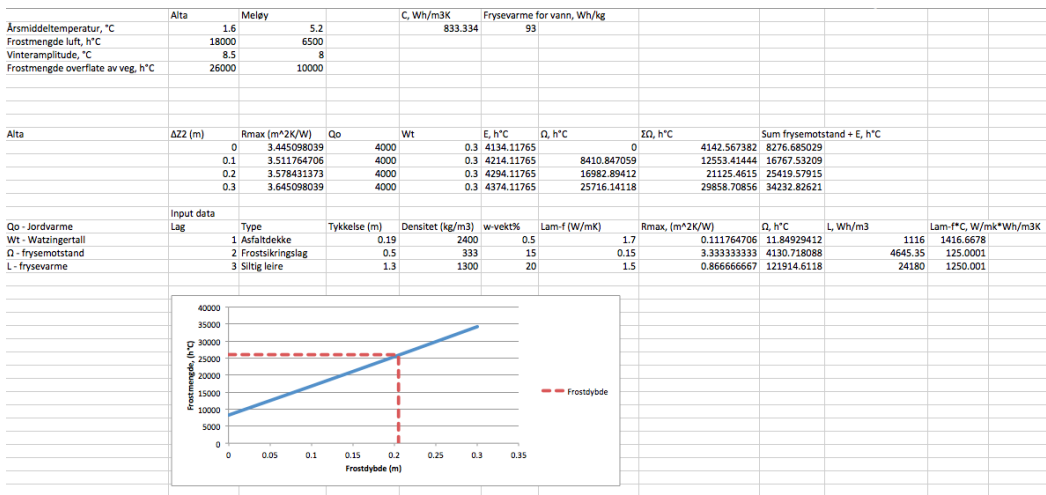


Til venstre finnes skjema for beregning av vinteramplitude og frostmengde på overflate av veg. Til venstre er skjema benyttet for å finne jordvarmemengde og watzingertall for undergrunn (Øistein Johansen, 1976).

Frostdybdene er beregnet i excel. Under finnes to eksempler på regneark, et fra Meløy (pukk) og ett fra Alta (skumglass).



Beregning av frostdybde for Pukk Meløy 2.



Beregning av frostdybde for frostsikring med skumglass i Tverrelvdalen.

## Vedlegg 4 - Beskrivelse av løsmasser

**Tabell 9.1:** Beskrivelse av løsmasser for figur 4.3 og 4.5 (NGU, 2014).

Definisjon, løsmasse	Løsmasstype
Tykk havavsetning	Finkornige, marine avsetninger med mektighet fra 0,5 m til flere ti-tall meter. Avsetningstypen omfatter også skredmasser fra kvikkleireskred, ofte angitt med tilleggssymbol. Det er få eller ingen fjellblotninger i området.
Torv og myr (organisk materiale)	Organisk jord dannet av døde planterester, med mektigheter større enn 0,5 m. Det skilles ikke mellom ulike torvtyper.
Bart fjell, stedvis tynt dekke	Både bart fjell og områder der løsmassedekke er usammenhengende, eller av ubetydelig mektighet. Mer enn 50% av arealet er fjell i dagen.
Breelvavsetning (glasifluvial avsetning)	Materiale transporter og avsatt av breelver. Sedimentet består av sorterte, ofte skråstilte lag av forskjellig kornstørrelse fra fin sand til stein og blokk. Breelvavsetningen har ofte klare overflateformer som terrasser, rygger og vifter. Mektigheten er ofte flere ti-talls meter.
Elve- og bekkeavsetning (fluvial avsetning)	Materiale som er transportert og avsatt av elver og bekker. De mest typiske formene er elvesletter, terrasser og vifter. Sand og grus dominerer, og materialet er sortert og rundet. Mektigheten varierer fra 0,5 til mer enn 10 m.
Morenemateriale: tykk morene	Materiale plukket opp, transportert og avsatt av isbreer. Vanligvis hardt sammenpakket, dårlig sortert og kan inneholde alt fra leir til stein og blokk. Moreneavsetninger med tykkelse fra 0,5 m til flere ti-talls meter. Det er få eller ingen fjellblotninger i området. Sammenhengende dekke.
Morenemateriale: tynn morene	Samme avsetning som tykk morene. Områder med grunnlendte moreneavsetninger/hyppige fjellblotninger. Tykkelsen på avsetningen er normalt mindre enn 0,5 m, men den kan helt lokalt være noe mer. Usammenhengende dekke.
Marin strandavsetning, sammenhengende dekke	Marine strandvaskede sedimenter med mektighet større enn 0,5 m, dannet av bølge- og strømkraft i strandsonen, stedvis som strandvoller. Materialet er ofte rundet og godt sortert. Kornstørrelsen varierer fra sand til blokk, men sand og grus er vanligst. Strandavsetninger ligger som et forholdsvis tynt dekke over berggrunn eller andre sedimenter.
Skredmateriale, sammenhengende dekke	Avsetninger dannet ved steinsprang, fjellskred, snøskred eller løsmasseskred fra bratte dalsider. Tykkelsen er mer enn 0,5 m og det få fjellblotninger i området. Stedvis med stor mektighet.
Humusdekke/tynt torvdekke over berggrunn	Områder hvor humusdekket vanligvis er mindre enn 0,5 m, men kan lokalt være tykkere. Fjellblotningen opptrer hyppig innen slike områder.
Hav-, fjord- og strandavsetning, usammenhengende dekke	Grunnlendte områder/hyppige fjellblotninger. Tykkelsen på avsetningene er normalt mindre enn 0,5 m, men den kan helt lokalt være noe større. Det er ikke skilt mellom hav-, fjord- og strandavsetning. Kornstørrelser angis normalt ikke, men kan være alt fra leir til blokk.

---

## Vedlegg 5 - Labarbeid

Arbeid utført i laboratorium på NTNU og er beskrevet under. For mer detaljert beskrivelse henvises det til Håndbok 014.

### Sikting av prøver

For pukkløvene ble først alt materiale våtsiktet, før materialet mindre enn 22.4 mm, og større enn 0.063 mm, ble tørrsiktet. Tørrsikting er utført siden det er i utgangspunktet vanskelig å vaske alt finstoffet av materiale mindre enn 22.4 mm. Total vekt av prøver vises i tabellen under og hele prøven er våtsiktet. Grunnen til å ta så store prøver er for å forsøke og få et representativt bilde av den mindre andelen finstoffinnhold som er i pukkløget.

Total andel prøvematerialer for pukk.

Prøve	Total prøvemasse (g)	Vekt materiale <22.4 mm (g)
Pukk Meløy 1	12326.5	4363.6
Pukk Meløy 2	14168.1	1997.7
Pukk Meløy 3	7995.2	2734.4
Pukk Meløy 4	7554.8	2523.3
Pukk Alta	15212.8	3240.3

Representative prøver for undergrunnen krevde langt fra så store prøver som pukk, og prøvestørrelsen har vært fra 200-500 gram. For å finne kornfordelingen er det benyttet våtsikting.

#### Pukk

1. Først ble boller vasket, innveid og klargjort. Det ble siktet med følgende siktesatser: 22.4 mm, 4.5 mm, 1.7 mm og 0.063 mm. Hver sikt fikk tildelt nummererte boller hvor materialet ble plassert.

2. Prøvene av pukk ble delt opp slik at de ble våtsiktet i flere omganger. Alt kornmateriale ble vasket grundig og til tider skrubbet for hånd for å få med alt finstoff. De forskjellige siktesatsene ble så plassert i sine tildelte nummerert boller.



Til høyre sees våtsikting og boller for ulike siktesatser. Til venstre sees vasking av ulike siktesatser.

3. Bollene med materiale ble så plassert i tørkeskap med temperatur på 105 °C.



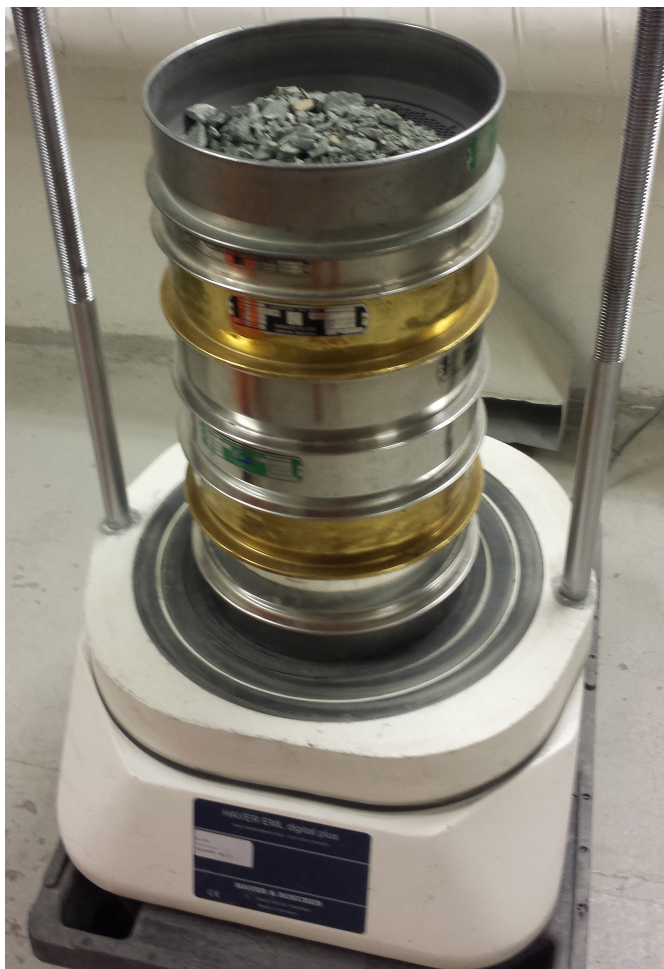
Prøver plasser i tørkeskap.



---

4. Når alt vann er fordampet ble bollene tatt ut før de avkjøles til romtemperatur. Deretter blir alle innveid, og total vekt for de ulike kornstørrelsene finnes.

5. Alt materiale mindre enn 22.4 mm, og større enn 0.063 mm blir så tørrsiktet. Tørrsiktingen foregår ved hjelp av en maskin og utføres på 10-minutters intervaller. Det ble siktet med følgende siktesatser (mm): 20, 16, 11.2, 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125, 0.063. Siktene plasseres i stigende rekkefølge før et lukk skrus på og maskinen startes.



Maskin benyttet til tørrsikting.

6. Når tørrsiktingen er ferdig blir materialet på hver sikt veid inn. Til slutt er alt materiale for hver prøve registrert og kornfordelingskurver kan lages.

---

## Undergrunn

1. En større del av prøven ble separert ned til fire like store, jevnt fordelte prøver. Så ble en av de mindre prøvene valgt ut for sikting.



Separasjon til mindre, like prøver.

2. Prøven ble så klargjort for sikting med følgende siktesatser (mm): 19, 16, 11.2, 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125, 0.075. Siktingen foregikk ved bruk av destillert vann og en malerpensel.



Oppsett for våtsikting av undergrunnsmateriale. Ps ikke alle siktesatser er med på bildet.

3. Etter sikting ble hver siktesats med materiale etter sikting, tørket direkte i ovnen. Etter

---

at vannet er fordampet vekk blir jordmaterialet veid. For å ikke miste jorda ble sikten ristet opp-ned over et stort papirark, før papirarket ble brettet som en sikt og materialet veid i en bolle.



Tørre prøver på sikt klar til innveing.

## **XRD-analyse**

Alle prøvene er analysert med XRD og på grunnlag av dette er mineralogisk sammensetning kvantifisert. For å kunne utføre XRD måtte først prøvene nedknuses til  $< 250 \mu\text{m}$  (sjekke med Laurentius) og prepareres på prøveglass. For å unngå krysskontaminering er det viktig at alt prøveutstyr er vasket med sprit (ethanol) før bruk.

---

## Framgangsmåte

### Del 1 - nedknusing av materiale

1. Beholder fylles med helt opp med agater (lilla farge), før midtre kryss-fordelettas ut.
2. Så tilsettes en toppet teskje med prøvemateriale. Dette ristes slik at materialet fordeles ned langs beholder. Deretter tilsettes beholder 10 ml sprit, før lokket skrues på.



Prøvemateriale tilsatt beholder. Agatene sees som kolonner i beholderen.

3. Beholderen blir så festet med en klype i mikroniserings-apparatet. Dette apparatet rister beholderen slik at agatene knuser ned prøven. Mikroniseringen pågår i 2.5 min.



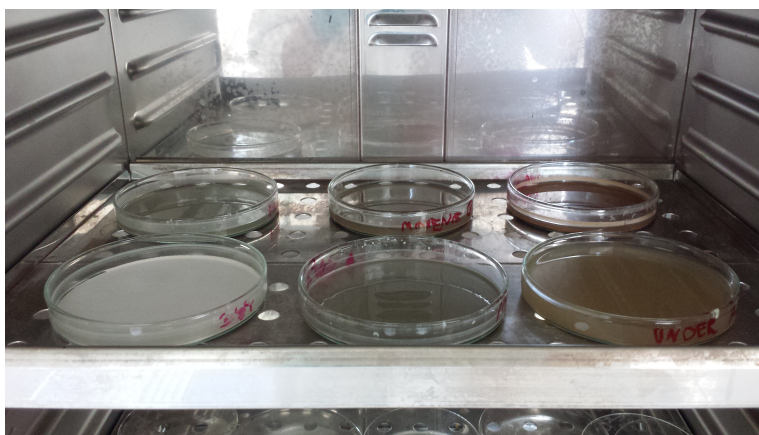
Mikroniserings-apparat brukt til nedknusing av prøvematerialet.

- 
4. Plexiskål blir så vasket med sprit, merket med prøvenavn og klargjort til tørking av prøve.
  5. Når mikroniseringen er fullendt helles prøven fra beholder over i plexiskålen. For å ikke miste agatene benyttes et stålbur som mellomledd. Beholder, lokket og agatene vaskes så med sprit ned i plexiskålen for å få med mest mulig prøvemateriale.



Prøven helles så over i plexiskål. Spriten som brukes til vask kan sees i bakgrunnen.

6. Plexiskålen plasseres så i varmeovn med en temperatur på  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Etter omtrent en time er prøven tørr og materialet kan nå klargjøres til XRD-analyse.

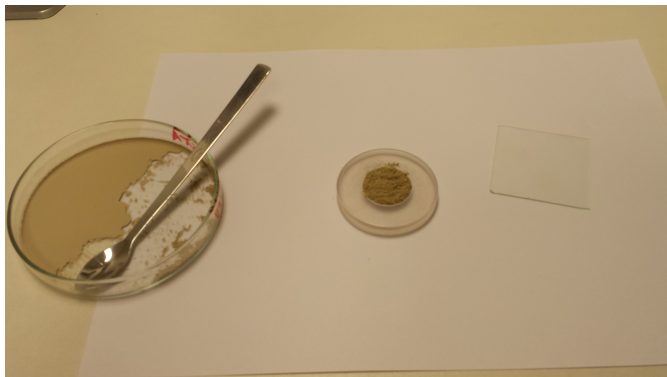


Prøver til tørk i varmeovn.

---

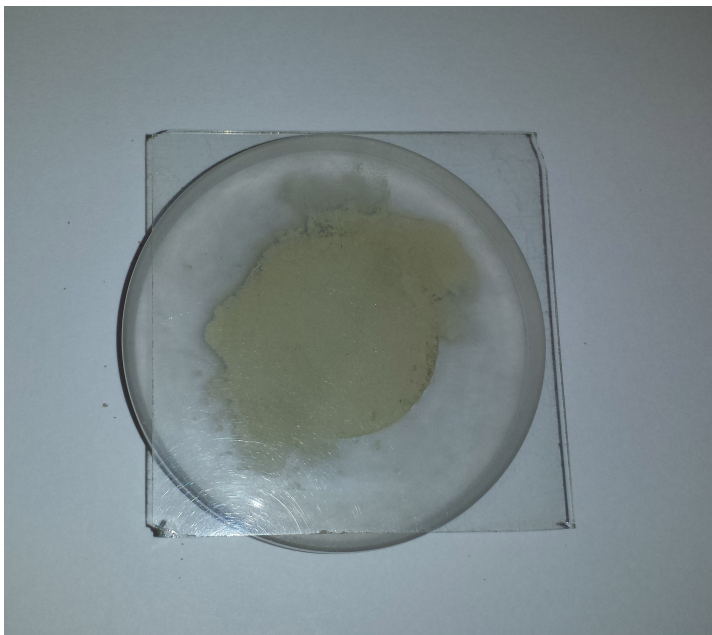
## Del 2 - klargjøring av prøve til XRD-analyse

1. Etter tørking er materialet inhomogent fordelt, og alt materiale blandes i flere omganger for å oppnå homogenitet.
2. Materialet plasseres så i det uthulte området av en prøvekopp. Mengden materiale skal være slik at det dannes en liten topp på prøvekoppen.



Materiale er blandet i plexiskål før det er plassert i prøvekopp.

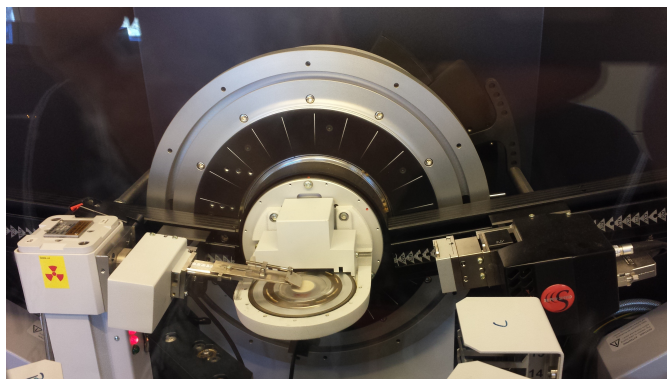
3. For å få prøven jevnt fordelt benyttes det plexiglass. I første omgang plasseres plexiglasset på topp av materialet og presses forsiktig ned to ganger. Så skrapes materialet av med sirkulære bevegelser. Overflaten skal være helt jevn, og det skal ikke være noen områder som ikke er fylt. Det er viktig å merke seg at plexiglasset alltid skal ligge plant og at det materialet som skrapes vekk er det som ligger høyere enn det uthulte området.



Plexiglass brukes for å få et jevnt resultat.

---

4. Overflaten av prøvekoppen vaskes så med papir våtet med sprit, før det merkes med navn og er klargjort for XRD-analyse.



XRD-analyse av prøvemateriale. Prøvekopp ligger omtrent midt i bildet.

Mulige feilkilder: Krysskontimenering kan oppstå hvis prøveutstyr ikke er vasket godt nok. I dette tilfellet ble vasking utført ganske grundig og krysskontimenering sees som lite sannsynlig. Hvis tørket prøve ikke blandes godt nok kan den være inhomogen. I dette tilfellet er prøvene godt blandet, så det ses på som lite sannsynlig.

## Hydrometeranalyse

Til våtsikting benyttes destillert vann. 1. Til hydrometeranalyse prepareres en prøve finstoff ( $<0.075$  mm) på omtrent 40 gram. Prøven våtsiktes deretter på sikt  $0.075$  mm for å være sikker på at det ikke er noen større korn. Etter at hele prøven er våtsiktet tilsettes 20 ml for å unngå flokkulering.



Våtsikting av prøve til hydrometeranalyse.

2. Prøven vaskes så over i et hydrometerglass. Hydrometerglasset fylles deretter opp med destillert vann til totalt 1000 ml. Hydrometerglasset korkes, ristes 2 minutter, før det står i minst 24 timer.

3. Etter 24 timer kan hydrometeranalysen utføres. Hydrometerglassene ristes først i fem minutter for å få en jevn fordeling av kornene. Deretter settes det i et vannbad hvor det tas målinger av temperatur og flyteevne(?) ved bestemte tidsintervall.



Hydrometerglass plassert i vannbad og klar til avlesning.

4. Siste måling tas etter 22 timer, før prøven tas ut av vannbadet og vaskes over i en bolle. Bollen plasseres så i et varmeskap, og når vannet er fordampet veies total masse finstoff brukt i hydrometeranalysen. Det brukes så et skjema for beregning av kornfordeling til finstoffet.

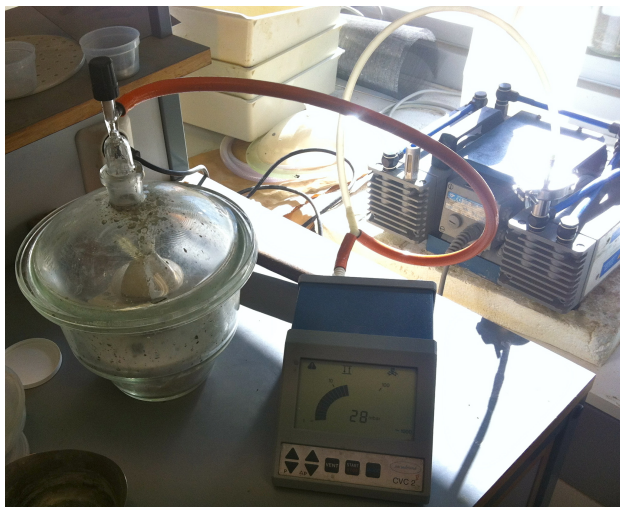


Tørket hydrometer prøve klar til innveing.



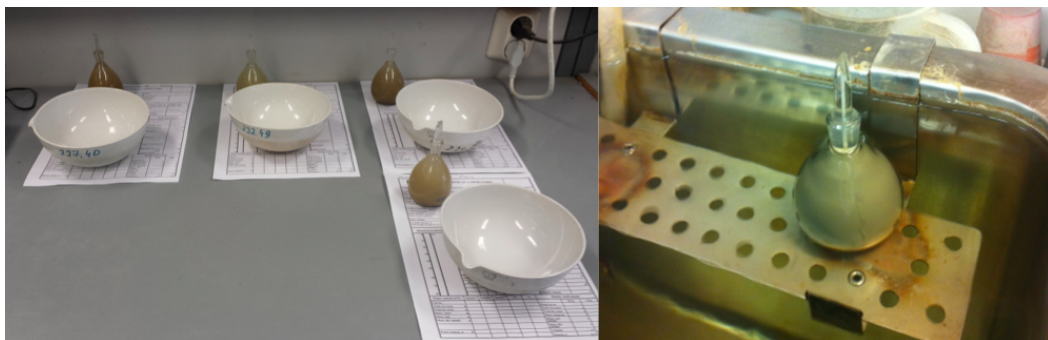
## Pyknometer

1. For pycnometer test trengs rundt 5 gram prøvemateriale. Prøven overføres til pyknometeret, og massen av pyknometeret + prøven bestemmes. Prøven blandes med destillert vann til pyknometeret er 2/3 fullt, før pyknometeret og suspensjonen settes til svelling i minst 12 timer.
2. Pyknometeret plasseres i en vakuum-eksikator og utsettes for undertrykk ved hjelp av en vakuumpumpe med gradvis reduksjon av trykket ned til ca. 30 millibar (25 mm Hg) i minst 5 min.



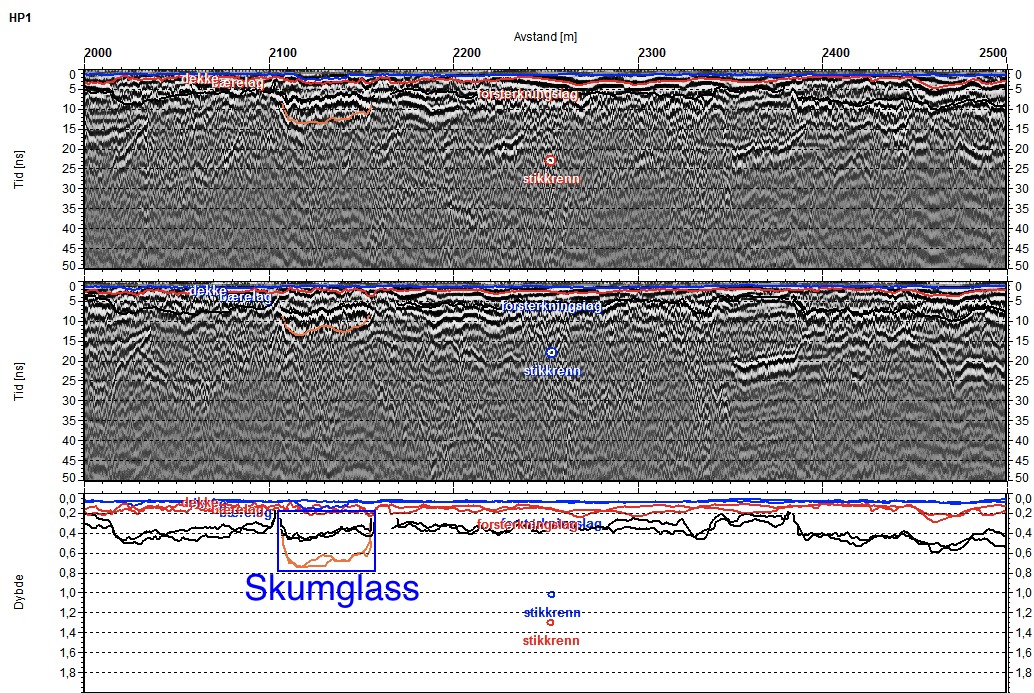
Pyknometeret plassert i en vakuum-eksikator. Til høyre sees vakkumpumpen.

3. Pyknometeret fylles forsiktig opp med destillert vann (uten luft), stigerøret settes i, og pyknometeret plasseres i en time i et vannbad med temperatur  $(25 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$ . Deretter justeres vannsøylen ned til merket på stigerøret, og la det stå i 10 min. Vannsøylen sjekkes igjen. Står den konstant ved merket, er analysen ferdig. Pyknometeret med stigerøret tas ut av vannbadet, tørkes på utsiden og veies med innhold.



Til venstre ses pyknometer klargjort for vannbad, ved siden av bolle til tørking. Til høyres ses pyknometeret plassert i vannbad.

## Vedlegg 6 - Rådata Roadscanners, Fv26 strekning 2



Tykkelse og lengde av skumglass er markert på bildet.

## Vedlegg 7 - XRD-resultater

Rådata fra XRD-analyser er lagt ved. I bildet under finnes D-verdier brukt til tolkning av rådata.

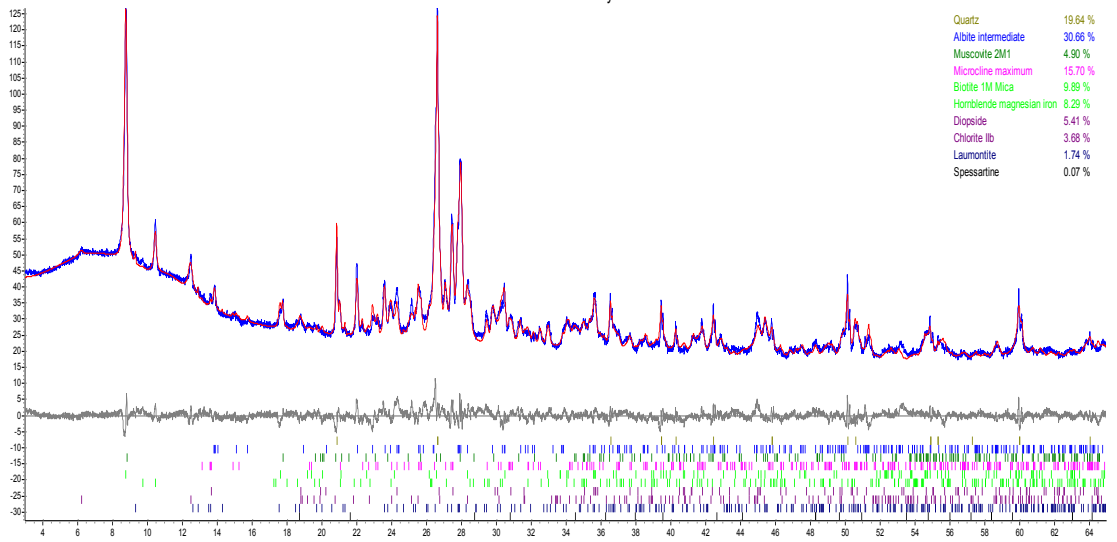
Veide faktorer for en del vanlig forekommende mineraler (etter H. Rueslåtten).

Mineralnavn	d-verdi	Veid faktor
⊙ Kvarts	2,47	1,0
K-feltspat	4,26 3,34	1,0
Plagioklas	3,24	0,5
	3,19	0,5
Illitt/Glimmer	9,97	1,4
Kaolinit	7,17	0,7
Kloritt	4,73 7 14	2,1
Smektit	14,0	0,5
Blandsjikt	10-14	1,0
Kalsitt	3,03	0,25
Ankeritt	2,90	0,25
Dolomitt	2,89	0,20
Rhodocrositt	2,84	0,25
Sideritt	2,79	0,25
Pyritt	2,71	0,5
Pyrotitt	2,64	0,5
Marcasitt	2,70	0,5
Gips	7,57	0,5
Barytt	3,10	0,3
Jernsulfat	5,75	0,2
Epidot	2,90, 2,68	1,0
Pyroxen	2,99	1,0
Amfibol	8,40	0,5
Granat (pyrop)	2,85	0,5
Zeolitt		0,5
Stilbitt	8,90	1,0
Scolesitt	5,86	1,0
Clinozoisitt	2,79	1,2

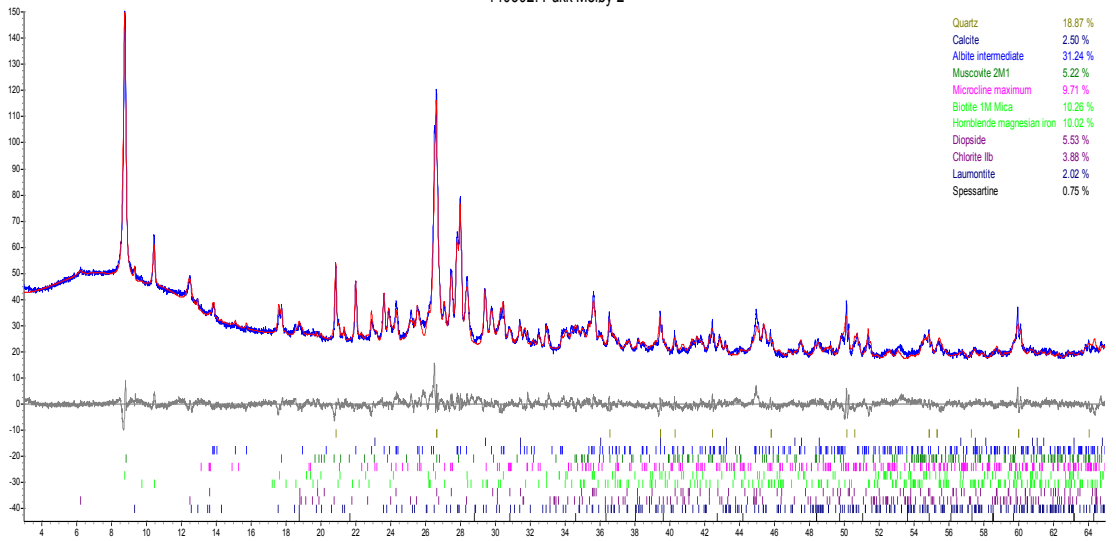
2

D-verdi for ulike mineraler

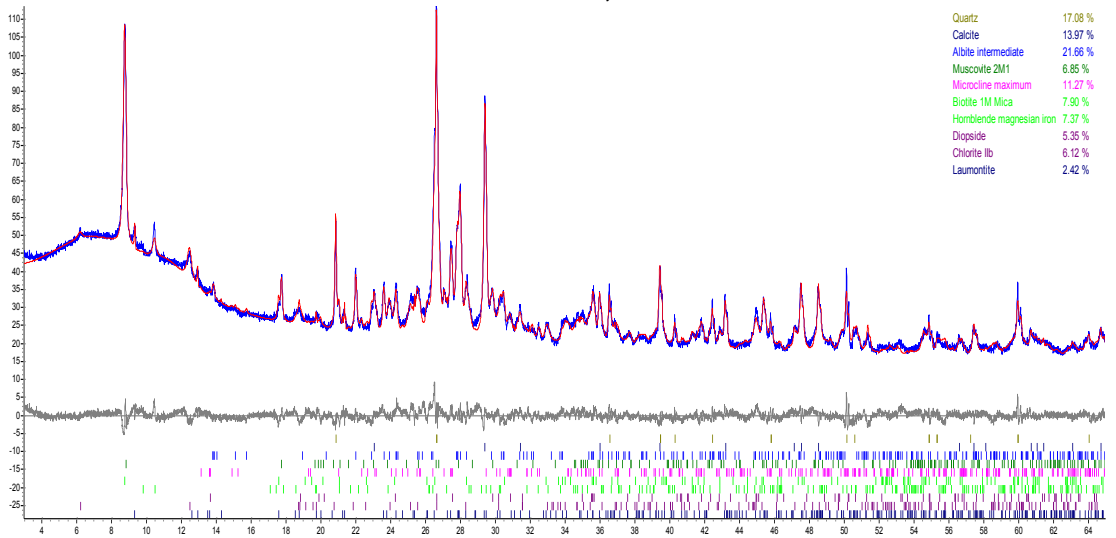
140391: Pukk Mely 1



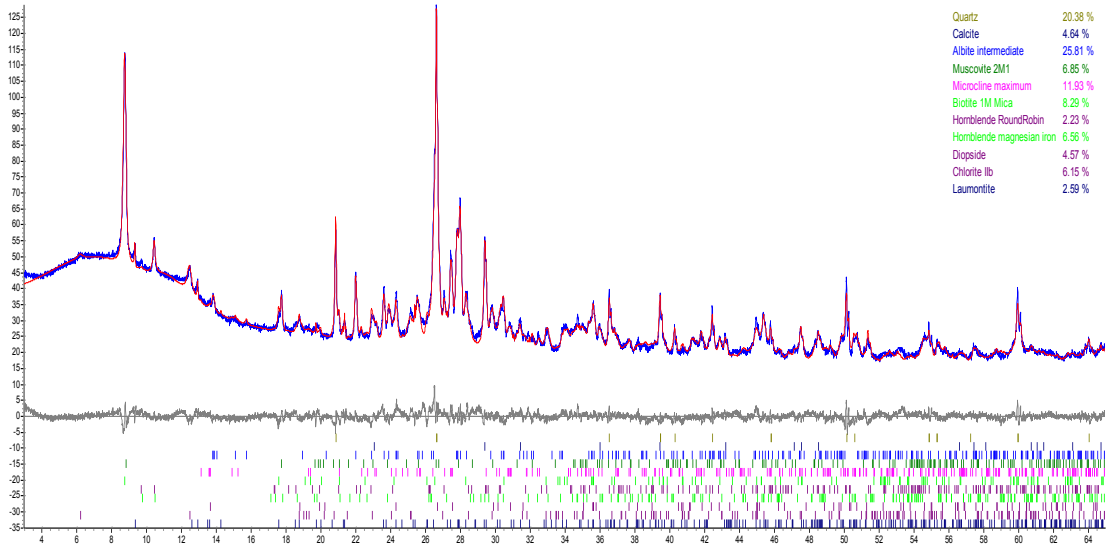
140392: Pukk Melay 2



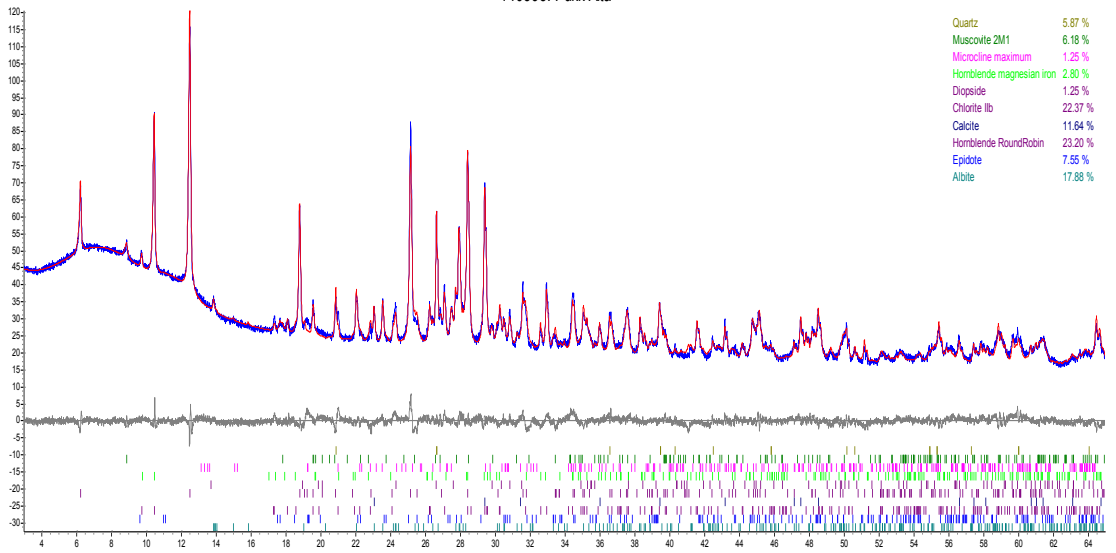
140393: Pukk Melay 3



140394: Pukk Melay 4

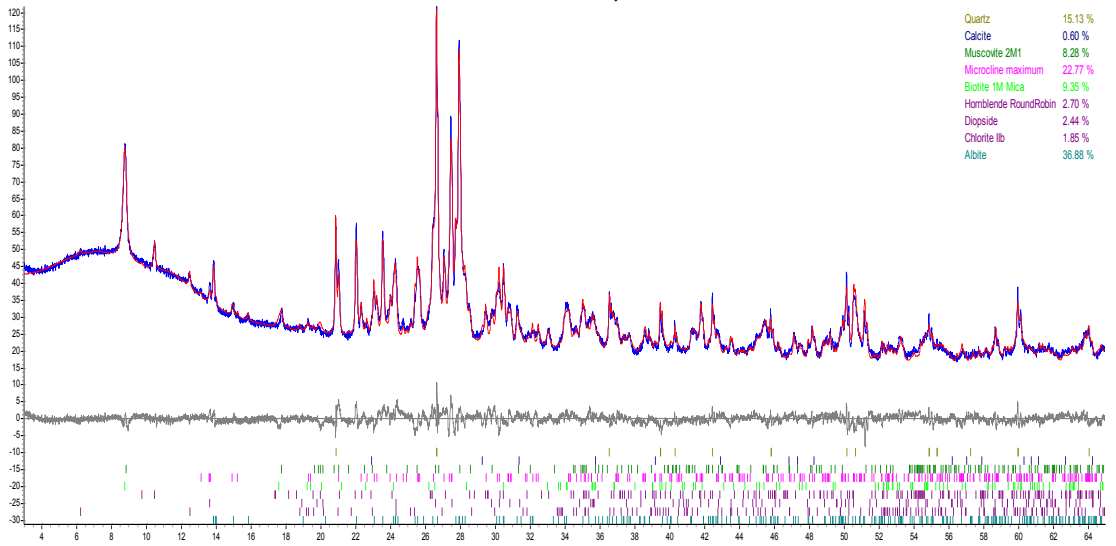


140395: Pukk Alta

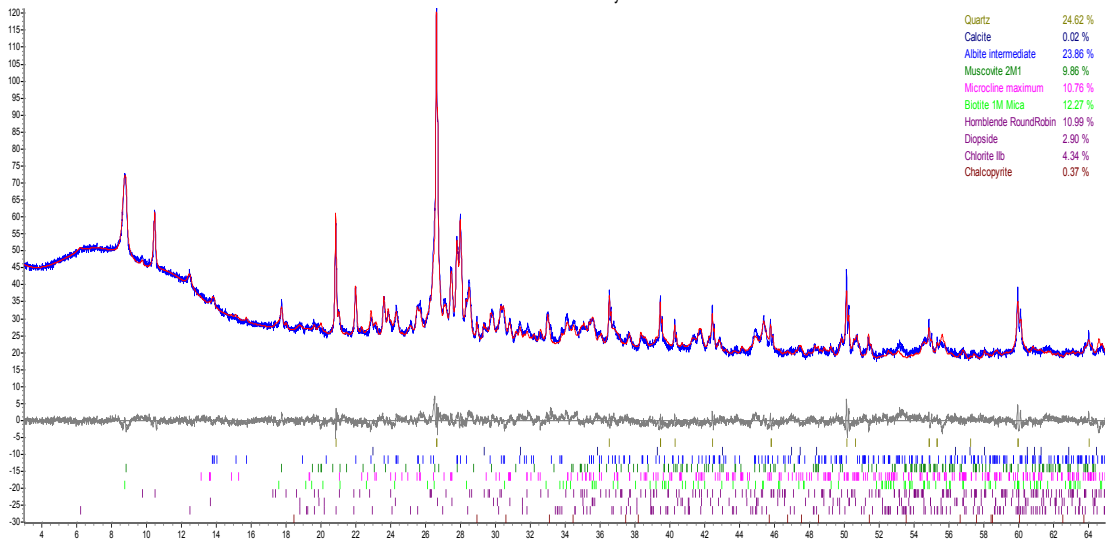




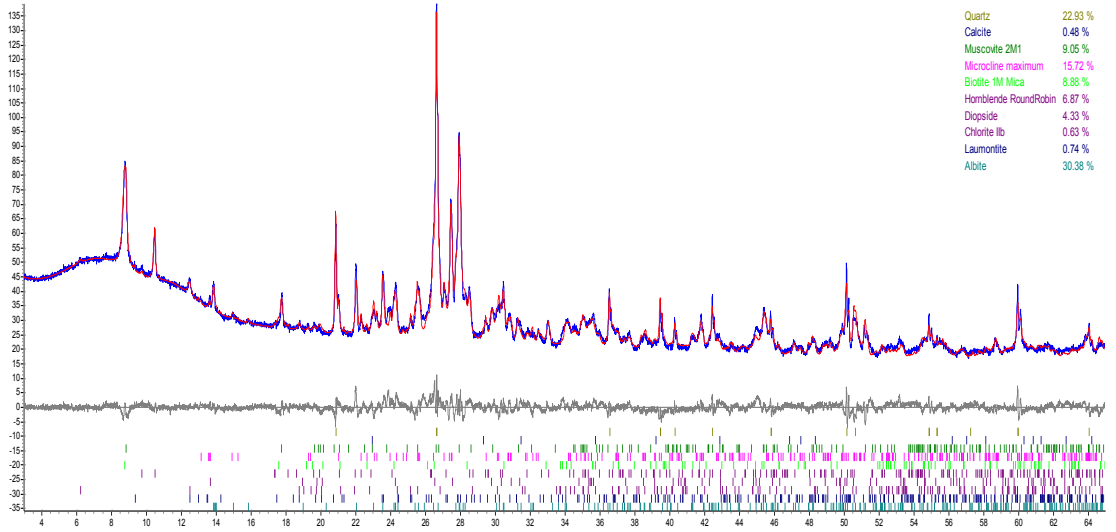
140396: Morene Melay 1



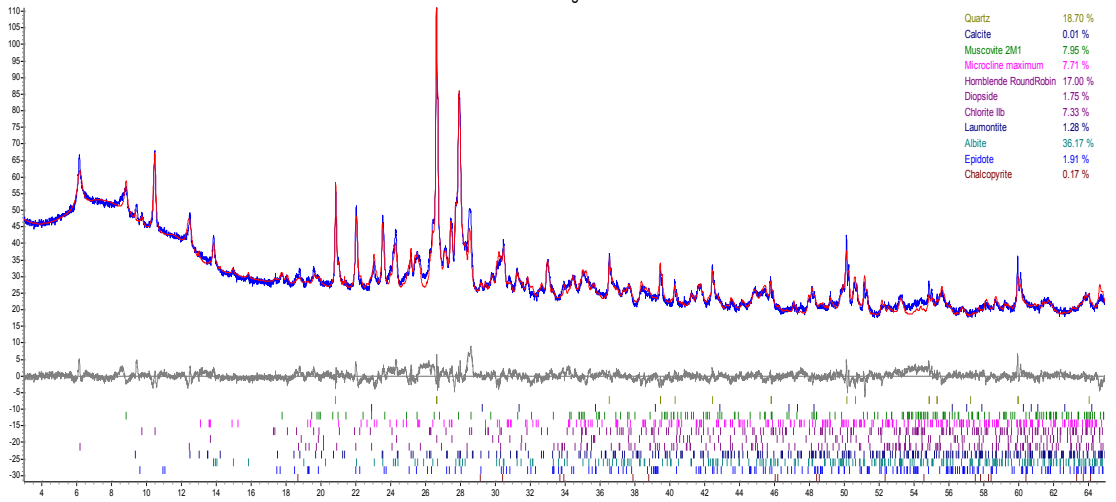
140397: Morene Melay 2



140398: Morene Melay 3



140399: Undergrunn Alta



140400: Vassfjellet

